

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 CENTENARIO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA
LISBOA • 1992

- 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, Berlim, 2. Aufl., 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 powerfull 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.

metamorphic mapping, petrofabric, geochemistry, geochronology, role of fluids, thermodynamic paths of recrystallisation, geodynamic implications and interpretations, role on ore metallogenesis) were progressively undertaken, firstly at the University of Amsterdam, with a remarkable group of dutch geologists who made their doctorate Theses on the portuguese geology, and at the University of Coimbra, with its consequent expansion to the Geological Survey of Portugal and University of Lisboa. The research on this field is now going on at almost every other University Center, namely at Braga, Porto, Vila Real, Aveiro and Évora. The contributions to the Metamorphic Petrology have been growing on programs and papers of senior (pos-doctoral) geologists.

It is shown that the most extensively studied problems of metamorphism in the Geology of Portugal have been: 1) the metamorphic regimes of the units that constitute the Middle Galicia-Trás-os-Montes Zone, 2) the types of metamorphism and their relationship with granitization in the Porto-Tondela-Viseu area, 3) the evolution along the South-Portuguese Zone with its proposed significant contribution of infra-oceanic hydrothermalism, 4) the complex mineralogy and metassomatism in the skarns and mass transfer mechanisms on the contact between the hercynian granites and metapelites, 5) the discretization of the Lower Paleozoic metamorphic units in the Northeast segment of the Ossa-Morena Zone.

It is also shown that the main trends and target sites for research on metamorphism were frequently connected with the search for the models of distribution of ore deposits, such as wolframite and cassiterite, Cr, Ni and platinoides, scheelite, and polymetallic sulphides. After twenty five years, the overall perspective of the studies of metamorphic rocks in order to support the explanatory notices for geological maps published by the Geological Survey was substituted by a research actively motivated by the geodynamic models that partially rely and ask for petrological information. It is apparent that searching for particular metamorphic rock types which are the necessary support for some proposed and anticipated hypotheses tends to replace the study of rock findings. It looks like that we live now a period when the geological models tend to legitimate the launchung of strategic programs for the prospection of metamorphic objects.

1. A elaboração deste quadro figurativo da história do conhecimento científico exige um posicionamento ajustado à diversidade dos cenários, representações e personagens que se sucederam desde o início do século até à proximidade do quase agora. Desde logo, e para além da necessária aquisição de conhecimentos factuais, impõe-se fazer uma opção pessoal sobre a metodologia escolhida para apresentação.

É necessário que os diversos planos do nosso quadro possam ser vistos na perspectiva do conhecimento então disponível e obviamente com o referencial das contrições que limitavam a abertura do «universo científico» e a transferência do conhecimento.

Sente-se mais a dificuldade para observar e representar os planos que estão mais próximos, o que é, desde logo, um bom sinal: o cenário enriqueceu, são mais as personagens e as representações em simultâneo. É mais fácil a visão sobre os planos mais afastados, os do início do século; o tempo clarificou o que havia então de mais nebuloso e controverso e apurou o resíduo do mais significativo.

2. Antes de abrir o proscénio, deve o autor fazer uma breve apresentação do Mundo em que decorrerá a história e, naturalmente, definir os objectivos desta área do conhecimento científico. De facto, na procura de soluções para os problemas geológicos, aqui no âmbito da petrologia metamórfica, a dinâmica das Instituições e dos geocientistas que vão surgir está naturalmente condicionada pelos meios disponíveis e pelos objectivos.

Sem cuidar de fazer uma definição formal do que se entende por metamorfismo, ou rocha metamórfica, ou unidade metamórfica, necessário é esclarecer que o nosso objecto geológico é uma rocha ou um maciço que resulta de uma outra rocha, ou de outro maciço, por processos de recristalização/deformação no estado sólido.

O conhecimento sobre as rochas metamórficas começa pelo estudo das características de dimensão, configuração e situações de fronteira da formação a que pertence, avança através da análise da mineralogia, estruturas e assinaturas geoquímicas, e impõe o estudo do enquadramento litológico, estrutural e estratigráfico.

Poderá aqui anotar-se que esta preferência pelo estudo e conhecimento integrado tem sido reforçada com o tempo, assumindo-se totalmente com a adopção dos modelos da tectónica global. Desde logo, há que assinalar que se este quadro referencial se reforçou desde o princípio do século até agora, e mais claramente nos últimos vinte e cinco anos, também se alterou o objecto factual do estudo: enquanto que no princípio do século, as rochas eram vistas mais individualmente e até na perspectiva da sua raridade e valor museográfico, acentuou-se com o tempo a perspectiva do estudo de populações significativas, felizmente acompanhada por um impressionante incremento das capacidades laboratoriais. A microscopia de então sucedeu-se a difracção de raios-X e de electrões, todo um conjunto de métodos e técnicas de análises espectrométricas, a microsonda analítica e o cálculo informático. Mas esta opção tem também a ver com a alternativa de substituição dos modelos deterministas pelos modelos estocásticos.

Em todo o caso, mantêm-se os objectivos históricos prosseguidos quando há cem anos se fazia o estudo das rochas metamórficas:

- Quais os seus protolitos?
- Quais as condições físicas em que se processou a transformação?
- Os processos de transformação mineralógica-textural aconteceram com ou sem transferência de massa? Qual o papel dos fluídos?
- Qual a idade da formação do protolito e quando aconteceu a sua transformação em rocha metamórfica?

Qual a conotação genética deste metamorfismo? Estático no sentido de Van Hise (1858), dinâmico ou termal, no sentido de Rosenbusch (1877), de carga no sentido de Daly?

Descriminam-se hoje estes objectivos, em ordem a definir as diversas componentes da pressão, as trajectórias termodinâmicas durante a transformação, a multiplicidade poliorogénica, polifásica, ou polifacial das paragénese e das estruturas, e a actividade dos diversos fluídos. A escala analítica que, no início do século, era a do afloramento e da mineralogia vista pelo microscópio óptico e da percentagem de elementos químicos maiores da rocha total, foi necessariamente expandida. Hoje, analisam-se os traços gerais das cinturas ou cadeias metamórficas e fazem-se também os estudos até à escala da partilha dos isótopos estáveis, radioactivos e radiogénicos; as análises químicas fazem-se na dimensão do micron. É caso para dizer que nas rochas se estudam os átomos e as estrelas.

Acrescentaram-se, entretanto, as exigências e os desafios à resposta; surgiram, naturalmente, com as perspectivas entretanto abertas por muitos petrólogos. São exemplos:

- Grubenman e Niggli (1904), na esteira de Becke, com o modelo de epizona, mesozona e catazona;
- Termier (1904), com a perspectiva do metamorfismo induzido por colunas metassomáticas ascendentes;
- Goldschmidt (1911), com a preocupação de definir paragénese e sistemas de equilíbrio e a fundamentação das fácies de metamorfismo;
- Sederholm (1907, 1913, 1916, 1923, 1926), com a ligação entre metamorfismo e a anatexia; esta perspectiva foi elaborada e

retomada por Jung e Roques (1931) — e então tornou-se largamente influente em Portugal — com as suas séries de ectinitos e migmatitos;

- Eskola (1921), com a sistematização das fácies de metamorfismo;
- Tilley (1925), com a cartografia específica do metamorfismo;
- Sander (1930), com as suas perspectivas sobre a simetria dos arranjos preferenciais e a interpretação cinemática em termos simetrológicos;
- Fyfe, Turner e Verhoogen (1958), com uma nova sistemática de fácies e subfácies e as interpretações em termos de equilíbrio e de cinética;
- Korzhinskii (1959), com o modelo elaborado sobre o reforço das preocupações relativas à mobilidade e à modelação do metassomatismo e com a noção de equilíbrio em mosaico.
- Myashiro (1961, 1967) e o impacto da tectónica de placas a demandarem a procura dos arcos metamórficos, simples ou emparelhados, a busca das polaridades metamórficas e das séries de fácies, nomeadamente as de alta pressão;
- Coombs *et al.* (1960) e Coleman *et al.* (1965) e as suas expansões sobre as fácies extremas — zeolítica e eclogítica;
- Winkler e O'Daniell (1970), com a nova perspectiva de refinamento da cartografia e zonalidade, com base nas isogradas de reacção;
- Spooner e Fyfe (1973), com a proposição do modelo de metamorfismo hidrotermal de fundo oceânico;

Entretanto, os avanços analíticos foram enormes: a) na petrologia experimental, que permite a correlação dos sistemas naturais com sistemas simulados, b) na geocronologia radiométrica, que permite obter idades de rochas cristalinas, c) na geoquímica analítica, com a determinação fácil de elementos e isótopos, d) com a detecção remota, que permite fazer as grandes sínteses, e) com a generalização dos métodos informáticos, que permitem o tratamento de dados, com grande sofisticação e rapidez, f) com a introdução de equipamento electrónico que permite a observação directa à escala do nanómetro.

Para substituir as dúvidas e controvérsias sobre a natureza termal, estática, de deslocação ou dinâmica, ou de carga, a tectónica de placas levantou a questão da correlação entre o metamorfismo e o regime dinâmico que prevalece ou até o condiciona: nas zonas de colisão litosférica, ou nas zonas de Benioff? Nos domínios de vulcanismo submarino correspondentes a arco insular ou rifte oceânico? Em situação de afundimento (soterramento) ou de domo térmico intraplaca? Na dependência de pluma mantélica? Na transição para a astenosfera?

3. Cuidando de fazer uma pesquisa significativa sobre as instituições e as personalidades é óbvio que analisei sistematicamente as seguintes fontes bibliográficas:

- a) Comunicações e Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal, respectivamente com 73 e 30 volumes; as notícias sobre rochas metamórficas existem entre 1911 e 1917, mas, depois, só regresam, em 1956, com a notável tese de Schermerhorn.
- b) Memórias e Notícias do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Coimbra, com 105 volumes editados desde 1922; há, em 1947 um primeiro trabalho com uma breve referência ao Precâmbrico de Oliveira de Azeméis, mas a participação significativa só acontece, em 1965, com a tese de M. Portugal Ferreira.
- c) Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Lisboa, com 26 volumes nas séries antigas (desde 1931), e 16 volumes na série moderna, até 1980; a primeira nota sobre metamorfismo aparece em 1951 com a referência ao metamorfismo de contacto em Sintra, da autoria de F. Real.
- d) Publicações do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade do Porto, com 83 artigos publicados desde 1935; há um primeiro sinal referindo a greisenização, em 1944 por J. C. Neiva, e um trabalho, traduzido, no n.º LI (1948), «Metamorfismo e Actividade Ígnea de H. H. Read».
- e) Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, com 23 volumes desde 1940; há uma primeira nota sobre metamorfismo no vol. IX (1951, D. Thadeu) e dois trabalhos muito importantes no vol. XII (1956) de autoria de Westerveld e Schermerhorn.

- f) Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro (Direcção-Geral de Geologia e Minas) com trinta volumes desde 1945; a primeira notícia é de 1947, com um trabalho sobre serpentização, por J. C. Neiva, seguindo-se em 1957, um trabalho sobre a petrografia-petrologia dos anfibólitos da Beira Litoral, por O. Gaspar.

Consideraram-se as revistas mais recentes como é o caso das publicações da Associação Portuguesa de Geólogos, Universidade Nova de Lisboa e Universidade de Aveiro e reviram-se algumas Memórias da Junta de Energia Nuclear. Na medida do possível foram consultadas as comunicações feitas nas múltiplas reuniões científicas, nomeadamente nas 10 Reuniões sobre a Geologia do Oeste Peninsular, Semanas de Geoquímica, Reuniões do Grupo de Ossa-Morena, Congressos Nacionais de Geologia. Naturalmente, este autor conhece muitos trabalhos feitos sobre a petrologia metamórfica «portuguesa», mesmo quando publicadas fora de Portugal.

4. Resulta fácil o conhecimento sobre o estado e o avanço da petrologia metamórfica do princípio do século XX. Há a Carta Geológica de 1899, um trabalho belíssimo de P. Choffat e N. Delgado, a qual tem a clara expressão dos terrenos mais intensamente afectados por metamorfismo regional e *por isso* cartografados como do Precâmbrico-Arcaico (e a sobrecarga z). Correspondem aos actuais:

- Terrenos alóctonos do Supergrupo Transmontano e até à parte externa autóctona do arco envolvente a SE;
- Terrenos da antiforma Porto-Tondela-Viseu;
- Terrenos que hoje se integram na Zona de Ossa-Morena e estão hoje reconhecidos como do Precâmbrico, Câmbrico, Ordovícico e Silúrico;
- Terrenos do Grupo do Pulo do Lobo.

Há, no mapa de 1899, a boa demarcação dos Xistos e Grauvagues do Douro e das Beiras (Complexo Xisto Grauváquico Ante-Ordovícico de Carlos Teixeira) atribuídos ao Cb₁; no extenso artigo publicado, em 1905, por Nery Delgado, esta posição estratigráfica é revista e passa a preferir-se o Algônquico.

Em matéria de petrografia de rochas metamórficas, foi pioneiro o excelente cristalógrafo, microscopista e mineralogista Vicente de Souza Brandão (1863-1915). Em 1911 descreveu, minuciosamente algumas rochas do sinclinal do Buçaco: quartzitos, chertes (os seus sylicitos), calcários e diabases, com especificação das variedades de espilitos, clastodias e variolitos. Depois, em 1913, publicou outro trabalho sobre a petrografia dos «Schistos crystallinos e contacto-metamórficos d'Além Douro» e apresenta aí a descrição primorosa de filádios, quartzitos, micaxistos mosqueados com e sem andaluzite de Vila Real-Marão, dos anfibolitos e corneanas pelíticas da região de Amarante-Mondim, dos micaxistos com cordierite de Caminha; sobre o Maciço de Bragança faz a apresentação minuciosa de numerosos serpentinitos, apresenta uma descrição modelar sobre um «porfiroide quártzico» (pertence à Unidade dos metavulcanitos ácidos), definindo aqui, para além de toda a sua mineralogia, uma boa relação entre duas xistosidades sobrepostas, e assinalou e descreveu os eclogitos de Fontelas. Com a excepção do eclogitos, o trabalho de microscopia mineralógica é sempre de um pormenor «fotográfico». O seu trabalho de 1914 sobre «A faixa Occidental das phyllites porphyroblásticas do Precâmbrico do Districto de Aveiro» é uma vez mais precioso, até mesmo na apresentação geológica das unidades; descreve fotograficamente os gneisses, micaxistos, filádios, anfibolitos, granitos e ortogneisses que Delgado cartografara, quer no Algônuico, quer no Arcaico, ou ainda como rochas sedimentares metamorfizadas; avança com algumas interpretações petrogenéticas, nomeadamente com a proposição de granitos sin-sinemáticos e a da existência de metamorfismo polifásico, em que a primeira e terceira fase de recristalização sin-cinemática pareciam querer satisfazer as duas escolas petrogenéticas de então, mas é notável que tenha descrito as fases de metamorfismo; apresenta excelentes descrições das relações texturais entre a estauroilite, a granada, a andaluzite, a plagioclase e o quartzo. A sua Notícia de 1915, sobre rochas desta região, tem uma natureza fundamentalmente cristalo-óptica. O artigo com o estudo petrográfico das rochas da região de Valadares, a leste de Monção, confirma a perspectiva deste petrógrafo; trata-se de um artigo póstumo, pois falecera em 16 de Setembro de 1916.

Havia em Souza Brandão, como também em Carlos Ribeiro, uma invulgar capacidade para fazer petrologia; parece transparente que

Souza Brandão lera alguns textos da escola petrológica alemã e poderá especular-se que a sua petrologia não iria bem com as perspectivas de Nery Delgado, muito mais próximo da escola francesa.

Desaparecidos que foram Nery Delgado (1908) e Souza Brandão (1916), o progresso do conhecimento sobre as rochas metamórficas de Portugal ficou drasticamente afectado. Não havia acção nos Serviços Geológicos de Portugal, e nas Universidades de Coimbra, de Lisboa e do Porto, apesar de lá existirem os respectivos Museus e Laboratórios Mineralógicos e Geológicos, os seus professores estavam vocacionados para outras áreas da Geologia — prevaleciam a Geomorfologia, a Arqueologia, a Sismologia, a Vulcanologia, a Climatologia, e alguma Petrologia eruptiva. A cartografia geológica estava abandonada e por isso não havia motivação para a Petrologia. De resto o equipamento científico era deficientíssimo. Das três décadas posteriores a 1917 apenas quase só ficou o testemunho do artigo do Prof. E. Fleury, de 1922, em que «suavemente» criticou o critério usado na Carta Geológica de 1899 para cartografar as rochas metamórficas dentro do Precâmbrico-Arcaico, «... por que a influência do metamorfismo é ainda muito mal conhecida ...».

As Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal continuaram até 1970 quase sem contribuição da Petrologia metamórfica, com a interrupção, feliz, devido à publicação das monografias do doutoramento de Schermerhorn, Oertel, Oen Ing Soen e Brink. Tiveram menor monta uma nota sobre os espilitos da Zona Sul Portuguesa (Carvalhosa, 1961) e uma outra sobre as rochas calcosilicatadas do Complexo Xisto Grauváquico do Douro (Torre de Assunção, 1969).

É óbvio que nas Notícias Explicativas das Cartas Geológicas do Atlas 1/50.000 houve sempre, e há, a descrição petrográfica das unidades metamórficas cartografadas; só que essa descrição era o suporte da cartografia e da legenda, mas não constituía objectivo de investigação, ou base duma nova cartografia. Quando as cartas geológicas se tornaram interpretativas e conceptualistas, surgiu uma solicitação. Os modelos estruturais expressos nas cartas geológicas exigiram mais trabalho laboratorial e uma petrografia mais apoiante e esclarecedora da génese das formações. A situação disparou, na década de 1970, com o refinamento progressivo dos modelos geodinâmicos, nomeadamente com as diversas interpretações avançadas: a) para a geologia da Zona da Galiza Média-Trás-os-Montes, b) para a evolução das fronteiras geológicas da Zona

de Ossa-Morena, c) para a paleografia, vulcanismo e metamorfismo da Zona Sul Portuguesa, isto é, com a exploração geodinâmica da sistematização paleogeográfica proposta por Lotze (1945).

5. Mas voltemos atrás: foi na década de 1940 e com origem no núcleo da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto onde havia os Professores Rosas da Silva e Carrington da Costa e começavam na carreira de investigação dois geólogos com uma juventude e dinamismo que duraram para sempre — J.M. Coteló Neiva e C. Teixeira, que se começou a reverter a situação.

O primeiro sinal externo e perdurável foi o da criação da Sociedade Geológica de Portugal, que começou a editar o seu Boletim em 1940. Contudo, foi só no final da década de 1950 que o sistema abriu, e muito, por influência dos trabalhos geológicos realizados para dissertações de doutoramento por um conjunto de alunos do Departamento de Geologia da Universidade de Amsterdam; sob a orientação inicial do Prof. Westersweld, estudaram diversas áreas do norte de Portugal e um pouco no sul (citamos Schermerhorn, Soen, Priem, Brink, Sluijk, Kluiving, Boorder, Maijer, Boogart...). Aconteceu que algumas das teses foram integralmente publicadas pelos Serviços Geológicos de Portugal tendo por isso boa difusão na comunidade portuguesa. Havia, entretanto, na Galiza um outro conjunto de estudantes para doutoramento, discípulos de Lotze na Universidade de Munster (RFA), que também deu forte contribuição, no âmbito da estratigrafia e paleogeografia do Paleozóico e relação com o Precâmbrico. Seguir-se-ia aí um outro conjunto de geólogos franceses, de que destacamos Phillipe Matte e R. Capdevilla, que fez um programa de trabalhos muito influentes na conceptualização geodinâmica e metamórfica da Cadeia Hercínica. A construção feita por essas escolas incidia na cartografia e na petrologia com técnicas microscópicas; a geoquímica só se expressa bem na tese de N.H.A. Priem.

Os trabalhos desses grupos foram significativos no âmbito do metamorfismo, pois que fizeram a demonstração inequívoca e a caracterização do metamorfismo hercínico polifásico, a cartografia das isogradas de metamorfismo (Capdevilla na Galiza e o grupo de Amsterdam nas áreas de Moimenta da Beira-Sátão-Viseu-S. Pedro do Sul-Vale de Cambra-Arouca, Amarante-Marão-Vila Pouca de Aguiar e ainda no Pomarão e Lousal, na Zona Sul Portuguesa). O artigo de Soen (1970) sobre granitização e metamorfismo hercínico constitui um bom referencial e uma síntese das contribuições petrológicas holandesas durante três lustros.

Tendo já explicitado algumas das contribuições que influenciaram a Petrologia e Geologia de Portugal, na década de 60, deverei agora referir o impacto de alguns outros elementos exógenos dinamizadores:

- A Escola de Turner, com feição mineralogista-estruturalista, que congregava os princípios de Eskola com os de Sander e as perspectivas dos geólogos estruturais da Escócia esteve na base da formação científica de alguns petrólogos portugueses; desde logo na Escola de Coimbra, onde em 1965 apareceu a primeira tese, feita em Portugal e em que o motivo é a Petrologia Metamórfica no bordo ocidental do Maciço de Bragança. Influenciou também claramente o primeiro livro de texto sobre Petrologia Metamórfica editado em Portugal (M. Portugal Ferreira, 1972).
- A Escola de Mattauer (Universidade de Montpellier), com a perspectiva e ênfase na análise estrutural mesoscópica, uso extensivo da correlação, visão integradora das Cadeias Orogénicas e construção de modelos geodinâmicos. Estes modelos impõem a busca sistemática de novos dados petrológicos requeridos para testar os modelos e para a escolha de novas vias. Foi notável a «reprodução petrológica» da tese que A. Ribeiro (1974) propôs sobre a evolução geodinâmica da Zona Galaico-Transmontana, reforçada pelo facto de haver modelos estruturais radicalmente diferentes, propostos e defendidos quase em simultaneidade.
- As perspectivas de W.S. Fyfe, que recebera da longa vivência científica com F.J. Turner uma grande cultura geológica que nele ficava complementada por um engenho ímpar, evoluíram na Universidade de Western Ontario para a proposição de modelos de compatibilização entre a petrologia e geoquímica e a geodinâmica global; Fyfe influenciou directamente a geração da Escola de Lisboa da década de 1980. As teses e todos os trabalhos científicos de J.M. Munhá e F. Barriga, mesmo os de colaboração, testemunham a influência de uma Escola em que a criatividade é suportada pelo uso intensivo de técnicas analíticas e ampla utilização de modelos geoquímicos e de resultados da mineralogia e petrologia experimental, nomeadamente no que diz respeito à utilização de geotermómetros e geobarómetros mineralógicos e aos modelos de fraccionação elementar e isotópica.

Parece-me também importante salientar o papel desempenhado pelas reuniões sobre a Geologia Regional Ibérica, iniciadas em 1965, com C. Teixeira e I. Parga-Pondal para o NW Peninsular e continuadas pelas do SW Peninsular e Grupo de Ossa-Morena; juntaram-se depois as reuniões sobre Geoquímica e os Congressos Nacionais de Geologia. Foram decisivas para criar a dinâmica e o desafio do trabalho apresentável e para haver o enriquecimento científico através da observação de domínios que outras escolas haviam estudado.

Se a Sociedade Geológica de Portugal pode ser vista como a expressão da intenção de criar uma comunidade que devia ultrapassar a Universidade do Porto, as Reuniões de Geologia do Oeste Peninsular tiveram, de facto, o potencial realizado de aproximar todas as Escolas de Geologia e Petrologia de Portugal e Espanha e aquelas em que na França e na Holanda se construía a Petrologia e Geoquímica Metamórfica, a Geodinâmica, a Estratigrafia, a Petrologia e Geoquímica Ígnea da Cadeia Hercínica, nomeadamente no sector da Península Ibérica.

É imprescindível assinalar quanto a Petrologia Metamórfica foi estimulada pelos modelos geotectónicos, nomeadamente pelos que resultaram da Carta Tectónica da Península (Julivert, Fontboté, Ribeiro e Conde, 1972); colhendo inspiração no modelo de Lotze (1945) foi esta Carta de 1972 que amplamente difundiu as perspectivas do geólogo que transportou para a Península o modelo das Variscidas da Europa Central, delineado por Kossmat (1927).

Começando pela Escola da Universidade do Porto, na qual a Petrologia foi ensinada numa perspectiva em que de alguma forma se poderiam encontrar, na década de 1950, a influência de H. H. Read e uma ligeira aproximação às concepções de Hans Ramberg, pode dizer-se que a primeira expressão aparece nos trabalhos publicados por J. M. C. Neiva (1946, 1947, 1948) sobre a Petrografia e Geoquímica de xistos, de gneisses, anfíbolitos, eclogitos e rochas ultramáficas (estas vistas como eruptivas) e na proposição de modelos de serpentinização e de esteatização, para o domínio do Maciço de Bragança.

A Geoquímica Metamórfica consistia fundamentalmente no uso de diagramas e índices de Lacroix e Niggli, com o postulado de metamorfismo isoquímico para inferir a natureza dos protolitos. É óbvio que o trabalho de 1948 expressava fortemente a perspectiva da Geologia Mineira, com Petrologia aplicada à prospecção; era naturalmente conse-

quência da criação do Serviço de Fomento Mineiro, que aconteceu logo a seguir à «explosão» da lavra nas minas de volfrâmio.

Também em 1948, como publicação n.º 51 do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, apareceu a tradução, feita por Rosas da Silva, dum artigo clássico de H. H. Read, «Metamorfismo e Actividade Ígnea».

Da Escola do Porto, onde tem sido cultivada uma petrologia mais vocacionada para os granitos e também para os carvões e com a preocupação de análises e descrições muito minuciosas, assinalam-se em 1977 e 1978 dois trabalhos sobre Petrologia de anfíbolitos, respectivamente do Engenho Novo (Vila da Feira) por Montenegro de Andrade, e da Foz do Douro, por Bravo e Abrunhosa; o objectivo é a inferição, por via geoquímica, da rocha progenitora — em ambos os casos atingem-se doleritos toleíticos; no caso da Foz do Douro esclareceu-se uma situação que fora diversamente interpretada por vários geólogos (C. Teixeira, C. Torre de Assunção e C. A. Matos Alves). No trabalho sobre o anfíbolito olivínico do Engenho Novo é de apreciar a perfeição da observação microscópica, que faz recordar V. Souza-Brandão. De resto sobre as rochas deste alinhamento tinham já escrito V. Souza-Brandão (1914), O. Gaspar (1957) e um outro Professor da Universidade do Porto, J. Ávila Martins (1962); este apresentou evidências geológicas que respondem aos quesitos do tempo da instalação dos filões — são intra-orogénicos. Em Gaspar (1957) vê-se uma petrologia com a menção de espilitização e o interesse da mineralogia dos opacos.

Também em 1967 fora publicado o trabalho de Soen sobre o metassomatismo magnesiano que afectou os anfíbolitos de Farminhão (Viseu), durante o metamorfismo de contacto induzido pelos granitos pós-tectónicos. Este foi o primeiro trabalho sobre metamorfismo aplicado à Geologia de Portugal em que se destacam as perspectivas dos modelos metassomáticos de Korzhinskii. Em 1984, foi proposto por Portugal Ferreira que estas rochas básicas se considerassem a integrar um arco magmático hercínico intra-orogénico reconhecido entre Porto-Zarza la Mayor (Espanha), com metamorfismo sobreposto no domínio de Tondela-Viseu-Porto.

Ainda da Universidade do Porto surge mais recentemente e como expressão do interesse que também aqui existe sobre a Petrologia e Geoquímica dos scarnes e mineralizações associadas, um artigo de Coelho *et al.* (1985) sobre os scarnes de Valdarcas (Alto Minho), discretizando quatro estádios de metassomatismo de infiltração, que podem coexistir lateralmente ou sobrepor-se, parcialmente, em microdomínios.

A evolução do conhecimento sobre a Petrologia Metamórfica na Universidade de Coimbra, pode ser telescopada através da consulta da revista *Memórias e Notícias*, nascida em 1922 com o Dr. Ferraz de Carvalho, e da memória pessoal.

Em 1965, aparece nesta revista uma monografia de tese, «Geologia e Petrologia da Região de Rebordelo-Vinhais», da autoria de M. Portugal Ferreira, na qual o tempo já decorrido evidencia as influências da Escola de Coimbra — a cartografia minuciosa, a dimensão regional, a perspectiva mineralogista, o uso de muitas técnicas laboratoriais — e da Escola de Turner da Univ. da Califórnia: há a análise integrada das paragénese e das microestruturas, a construção de isogradas e de diagramas com a mineralogia e os teores de elementos químicos maiores tendentes a definir as fácies e subfácies de metamorfismo e a discontinuidade dos regimes de metamorfismo impressos no Maciço de Vinhais-Bragança e nas rochas das sequências vulcano-sedimentares e sedimentares envolventes. A esta primeira tese sobre a Petrologia Metamórfica dos maciços meso-catazonais da Zona da Galiza Média-Trás-os-Montes, seguiram-se muitas outras sobre os maciços equivalentes da Galiza, sob a orientação do Prof. den Tex (Universidade de Leiden, Holanda), e as perspectivas da evolução geodinâmica explodiram com essas teses e com a de Ribeiro (1974). Ainda nessa década de 1960 publicou outros trabalhos para: a) concretizar as fácies granulítica e eclogítica no Maciço de Bragança, b) discretizar a zonografia metamórfica dentro e fora do maciço e fazer a proposição de metamorfismo polifacial, c) fazer uma incursão em matéria de análise dinâmica da deformação de tectonitos, estudando e interpretando a distribuição de grupos de orientação cristalográfica, d) definir as fácies zeolítica e da prenite-pumpeleite sob controlo geoquímico. Em 1972, editou o primeiro livro-texto português sobre metamorfismo dirigido para o ensino universitário. Antecedeu de 10 anos a geração de petrólogos de muito boa qualidade que hoje existe. A recristalização com fusão parcial de rochas pelíticas em regime de alta temperatura, para gerar paragénese compostas por óxidos e mais do que um líquido anatético foi o seu último trabalho (1989).

Um significativo avanço estruturante aconteceu com a instalação de um Laboratório de Geocronologia na Universidade de Coimbra, em 1971/72; foi possível com o apoio institucional da Academy of Sciences of Washington e da National Science Foundation (E. U.) e o suporte técnico-científico do Prof. J. Reynolds (Univ. Califórnia).

Na década de 1980 (1980-1987), A. M. Neiva estudou os efeitos metasomáticos induzidos pela intrusão de magmas graníticos e pela instalação de filões pegmáticos e quartzosos na orla de contacto sobre as micas (biotite, moscovite e clorite) das rochas encaixantes. A perspectiva é da distribuição de alguns elementos (W e Sn) e a da variação da pressão de fluídos e da razão f_{H_2O}/HF durante o metassomatismo, ao longo da trajetória metassomatizante. Mostrou que a pressão dos fluídos e que aquela relação de fugacidades aumentam desde a parte interna para a parte externa dos contactos com granitos; demonstrou também que ao contacto com os filões de quartzo há maior pressão de fluídos e menor relação daquelas fugacidades, comparadas com os contactos dos granitos. Estudou e definiu os gradientes de distribuição dos elementos menores nos contactos com filões portadores de Sn, W e de sulfuretos com Au e Ag.

L. Severo Gonçalves, em 1974 e em breves notas posteriores, abordou uma situação petrológica particularmente complexa — o domínio da fossa blastomilonítica de Vale de Cambra, com o seu cortejo de intrusões ante-hercínicas e hercínicas, o metamorfismo blastomilonítico da sutura entre a Zona Centro-Ibérica e a Zona de Ossa-Morena e o metamorfismo-anatexia-granitização sin-orogénica tardia da faixa Porto-Tondela. A perspectiva foi essencialmente mineralógico-petroológica, com particular atenção para as fronteiras da anatexia, como se ajustava à supervisão dentro da Escola de Meinhert, na Universidade Livre de Berlim. Este problema veio depois a ser retomado com um mais amplo enquadramento geotectónico e cartográfico na excelente Carta Geológica e Notícia Explicativa da Folha de Oliveira de Azeméis (Pereira *et al.*, 1980). Trata-se de domínio integrado na ampla zona sobre a qual Soen (1970) publicara a notícia sobre o metamorfismo regional orogénico, seguido por metamorfismo regional plutónico e posterior implantação de granitóides sin-cinemáticos e intrusão de granitos pós-tectónicos. Esta interpretação dos geólogos holandeses recorda o modelo de Barrois (1893), com os granitos mais velhos e granitos mais novos e os diferentes tipos de metamorfismo.

Em 1974, um outro petrólogo da Universidade de Coimbra, M. M. Godinho propôs, com base no estudo da região do Caramulo, que o metamorfismo plutónico de Soen, do tipo Abukuma, isto é, de regime de pressão intermédia a baixa, tivesse sido gerado sob um gradiente $T/P = 49 \pm 6^\circ \text{C/Km}$ e $0,5P_t < P_{H_2} < 0,85P_t$, introduzindo também neste

modelo diferenças de comportamento dos granitos da antiforma, ao longo do andamento estrutural e na sua transversal.

Os estudos de Petrologia Metamórfica pertinentes às rochas do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico, publicados por M. B. Sousa (1982, 1985, 1987, alguns em co-autoria), confirmam a existência de isogradas de metamorfismo regional subparalelas às de contacto (os granitos são considerados sin e tardi- F_3 hercínica por Ferreira *et al.*, 1988), em que o metamorfismo regional apresenta uma evolução contínua entre F_1 e F_2 (F_2 deste autor será o F_3 de Ferreira *et al.*) para atingir o climax sin- F_2 , com uma idade K-Ar de 310 MA. Neste domínio do Douro intermédio definiu também, para os filitos da subfácies albite-clorite-epídoto e não afectados pela clivagem S_2 , uma idade K-Ar no intervalo 315-320 MA, o que poderá interpretar-se como idade híbrida ou como nova via de análise da cinemática na recristalização hercínica.

Em domínio que prolonga o Grupo do Douro para SE, C. A. Macedo (1987) corroborou a existência de metamorfismo sin- F_2 e descriminou, nas orlas de metamorfismo de contacto as isogradas usuais da biotite, andaluzite-cordierite e silimanite raramente. Apesar da quase sobreposição espacial dos corpos intrusivos, que se distribuem no intervalo 385-285 MA (b. P.), os regimes de metamorfismo de contacto, evidenciaram escasso metassomatismo e pouca variedade. Na faixa entre Trancoso e Pinhel estudou a mobilização de elementos maiores dos granitóides que sofreram a deformação semidúctil no alinhamento Juzbado-Marofa-Caramulo, tendo encontrado tendências diversificadas. A evolução petrológica e geoquímica dos granitóides afectados por esta zona de transcorrência semidúctil foi também estudada por A. F. F. Pinto (1982) que definiu para os granitos do Sátão escassa transformação geoquímica. A diversidade dos resultados poderá compatibilizar-se, ao que nos parece, se o processo geoquímico for visto com a dimensão temporal adequada: o cisalhamento sobre granitóides hercínicos precursores ou sin- F_1 poderia, naturalmente, ter acontecido sob o regime termobárico e com fluídos diversos dos que poderiam ter prevalecido no domínio de Penalva do Castelo.

A. F. F. Pinto (1983, 1984, 1984a) estudou na múltipla perspectiva da distribuição, morfologia e composição das fases que constituem os scarnes e rochas calco-silicatadas do Complexo Xisto-Grauváquico e do Paleozóico Inferior, a sua evolução, e, em especial, o metassomatismo que se expressas nas zonas de reacção e zonamentos de idocrases, granadas e epídotos; demonstrou a grande mobilidade do CaO e determinou

os parâmetros termodinâmicos (T , P_{CO_2} , P_{H_2O}) e químicos (SiO_2 , CaO , MgO). No capítulo do metamorfismo imposto pelos granitos hercínicos sobre as rochas pelíticas tem feito o estudo de trajectórias termodinâmicas, usando alguns geotermómetros (cordierite-biotite, cordierite-granada são exemplos). A perspectiva que vem considerando diz respeito a modelos em que são influentes os coeficientes de permeabilidade das rochas recristalizadas; é interessante recordar que se retoma a perspectiva de metamorfismo que no século XIX era considerada.

Contribuição particularmente significativa em matéria de Petrologia Metamórfica e de evolução geotectónica ante-hercínica é a de L. C. Gama Pereira (1987), ao definir nos gneisses da antiforma do Beco (região de Dornes, Alvaiázere) um quadro que contempla duas fases de recristalização cadomiana, com passagem de um regime de pressão intermédia (Barroviana) ao regime de baixa pressão, para o intervalo entre os 580 ± 20 MA e os 535 ± 25 MA. As perspectivas abertas por esta proposição, controversa, de metamorfismo Cadomiano, seguido por um período distensivo, ante-hercínico, compatível com a intrusão dos charnoquitos-noritos, granitos hiperalcalinos e complexos diferenciados desde básicos até ácidos, em estruturas anelares, como os que existem na região de Alter do Chão-Elvas-Olivença, é estimulante até para outros domínios hercínicos.

Na Universidade de Lisboa, o estudo das rochas metamórficas começou como componente exigida pelo estudo petrológico de três maciços eruptivos: o de Sintra por C. A. Matos Alves, o de Sines por M. H. Canilho e o de Monchique por J. Ribeiro dos Santos. Acontece que a dinâmica pessoal e a personalidade, dir-se-ia mesmo que o envolvimento emocional e afectivo, do Prof. Carlos Teixeira propiciaram que, ao longo de mais de trinta anos, a actividade científica do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico de Lisboa andasse muito ligada aos programas de cartografia dos Serviços Geológicos de Portugal e também aos de prospecção de urânio da Junta de Energia Nuclear. Havia três programas que envolviam a Universidade e os Serviços Geológicos:

a) Geologia do NE alentejano, que envolvia a cartografia, estratigrafia e petrografia, coordenada por F. Gonçalves e em que vieram a envolver-se, numa perspectiva petrológica, M. H. Canilho, A. V. Pinto Coelho, J. M. Munhá, J. Brandão.

b) Geologia do Maciço de Évora, na qual trabalhou longamente A. Barros e Carvalhosa (1965, 1972, 1975, 1982), o qual fez estudos de fácies de metamorfismo, usando as excelentes famílias litológicas desse maciço. Adoptou os modelos de Bard (1969) e caracterizou mineralogicamente, com o respectivo enquadramento na deformação hercínica (principalmente F_1), a banda de Évora-Aracena, com o metamorfismo de baixa pressão.

c) Geologia de Trás-os-Montes oriental, um projecto que envolveu uma extensa gama de jovens licenciados e requereu a colaboração nos estudos petrográficos de C.A. Matos Alves, C. Cramez, J. Macedo e R. Quadrado (1963, 1964, 1965). Progressivamente evoluiu para um projecto autónomo dos Serviços Geológicos de Portugal, com a coordenação assumida por A. Ribeiro, e veio a permitir a construção de uma notável tese de doutoramento (A. Ribeiro, 1974): a tese contém um modelo que assenta na individualização e correlação de unidades paleogeográficas com litologias diversas, permitindo fazer um modelo aloctonista para as unidades peri e centrotransmontanas e um outro modelo de aloctonia (estes modelos evoluíram para um unificador) para os Maciços de Bragança e Morais, que podem considerar-se em cenários diversificados. Nesse trabalho apresenta-se o estudo da zonalidade metamórfica geral do nordeste transmontano.

Qualquer destes programas tinha o aliciante da dimensão e da diversidade, o que nos parece ter constituído uma característica desta Escola. A componente petrológica, que de início era acessória da cartografia e da geologia estrutural e ainda reflectia a influência das Escolas do Museu de História Natural de Paris, ganhou estatuto diverso, nomeadamente na análise do metamorfismo, com Carvalhosa, e depois, já no início da década de 1980, com os discípulos da Escola de Fyfe (J.M. Munhá e F. Barriga).

O desenvolvimento de capacidades analíticas, com micro-sonda electrónica, primeiro (1982) na Universidade de Lisboa, com o suporte do INIC e depois nos Laboratórios da Direcção Geral de Geologia e Minas, no Porto, teve influência significativa.

A dinâmica da Instituição, consequente a 1974, disparou na Universidade de Lisboa uma perspectiva diferente. Em consequência, fizeram a sua preparação dentro da petrologia, na Universidade de Western Ontario, J.M. Munhá e F. Barriga: trabalharam no domínio da geoquí-

mica e petrologia ígnea, metamórfica e de mineralização da Zona Sul Portuguesa. J.M. Munhá (1981), demonstrou a existência duma polaridade metamórfica que compreende as fácies zeolítica, da prenite-pumpeleite e dos xistos verdes numa progressão para NE; o regime de metamorfismo seria de baixa pressão, com gradiente geotérmico na ordem dos 40-50° C/Km. Para além de extensos estudos analíticos, o autor discutiu o confronto das fácies de baixo grau em termos de potencial químico dos constituintes móveis e estudou as reacções que fazem as transições. Posteriormente, estudou diversas situações de metamorfismo que afectou sequências vulcano-sedimentares, séries ofiolíticas, complexos ou unidades com rochas máficas e ultramáficas, carreando os indicadores geoquímicos que ajudam a construir os modelos geodinâmicos correspondentes à implantação dos corpos intrusivos e à recristalização metamórfica. Tem investigado as situações de partilha de elementos e de isótopos, nomeadamente do oxigénio, e neste último caso deduziu que, na recristalização dos xistos verdes da Zona Sul Portuguesa, houve a intervenção de águas superficiais.

Os trabalhos que F. Barriga empreendeu sobre a petrologia das rochas vulcânicas bimodais e sobre os minérios da faixa piritosa resultaram num modelo de metamorfismo hidrotermal oceânico, que este autor postula como responsável pela existência dos espilitos e ceratófiros, pelas paragénese dos sedimentos vulcanogénicos associados e pelas mineralizações de sulfuretos maciços. O metamorfismo regional gerador da fácies zeolítica seria contemporâneo da deformação tectónica induzida pela própria dinâmica sin-deposicional. Também aqui se expressa um extremo enriquecimento em $\delta^{18}\text{O}$ até valores de 17‰; há, neste trabalho, uma aproximação genética para a convecção de fluxos de água do mar com aquecimento proveniente das zonas mais profundas.

A extensa controvérsia consequente da proposição de modelos aloctonistas para as unidades do Grupo Transmontano tornaram obviamente muito importantes a petrologia desta zona. Em 1972, houve um trabalho extenso publicado por M. P. Anthonioz, no qual se podem apreciar as descrições petrográficas apresentadas para as diversas unidades dos maciços de Bragança e de Morais; é muito claro o modelo de aloctonia tangencial e representa inovação o que escreve sobre blastomilonitização. Tornam-se obviamente muito importantes as ocorrências das paragénese que representem possível recristalização de alta pressão e, por isso, posteriormente, são estudadas em pormenor as rochas com

crossite, e as raras que têm lawsonite, e que se situam na região de Mascarenhas (Mirandela), Vale Benfeito (Macedo de Cavaleiros) e a SE de Vinhas (Macedo de Cavaleiros). Em 1976, M. L. Ribeiro, publica uma notícia sobre a ocorrência da crossite em rochas hipercalcínicas de Vale Benfeito com o enunciado do seu significado petrológico e em anos posteriores (1978, 1983, 1984, 1986), sucedem-se as notícias sobre a petrologia, geoquímica e geocronologia referentes a estas unidades (vd. M. L. Ribeiro e L. J. G. Schermerhorn). Em 1986, M. L. Ribeiro, apresenta como tese o modelo de metamorfismo que afectou as duas sequências de vulcanitos bimodais (sendo a primeira alcalina transicional e a segunda toleítica), cuja idade Rb-Sr é de 473 ± 49 MA, e dos sedimentos de Macedo de Cavaleiros-Vale Benfeito-Carrapatas-Cortiços; situa-o durante a segunda fase de deformação hercínica, em que o metamorfismo era Barroviano, e durante o amortecimento desta fase, que aconteceu com gradiente de mais baixa pressão, mas com temperatura incrementada. As anfíbolas alcalinas são explicadas com base no acréscimo fO_2 . A lawsonite apenas aparece mencionada em metabasitos do lado oriental do Maciço de Morais (Schermerhorn e Kotsch, 1984).

6. Numa perspectiva geral, abrangente das diversas instituições vocacionadas para o estudo das Ciências da Terra, é possível concluir que os estudos de Petrologia Metamórfica em Portugal e no século XX tiveram uma primeira fase com Souza Brandão, até 1916, e uma segunda fase, com início no final da década de 50. Durante esta segunda fase os estudos de Petrologia têm incidido nas perspectivas mineralógicas e mais recentemente nas geoquímicas. As questões ou problemas mais desenvolvidamente estudados têm sido os que referem a: a) caracterização e evolução metamórfica da Zona da Galiza Média - Trás-os-Montes, b) evolução metamórfica na Zona Sul Portuguesa, c) mineralogia e geoquímica dos scarnes e rochas calco-silicatadas e ainda das rochas pelíticas encaixantes de veios mineralizados, na Zona Centro-Ibérica, d) formações metamórficas do NE Alentejano, e) relação com granitos, no domínio Porto-Viseu.

De alguma maneira, em Portugal, a Petrologia Metamórfica surgiu como consequência da necessidade de apoiar a elaboração de cartas geológicas e de esclarecer o enquadramento geológico dos platinóides e jazigos de cromite no Nordeste transmontano, encontrar modelos de distribuição para os sulfuretos polimetálicos na Zona Sul Portuguesa e para os jazigos de scheelite na Zona Centro-Ibérica, e ainda definir as

migrações de elementos nas zonas de contacto entre os granitos hercínicos e as formações encaixantes, sejam elas na Zona Centro-Ibérica ou na Zona de Ossa-Morena. Naturalmente que a investigação sobre o metamorfismo ultrapassou geralmente os requisitos impostos pela estratégia da prospecção mineira.

Com toda a naturalidade, a perspectiva da investigação em Petrologia Metamórfica transitou da cartografia e estratigrafia para a geoquímica e a geotectónica.

Bibliografia

- ANDRADE, A. A. S. (1984) — «Sobre a originalidade (ou talvez não) do Maciço de Beja, no SW Peninsular», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 97, pp. 115-132.
- ANTHONIOZ, P. M. (1972) — «Les Complexes Polymetamorphiques Precambrien de Morais et Bragança (NE du Portugal). Étude Petrographique e Structural», *Mem. Serv. Geol. Portugal*, t. 20.
- AVILA MARTINS, J. (1962) — «Contribuição para o conhecimento geológico da região do Caramulo», Junta de Energia Nuclear, *Mem.* 35, pp. 123-227.
- BARD, J. P. (1969) — *Le metamorphism regional progressif des Sierras d'Aracena (Andalousie Occidentale)*, Tese Univ. Montpellier, 379 pp.
- BARRIGA, F. J. A. S. (1983) — *Hydrothermal metamorphism and ore genesis of Aljustrel, Portugal*, Ph. D. Thesis, Univ. Western Ontario, 368 pp.
- BOORDER, H. de (1965) — *Petrological Investigations in the Aguiar da Beira Granite Area, Northern Portugal*, Tese Univ. Amsterdam, 126 pp.
- BRAVO, M. S. e ABRUNHOSA, M. J. (1978) — «Sobre a petrografia e origem dos anfíbolitos da Foz do Douro (Porto-Portugal)», *Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Porto*, n.º XC, pp. 7-26.
- CARVALHOSA, A. B. (1965) — «Contribuição para o conhecimento geológico da região entre Portel e Ficalho», *Serv. Geol. Portugal, Mem.* 11, 132 pp.
- CARVALHOSA, A. B. (1972) — «Estudo Geológico-petrográfico da região de Viana do Alentejo-Alvito», *Bol. Soc. Geol. Portugal*, v. XVIII, pp. 7-55.
- CARVALHOSA, A. B. e GONÇALVES, F. (1978) — «Nota Prévia sobre a existência de deformação, metamorfismo e granitização ante-hercínica na parte portuguesa da ZOM», *Bol. Soc. Geol. Portugal*, v. XXI, pp. 13-18.

- COELHO, J., GARCIA, D. et FONTEILLES (1985) — «Les skarnes à scheelite de Covas (Minho, N Portugal): Petrographie et Mineralogie des parageneses primaires», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. LXXI, pp. 123-138.
- CONDE, L. N. (1984) — «Excursão geológica na região de Ferreira do Zêzere-Abrantes», Roteiro VI Reunião GOM, Coimbra.
- COSTA, J. C. (1931) — *O Paleozóico Português. Síntese e crítica*, Tese Univ. Porto.
- DELGADO, J. F. N. (1905) — «Contribuições para o conhecimento dos terrenos Paleozóicos», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. VI, pp. 56-122.
- FERREIRA, N., IGLÉSIAS, M., NORONHA, F., PEREIRA, E., RIBEIRO, A. e RIBEIRO, M. L. (1988) — «Granitóides da Zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico», *Geología de los Granitóides y rocas asociadas del Maciço Hespérico*, Libro del Homenaje a L. C. C. Fiqueroa, I, pp. 37-51.
- FLEURY, E. (1922) — «Les plissements hercyniens en Portugal», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. 13, pp. 65-83.
- FYFE, W. S., TURNER, F. J. and VERHOOGEN, J. (1958) — «Metamorphic facies and metamorphic reactions», *Geol. Soc. America, Mem.* 73, 258 pp.
- GASPAR, O. C. (1957) — «Rochas verdes anfibolíticas da Beira Litoral», *Estudos, Notas e Trabalhos do S. F. M.*, t. 12, f. III-IV, pp. 220-241.
- GODINHO, M. M. (1974) — «Sobre o plutonometamorfismo da região do Guardão (Caramulo, Portugal)», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 78, pp. 37-77.
- GONÇALVES, F. (1971) — «Subsídios para o conhecimento geológico do NE Alentejano», *Mem. Serv. Geol. Portugal*, n.º 18, 62 pp.
- GONÇALVES, L. S. M. (1974) — *Geologie und Petrologie des Gebiets von Oliveira de Azeméis und Albergaria-a-Velha (Portugal)*, Inaug. Dissert. dockt Frein Univ. Berlin, 261 pp.
- JULIVERT, M., FONTBOTÉ, J. M., RIBEIRO, A., CONDE, L. N. (1972) — *Mapa tectónico de la Peninsula Iberica y Baleares*, Ed. Inst. Geol. y Minero España, 113 pp.
- JUNG, J., ROQUES, M. (1952) — «Introduction à l'étude zoneographique des formations crystallophylliennes», *Bull. Serv. Carte. Geol. France*, 62 pp.
- KLEYN, H. F. N. (1960) — «Contribution to the Geology of the Odemira-São Luís region (Southern Portugal)», *Medede. Geol. Inst. Univ Amsterdam*, v. 255, 114 pp.

- KORZHINSKII, D. D. (1959) — *Phisicochemical Basis of the Analysis of Paragenesis of Mineral*, Consultants Bureau, New York, 141 pp.
- KOSSMAT, F. (1927) — «Gliderung des Variszischen Gebirgsbaues», *Abh. Sachs. Geol. L. A.* 1, 39 pp.
- LOTZE, F. (1945) — «Algunos problemas de la Meseta Iberica», *Inst. L. Mallada*, Publ. extranjeras, v. V, pp. 171-196.
- LOTZE, F. (1945a) — «Observaciones respecto a la division de los variscides de la Meseta Iberica», *Inst. L. Mallada*, Publ. extranjeras, v. 27, pp. 149-166. (Trad. 1950).
- MAIJER, C. (1965) — *Geological Investigations in the Amarante region (Northern Portugal) with special reference to the Mineralogy of the cassiterite-bearing albite-pegmatites*, Thesis Meded. Geol. Inst. Univ. Amsterdam, v. 333, 155 pp.
- MATA, J. e MUNHA, J. M. (1985) — «Geochemistry of mafic metavolcanic rocks from the Estremoz region (South Central Portugal)», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. LXXI, pp. 175-184.
- MENDES, F. (1967) — «Contribution à l'étude Geochronologique par la méthode au strontium des formations cristallines du Portugal», *Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências (Lisboa)*, v. 2 (1), pp. 1-155.
- MONTENEGRO DE ANDRADE, M. (1977) — «O anfibolito olivínico do Engenho Novo (Vila da Feira)», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. LXI, pp. 43-62.
- MUNHA, J. M. (1981) — *Igneous and metamorphic petrology of the Iberian Pyrite Belt*, Ph. D. Thesis. Univ. Western Ontario, 711 pp.
- MUNHA, J. M., RIBEIRO, A. e RIBEIRO, M. L. (1984) — «Blueschists in the Iberian Variscan Chain (Trás-os-Montes, NE Portugal)», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. LXX, pp. 31-54.
- MUNHA, J. M., KERRICK, R. (1980) — «Sea water basalt interaction in spilites from the Iberian pyrite belt», *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 73, pp. 191-200.
- MIYASHIRO, A. (1961) — «Evolution of Metamorphic belts», *J. Petrology*, v. 2, pp. 277-311.
- MIYASHIRO, A. (1967) — «Orogeny, regional metamorphism and magmatism in Japanese Islands», *Medd. Dansk Geol. Foren.*, v. 17, pp. 390-446.
- MIYASHIRO, A. (1972) — «Metamorphism and related magmatism in plate tectonics», *Amer. J. Sci.*, v. 272, pp. 629-396.

- NEIVA, A.M.R. (1980) — «Chlorite and biotite from contact metamorphism of phyllite and metagraywacke by granite, aplite-pegmatite and quartz veins», *Chem. Geology*, v. 29, pp. 49-71.
- NEIVA, A.M.R. (1982) — «Geochemistry of muscovite and some physico-chemical conditions of the formation of some tin-tungsten deposits in Portugal», in A. M. Evans (editor), *Metallization Associated with Acid Magmatism*, John Wiley & Sons Ltd., pp. 243-259.
- NEIVA, A.M.R. (1987) — «Geochemistry of greisenized granites and metasomatic schists of tungsten-tin deposits in Portugal», in H. C. Helgeson (editor), *Chemical Transport in Metasomatic Processes*, D. Reidel Pub. Comp., pp. 681-699.
- NEIVA, A.M.R. e SILVA, M.M.V.G. (1987) — «Metasomatic alterations of the country schist at the Jales Gold-Silver quartz vein wall (Portugal)», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 103, pp. 33-47.
- NEIVA, J.M.C. (1948) — «Serpentinities et Serpentinization», *Estudos, Notas e Trabalhos do S.F.M.*, t. IV, pp. 3-19.
- NEIVA, J.M.C. (1948) — *Rochas e Minérios da Região de Bragança-Vinhais*, Tese, Direcção-Geral de Minas e Serv. Geol. Porto, 251 pp.
- NEIVA, J.M.C. (1979) — «Alterações metassomáticas nas rochas encaixantes de jazigos minerais de diferenciação magmática», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 88, pp. 45-49.
- PEREIRA, E.S., GONÇALVES, L.S.M. e MOREIRA, A. (1980) — «Carta Geológica e Notícia Explicativa da oFlha 13 D de Oliveira de Azeméis», Serv. Geol. Portugal, 1 Mapa.
- PEREIRA, L.C.G. (1987) — *Tipologia e Evolução da Sutura entre a ZCI e a ZOM no sector entre Alvaizere e Figueiró dos Vinhos*, Tese, Univ. Coimbra, 331 pp.
- PINTO, A.F.F. (1982) — *Rochas calco-silicatadas a Norte do Tejo: Mineralogia, Petrologia e Geoquímica*, Tese de Dout. Univ. Coimbra, 612 pp.
- PINTO, A.F.F. (1984) — «Rochas calco-silicatadas do Complexo Xisto-Grauváquico: Mineralogia, Geoquímica, Evolução Genética», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. LXX, pp. 55-62.
- PINTO, A.F.F. (1984a) — «As rochas epidotíticas de Almendra: Mineralogia, Geoquímica, Evolução Genética», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. LXX, pp. 63-72.
- PORTUGAL FERREIRA, M. (1965) — «Geologia e Petrologia da Região de Rebordelo-Vinhais», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 58, p. 287.

- PORTUGAL FERREIRA, M. (1966) — «Sobre um piroxenito com hercinite, granada e corindo de Nunes (Vinhais, NE Portugal)», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 61, pp. 1-18.
- PORTUGAL FERREIRA, M. (1966) — «As granadas e a sua paragéneses em rochas de elevado grau de metamorfismo», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 61, pp. 19-44.
- PORTUGAL FERREIRA, M. (1968) — «Comentário sobre o metamorfismo no Complexo de Vinhais (NE Portugal)», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 63, pp. 17-32.
- PORTUGAL FERREIRA, M., SOUSA, M.B. e PIRES, C.A.C. (1971) — «Nota prévia sobre a fácies zeolítica», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 70, pp. 1-37.
- PORTUGAL FERREIRA, M. (1972) — *Rochas metamórficas*, Ed. do Autor, Coimbra, 263 pp.
- PRIEM, H.N.A. (1962) — *Geological, petrological and mineralogical investigation, in the Marão region, Northern Portugal* Thesis Univ. Amsterdam, 160 pp.
- PUGA, E. e PORTUGAL FERREIRA, M. (1989) — «The recrystallization and partial melting of the xenoliths of pelitic rocks and their bearing on the contaminated basalts (Subbetic Zone, Spain)», in BONIN *et al.* (editor), *Magma Crust Interaction and Evolution, Theophrastus*, pp. 115-159.
- READ, H.H. (1949) — *Granitização e actividade ígnea* (Trad. D. Rosas da Silva), Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Porto, n.º 26.
- REGÊNCIO MACEDO, C.A. (1988) — *Granitóides, Complexo Xisto-Grauváquico e Ordovícico da região entre Trancoso e Pinhel (Portugal Central)* — *Geologia, Petrologia e Geocronologia*, Tese Univ. Coimbra, 430 pp.
- RIBEIRO, A. (1974) — *Contribution à l'Étude Tectonique de Trás-os-Montes Oriental*, Mem. Serv. Geol. Portugal, v. 24, 168 pp.
- RIBEIRO, M.L. (1976) — «Considerações sobre a ocorrência de crossite em Trás-os-Montes Oriental», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 82, pp. 1-16.
- RIBEIRO, M.L. (1978) — «Algumas observações sobre o metamorfismo na região de Tourém», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. LXII, pp. 151-169.
- RIBEIRO, M.L. (1986) — *Geologia e Petrologia da região de SW de Macedo de Cavaleiros*, Tese Univ. Lisboa, Serv. Geol. Portugal, 202 pp.

- RIBEIRO, M.L., BARNETT, R.L., MUNHA, J.M. e RIBEIRO, A. (1983) — «Blueschists in Eastern Trás-os-Montes (NE Portugal): evidence for overthrusting», (Abs), V Semana de Geoquímica, Aveiro.
- ROCK, N.M.S. (1976) — «Fenitization around the Monchique alkaline Complex, Portugal», *Lithos*, v. 9, pp. 263-279.
- SCHERMERHORN, L.J.G. (1956) — «The age of the Beira Schists (Portugal)», *Bol. Soc. Geol. Portugal*, v. XII, pp. 77-100.
- SCHERMERHORN, L.J.G. (1956) — *Igneous, metamorphic and ore Geology of the Castro Daire-S. Pedro do Sul-Sátão Região (Northern Portugal)*, Tese Univ. Amsterdam, Com. Serv. Geol. Portugal, t. XXXVII, 617 pp.
- SCHERMERHORN, L.J.C. e KOTSCH, S. (1984) — «The first occurrence of lawsonite in Portugal and tectonic implications», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. LXX, pp. 23-30.
- SLUIJK, D. (1963) — *Geology and Tin-tungsten deposits of the Regoufe area Northern Portugal*, Tese Univ. Amsterdam, 123 pp.
- SOEN, O.I. (1958) — *The Geology, Petrology and Ore Deposits of the Viseu Region, Northern Portugal*, Tese Univ. Amsterdam, Com. Serv. Geol. Portugal, t. XLI, 199 pp.
- SOEN, O.I. (1968) — «Magnesium metassomatism in Basic hornfels near Farminhão, Viseu District (Northern Portugal)», *Chem. Geology*, v. III, pp. 248-279.
- SOEN, O.I. (1970) — «Granite intrusion, folding and metamorphism in Central Northern Portugal», *Bol. Geol. Miner. España*, v. 81 (2/3), pp. 271-298.
- SOUSA, M.B. (1982) — *Litoestratigrafia e estrutura do Complexo Xisto-Grauváquico ante-Ordovícico - Grupo do Douro (NE de Portugal)*, Tese Univ. Coimbra 222 pp.
- SOUSA, M.B. (1985) — «Perspectiva sobre os conhecimentos actuais do Complexo Xisto-Grauváquico de Portugal», *Mem. Not. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, v. 100, pp. 1-16.
- SOUSA, M.B. e MACEDO, C.A.R. (1987) — «Relações cronológicas do metamorfismo regional versus metamorfismo de contacto na região de Tabuaço-Pinhão-S. João da Pesqueira (NE de Portugal)», IX Reunião de Geologia do Oeste Peninsular, Resumo, Porto.
- SOUZA-BRANDÃO, V. (1911) — «Contribuições para a petrographia de Portugal. I. Descrição de algumas rochas da região de Penacova», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. VIII, pp. 110-142.

- SOUZA-BRANDÃO, V. (1913) — «IV. Exame e classificação dos Schistos crystallinos e contacto-metamórficos d'Além Douro», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. IV, pp. 146-179.
- SOUZA-BRANDÃO, V. (1914) — «A faixa de Phyllites porphyroblásticas do Precâmbrio do Districto de Aveiro», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. X, pp. 78-143.
- SOUZA-BRANDÃO, V. (1915) — «Contribuição para a petrographia do Districto de Aveiro», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. XI, pp. 16-57.
- SOUZA-BRANDÃO, V. (1917) — «Exame de algumas rochas das vizinhanças da nascente de águas thermais de Valladares do Minho (Monção)», *Com. Serv. Geol. Portugal*, t. XII, pp. 17-30 (póstumo).
- SPOONER, E. T. C. & FYFE, W. S. (1973) — «Sub-Sea-floor metamorphisms, heat and mass transfer», *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 42, pp. 287-304.
- STRAUSS, G.K. & MADEL, J. (1974) — «Geology of massive sulphide deposits in the Spanish-Portuguese Pyrite Belt», *Geol. Bunds*, v. 63 (1), pp. 191-211.
- TEIXEIRA, C. e GONÇALVES, F. (1980) — *Introdução à Geologia de Portugal*, Inst. Nac. Inv. Científica, 475 pp.
- THADEU, D. (1951) — «Geologia e jazigos de chumbo e zinco da Beira Baixa», *Bol. Soc. Geol. Portugal*, v. IX (I-II).
- TURNER, F.J. (1948) — *Mineralogical and Structural Evolution of the Metamorphic Rocks*, *Geol. Soc. Amer., Mem.* 30, 342 pp.
- WESTERWELD, J. *et al.* (1956) — «Roches eruptives, gites metallifères et métamorphisme entre Mangualde et le Douro dans le Nord du Portugal», *Bol. Soc. Geol. Portugal*, vol. XII, pp. 101-127.