

COLEÇÃO AULA ABERTA

A GEODIVERSIDADE DA REGIÃO DE ÉVORA

Manuel Francisco Pereira
Cristina Gama
Francisco Figueira
Pedro Morais



COLEÇÃO AULA ABERTA

A GEODIVERSIDADE DA REGIÃO DE ÉVORA

Manuel Francisco Pereira
Cristina Gama
Francisco Figueira
Pedro Morais



Ficha Técnica

Título _ A Geodiversidade da região de Évora

Autores _ Manuel Francisco Pereira, Cristina Gama, Francisco Figueira e Pedro Morais

© Os autores

Editor _ Imprensa da Universidade de Évora

Coleção _ Aula Aberta

Paginação _ Divisão de Comunicação da Universidade de Évora

ISBN 978-972-778-501-8

Évora 2025

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os alunos e colegas que participaram ao longo dos últimos anos letivos em atividades de campo sobre a Geologia da região de Évora, e aos revisores anónimos. Este trabalho é mais um tributo ao legado do geólogo de campo e Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Évora, Francisco Gonçalves.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	6
1.1 Geodiversidade	6
1.2 Objetivo	7
2. ESTUDO NO CAMPO DE ROCHAS ÍGNEAS PLUTÓNICAS E DE ROCHAS METAMÓRFICAS	10
2.1 Cartografia geológica	10
2.2. Cartografia geológica de rochas ígneas plutónicas	13
2.3. Cartografia geológica de rochas metamórficas	22
3. COMO, ONDE E QUANDO SE FORMARAM AS ROCHAS ÍGNEAS PLUTÓNICAS E METAMÓRFICAS DE ÉVORA	31
3.1. A origem das rochas metamórficas da região de Évora	32
3.2. A origem e instalação dos magmas de Évora	35
4. GEOPERCURSO DA MURALHA DE ÉVORA	37
PARAGEM 1 (Muralha de Évora; Seminário)	38
PARAGEM 2 (Muralha de Évora; Nova Porta de Aviz)	42
PARAGEM 3 (Muralha de Évora; Porta Velha da Lagoa)	45
PARAGEM 4 (Muralha de Évora, Avenida de Lisboa)	49
PARAGEM 5 (Muralha de Évora, Avenida de Lisboa _1)	53
PARAGEM 6 (Muralha de Évora, Avenida de Lisboa _2)	58
PARAGEM 7 (Muralha de Évora, Avenida de Lisboa _3)	62
5. GEOPERCURSO DO MIRADOURO DO ALTO DE SÃO BENTO	66
PARAGEM 1 (Miradouro do Alto São Bento)	67
PARAGEM 2 (Miradouro do Alto São Bento)	68
PARAGEM 3 (Miradouro do Alto São Bento)	69
PARAGEM 4 (Miradouro do Alto São Bento)	72
PARAGEM 5 (Miradouro do Alto São Bento)	73
PARAGEM 6 (Miradouro do Alto São Bento)	74

6. GEOPERCURSO DO POLO DA MITRA (VALVERDE)	75
PARAGEM 1 (Pólo da Mitra)	76
PARAGEM 2 (Pólo da Mitra)	77
PARAGEM 3 (Pólo da Mitra)	78
PARAGEM 4 (Pólo da Mitra)	79
PARAGEM 5 (Pólo da Mitra)	80
PARAGEM 6 (Pólo da Mitra)	81
PARAGEM 7 (Pólo da Mitra)	82
PARAGEM 8 (Pólo da Mitra)	83
PARAGEM 9 (Pólo da Mitra)	84
PARAGEM 10 (Pólo da Mitra)	85
7. ATIVIDADE DE ENSINO-APRENDIZAGEM SOBRE A GEODIVERSIDADE DA MURALHA DE ÉVORA	86
7.1. Atividade de Ensino-Aprendizagem_Introdução	88
7.2. Atividade de Ensino-Aprendizagem_Paragem 1	91
7.3. Atividade de Ensino-Aprendizagem_Paragem 2	94
7.4. Atividade de Ensino-Aprendizagem_Paragem 3	97
7.5. Atividade de Ensino-Aprendizagem_Paragem 4	100
7.6. Atividade de Ensino-Aprendizagem_Paragem 5	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

1. INTRODUÇÃO

1.1 GEODIVERSIDADE

O conceito geodiversidade foi usado no final do século passado num estudo sobre a identificação de formas de relevo e locais de interesse geológico do State Forests of Tasmania, na Austrália (Sharples, 1993).

O conceito de geodiversidade (figura 1) aplica-se ao descrever a diversidade geológica (minerais, rochas e fósseis), geomorfológica (formas do relevo), hidrológica (recursos hídricos superficiais e subterrâneos) e pedológica (solos), considerando os processos dinâmicos, que foram desenvolvidos a diferentes escalas espaciais e temporais (Thomas, 2012), e que estão diretamente relacionados com a sua origem, evolução e interação com os sistemas ecológicos (climáticos e biológicos) (Sharples, 1995).



figura 1
Esquema do conceito de geodiversidade

A divulgação do conceito geodiversidade, que surgiu como representando o equivalente geológico do conceito de biodiversidade, tem contribuído decisivamente para incrementar a sensibilização da sociedade sobre o valor do património natural, ajudando a reconhecer novos sítios de significativo interesse geológico que devem ser alvo de conservação (Serrano e Ruiz-Flaño, 2007; Gray et al., 2013).

Os avanços científicos no conhecimento sobre geodiversidade são essenciais para definir a estratégia de inventariação do património geológico (“geoheritage”), com o objetivo de explorar a sua relevância para a educação ambiental, o geoturismo, as atividades de lazer, e para a criação de geoparques (Gray, 2008), desde que garanta a sua preservação para usufruto das gerações futuras (Brilha et al., 2018).

Recentemente, foi proposto o conceito de hotspot de geodiversidade (“hotspot geodiversity”; Bétard e Peulvast, 2019) que é um instrumento importante para classificar as áreas geográficas que são muito ricas em geodiversidade, mas cuja preservação está ameaçada pela atividade antrópica. A disseminação da importância da geodiversidade, como sendo uma parte muito relevante do património natural (geológico) com inegável interesse ambiental, científico, educativo, cultural e económico, poderá ser um fator determinante na preparação dos planos de ordenamento e gestão do território que são a base para o desenvolvimento das políticas de gestão e exploração sustentável dos recursos naturais.

A geodiversidade urbana, apesar de ser ainda pouco conhecida e explorada do ponto educativo, apresenta um grande potencial para o desenvolvimento de estratégias de desenvolvimento do geoturismo (Gray, 2019; Marques da Silva, 2019; Wolniewicz, 2022). A geodiversidade também pode ser usada para promover a Ciência em contacto direto com o público e a comunidade educativa, articulando a realização de atividades exteriores no espaço urbano e em locais de interesse situados em redor das cidades (Marques da Silva, 2016).

1.2 OBJETIVO

No centro da cidade de Évora são escassos os afloramentos de rocha (exposições *in situ*) que estejam bem conservados para criar pontos de interesse para os visitantes e munícipes poderem conhecer a geodiversidade deste território urbano.

O objetivo desta publicação é inventariar pontos de interesse sobre a geodiversidade de Évora, recorrendo aos exemplares de rochas ígneas plutónicas e metamórficas que estão expostas na muralha que rodeia o centro histórico desta cidade, para criar percursos pedestres para divulgação científica e para o ensino da Geologia (figura 2). Pretende-se ainda, comparar as rochas observadas nos pontos de interesse da muralha de Évora com a geodiversidade que se observa *in-situ* nos afloramentos de rochas plutónicas e metamórficas localizados no miradouro do Alto de São Bento e no Polo da Mitra da Universidade de Évora (figura 2a-b), que distam cerca de 2.5 km e 12 km, respetivamente, do centro histórico de Évora.

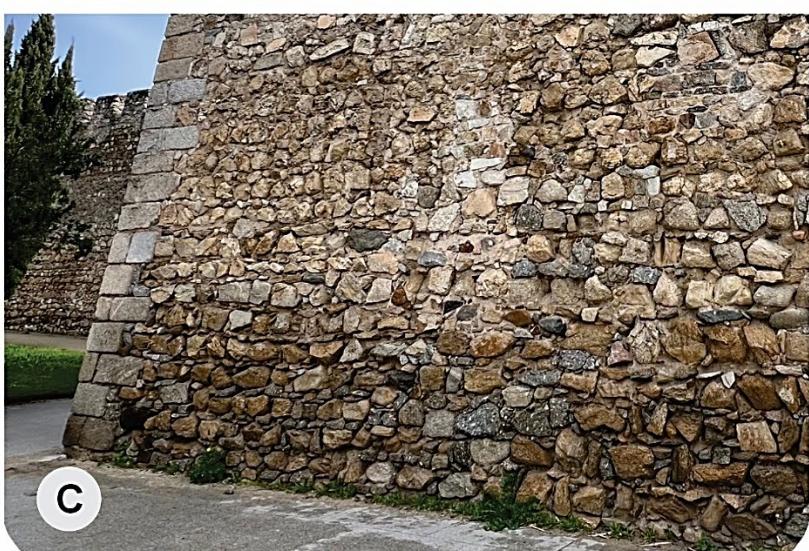


figura 2

Vários exemplos da geodiversidade da região de Évora podem ser observados:
(A) no miradouro do Alto de São Bento,
(B) no Pólo da Mitra da Universidade de Évora (perto de Valverde) e
(C) ao longo da muralha que rodeia o centro histórico de Évora

Do ponto de vista educativo, a divulgação do conhecimento científico sobre a geodiversidade da região de Évora pode contribuir para que a sociedade conheça melhor e compreenda a evolução do nosso planeta, numa escala de tempo muito mais ampla e abrangente que a escala do tempo histórico. Através da observação e interpretação do significado geológico das rochas plutónicas e metamórficas da região de Évora, é possível recuar no tempo geológico, até à aproximadamente 340-315 milhões de anos (Ma), quando se formou o supercontinente Pangeia.

Ao reconstruirmos a paleogeografia desta etapa da história e evolução da Terra, que decorreu no Carbónico, através da informação registada nas rochas ígneas plutónicas e metamórficas da região de Évora, torna-se possível proporcionar ao leitor uma viagem virtual ao interior da crosta continental e, desta forma, entusiasmá-lo a fomentar a paixão pela Geologia e a reconhecer a sua importância para a sociedade.

2. ESTUDO NO CAMPO DE ROCHAS ÍGNEAS PLUTÓNICAS E DE ROCHAS METAMÓRFICAS

2.1 CARTOGRAFIA GEOLÓGICA

A cartografia geológica é uma técnica que permite reunir informação sobre a geodiversidade de uma determinada região. Os resultados obtidos são processados e posteriormente publicados na forma de cartas geológicas, que são representações bidimensionais da distribuição geográfica dos diferentes tipos de rochas, separados por limites geológicos.

No presente guia dedicaremos atenção à cartografia geológica de rochas ígneas plutónicas e metamórficas da região de Évora.

A base da cartografia geológica é o trabalho de campo, onde o geólogo observa afloramentos *in-situ*, recolhendo dados sobre as características compostionais (mineralógicas) e texturais dos diferentes tipos de rochas (litologias) e sobre o modo de ocorrência e respetivas relações geométricas que apresentam entre si.

A cartografia geológica inicia-se com um percurso a pé na área de estudo, usando para orientação no terreno uma base topográfica, uma fotografia aérea ou uma imagem de satélite, sobre a qual o geólogo marca as estações (afloramentos para recolha de dados) e define os limites geológicos. Os afloramentos de rocha que são selecionados para serem estudados são georreferenciados usando um GPS (figura 3).

Esta informação é essencial para a posterior elaboração das cartas geológicas georreferenciadas, usando software especializado, onde será apresentada a distribuição espacial dos diferentes tipos de rochas, considerando a sua composição mineralógica e a sua textura, e incluindo outras características como a presença ou ausência de estruturas primárias (por exemplo originadas durante o fluxo magmático) ou secundárias (resultantes da deformação e do metamorfismo).

A utilização do martelo de geólogo é importante para partir a rocha que está exposta no afloramento, para proporcionar a observação em superfícies mais frescas (menos alteradas) que permitam reconhecer a olho nú, ou usando a lupa de mão, os diferentes tipos de minerais, a sua forma, o tamanho e o arranjo (modo com se orientam).



figura 3

Material que o geólogo utiliza quando realiza trabalhos de cartografia geológica: carta topográfica para localização no terreno, GPS para georreferenciação dos afloramentos estudados, bússola de geólogo para medição de estruturas e livro de campo para recolha de dados

A bússola de geólogo (que inclui um clinómetro) é útil para a orientação no terreno e para medir o fluxo magnético e a foliação das rochas ígneas plutónicas e a foliação das rochas metamórficas (figura 4). O livro de campo é essencial para anotar as observações e interpretações realizadas em cada afloramento. A informação reunida nos esquemas ilustrativos dos afloramentos, que são desenhados no livro de campo, pode ser complementada por uma reportagem fotográfica que destaque outras características importantes das rochas ígneas plutónicas e das rochas metamórficas que devam ser registadas.



A



B



C

figura 4

Utilização da bússola de geólogo para medir estruturas nas rochas plutónicas:
 (A) a direção do fluxo magnético marcado pelo alinhamento de fenocristais de feldspato numa rocha granítica com textura porfírica e encrave mafico (autólito) alongado;
 (B) a direção e
 (C) a inclinação da foliação tectónica numa rocha deformada e metamorfizada quartzo-diorítica a gabro-diorítica (canto inferior esquerdo)

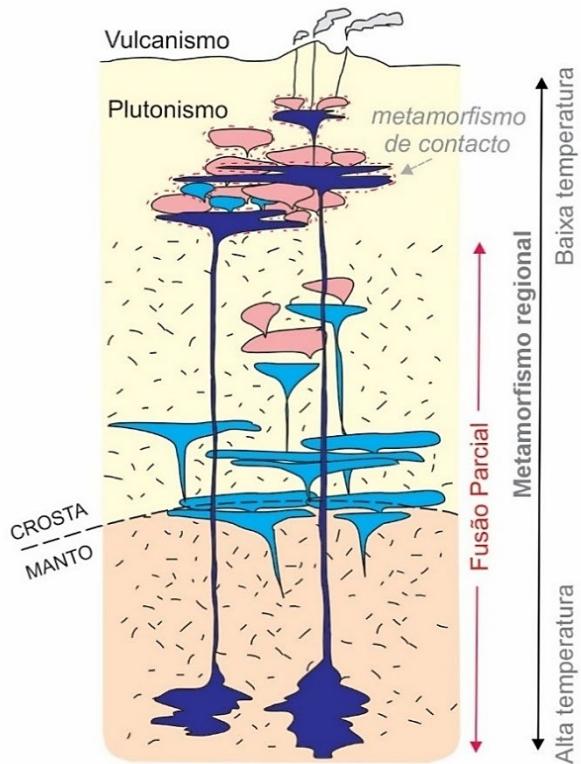
Com base na informação reunida durante a cartografia geológica e posteriormente em laboratório (e.g. estudo das rochas em lâmina delgada usando o microscópio petrográfico), o geólogo tem a capacidade para interpretar quais foram os processos geológicos que

determinaram a origem dos diferentes tipos de rochas, e elaborar uma história geológica da região.

2.2. CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DE ROCHAS ÍGNEAS PLUTÓNICAS

As rochas ígneas plutónicas formam-se a partir da cristalização de magma no interior da crosta. O magma que tem origem na fusão parcial das rochas que constituem a crosta ou o manto, tende a ascender através da crosta e a instalar-se a diferentes profundidades. O magma pode intruir diferentes tipos de rochas ígneas plutónicas e rochas metamórficas designadas por rochas encaixantes. O magma ao cristalizar dá origem a volumosos corpos intrusivos (batólitos com mais de 100 km² que são constituídos por vários plutões, de menor dimensão). Um batólito pode ser constituído por vários plutões com características texturais e composicionais ligeiramente ou muito diferentes, que se instalaram ao longo do tempo geológico durante eventos magmáticos sucessivos (figura 5).

figura 5
Esquema ilustrativo da formaçao de um batólito constituído por vários plutões instalados durante eventos magmáticos sucessivos. A fusão parcial do manto gera magmas que se instalam na base da crosta, criando uma significativa anomalia térmica; a interação dos magmas de origem mantélica com a crosta e com magmas que resultam da fusão da crosta, gera magmas híbridos (através da assimilação e mistura de magmas); os magmas híbridos, os de origem mantélica, e os que resultam da fusão parcial da crosta podem alcançar a superfície e originar vulcanismo



A forma dos plutões pode ser cónica, lenticular, tabular, cilíndrica e irregular, e os seus contactos com as rochas encaixantes podem ser mais ou menos difíceis de definir.

O contacto entre o plutão e as rochas encaixantes pode ser brusco, quando a instalação ocorre em níveis crustais mais superficiais. Neste caso, o encaixante encontra-se em condições de muito baixo a baixo-grau metamórfico quando é intruído por um magma com maior temperatura, e como consequência o limite do plutão é marcado pelo desenvolvimento de uma auréola de contacto, onde se formam rochas genericamente

designadas por corneanas. A recristalização, que está associada ao metamorfismo de contacto, pode fazer com que as corneanas não apresentem foliação.

Por outro lado, quando a instalação ocorre em níveis crustais mais profundos, ou sob a influência de uma significativa fonte de calor que se aproxime da superfície, o limite do plutão tende a ser gradual e mais difícil de definir. Isto acontece porque o encaixante se encontra em condições de metamorfismo com temperatura elevada próxima da que tem o magma que nele se instala.

À escala do afloramento, as rochas ígneas plutónicas apresentam uma textura (fanerítica), onde se podem individualizar minerais a olho nú com granularidade diferente (figura 6a). Os limites entre as diferentes rochas ígneas plutónicas podem ser bruscos ou graduais e irregulares, e por vezes, são atravessadas por diques de outras rochas ígneas plutónicas (figura 6).

À escala do afloramento, as rochas ígneas plutónicas apresentam uma textura (fanerítica) onde se pode individualizar minerais a olho nú ou com o auxílio da lupa de mão, mas também podem apresentar granularidade muito grosseira (pegmatito) ou muito fina (aplito) (figura 6b). A textura fanerítica pode ser fina (grão inferior a 1mm), média (1-5mm) e grosseira (0.5 a 1 cm). A textura de uma rocha que é caracterizada por fenocristais (cristais de maior dimensão) dispersos numa matriz de grão mais fino designa-se por porfirítica (figura 6).



figura 6

Exemplos da geodiversidade da região de Évora: (A) limite brusco entre rochas graníticas de grão médio (a topo) e com textura porfirítica (na base com a presença de fenocristais); (B) dique de rocha granítica com textura aplítica a pegmatítica a cortar uma rocha granítica com textura porfirítica

Quando a composição mineralógica das rochas ígneas plutónicas é relativamente mais félsica (ricas em minerais claros, como o quartzo e o feldspato potássico) classificam-se como leucocráticas, em contraste com as melanocratas, que são compostas por minerais

mais maficos (ricas em minerais escuros, ferromagnesianos) (figuras 7 e 8). Entre estes dois extremos temos as rochas mesocráticas.

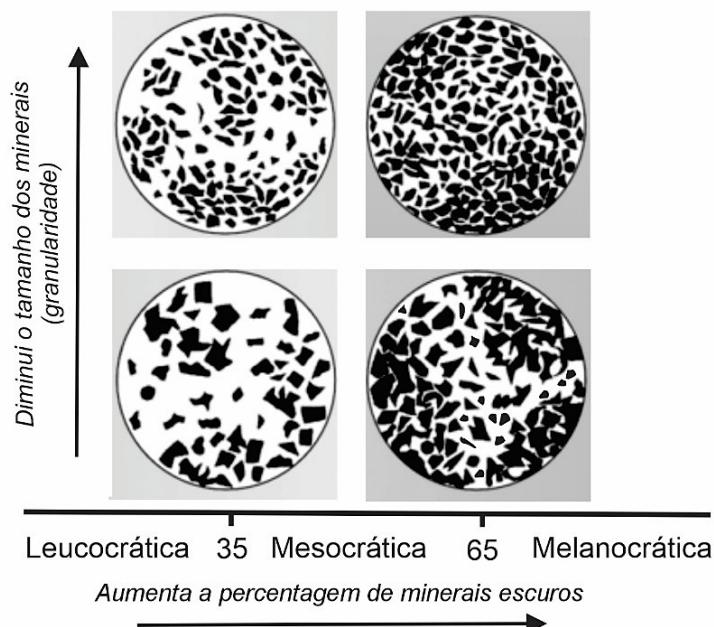


figura 7

Classificação das rochas plutónicas considerando o índice de cor

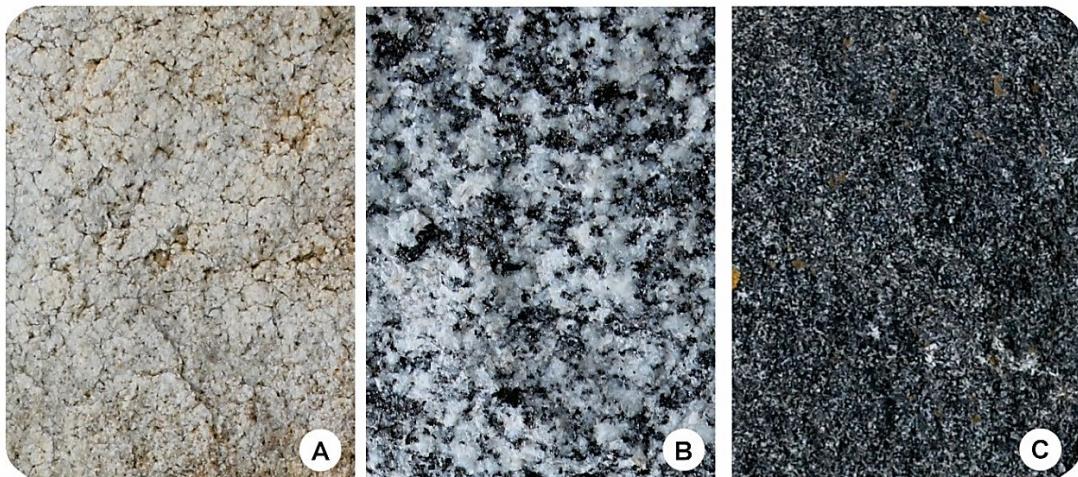


figura 8

Exemplos de rochas ígneas plutónicas: (A) leucocrática; (B) mesocrática e (C) melanocrática

As rochas ígneas plutónicas podem ser classificadas de acordo com a sua composição mineralógica, mas nem sempre é possível distinguir no campo os diferentes tipos de rochas graníticas (sentido amplo do termo) que incluem o granito, o granodiorito, o tonalito e o quartzo-diorito. No entanto, recorrendo à petrografia é possível descrever as diferenças de

composição entre as rochas graníticas e compará-las com as rochas gabro-dioríticas, de acordo com a maior ou menor quantidade de feldspato alcalino, plagioclase e quartzo (figura 9).

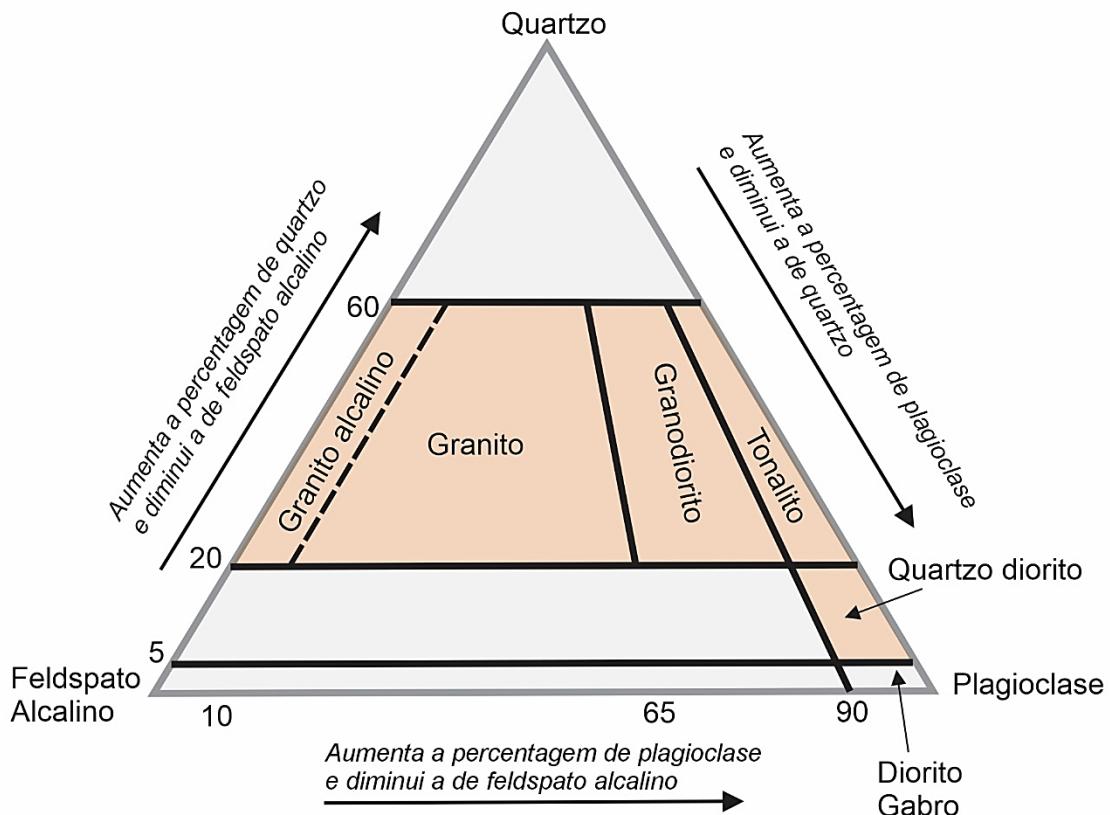


figura 9

Diagrama ternário para a classificação de rochas ígneas plutónicas, adaptado de Streckeisen (1976)

As rochas ígneas plutónicas podem apresentar-se com arranjo mineral isótropo (sem orientação preferencial; figuras 10a e 11a) ou anisótropo. A anisotropia da textura das rochas plutónicas pode estar relacionada com o desenvolvimento de estruturas magmáticas (primárias) durante o fluxo do magma quando este está parcialmente cristalizado. Neste caso pode formar-se um bandado composicional e/ou textural e também outras estruturas de fluxo definidas pelo alinhamento de fenocristais ou de encravos, ou de minerais ou agregados de minerais (foliação magnética; figuras 10b e 11b). Por outro lado, se as rochas ígneas plutónicas já cristalizadas forem sujeitas a deformação intracristalina, associada a recristalização dinâmica, podem desenvolver uma estrutura planar secundária muito repetitiva (foliação tectónica, fabric-S; figura 10c), que por vezes pode criar mais do que um plano (fabric S-C; figura 11c).

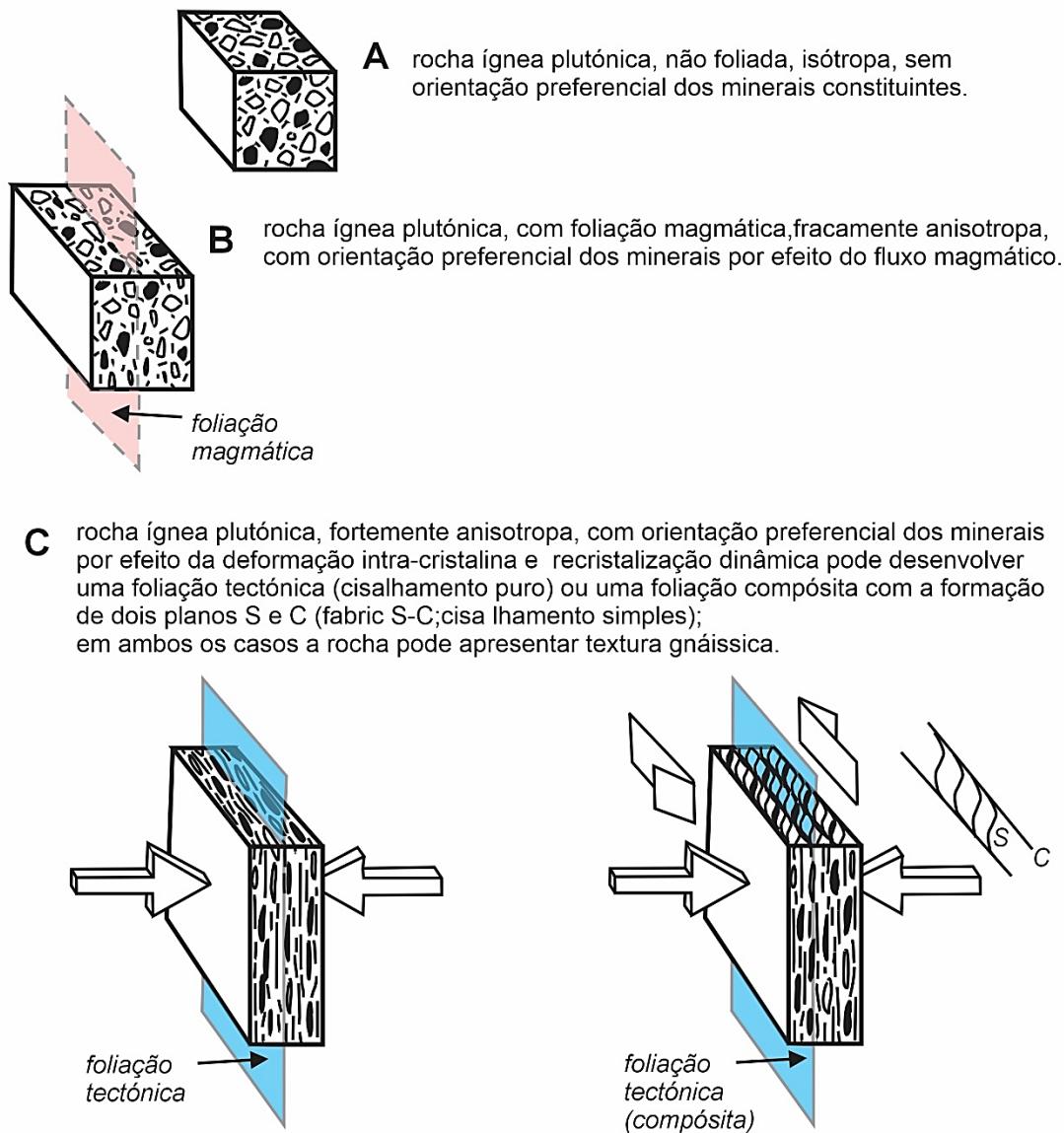


figura 10

Esquema ilustrativo do desenvolvimento de foliação magmática e de foliação tectónica

Os encraves que se formam nas câmaras magmáticas (figuras 12 e 13) podem ser classificados como xenólitos (fragmentos de rochas previamente cristalizadas que são incorporados no magma durante a sua ascensão e instalação; figura 12a) ou autólitos (fragmentos de rochas ígneas relacionados com a intrusão, por exemplo, arrastados das paredes da conduta ou da câmara magmática; figura 12b). Os encraves variam em tamanho, de alguns milímetros a vários metros e, em geral, são encontrados em grupos de encraves com tamanhos variáveis.

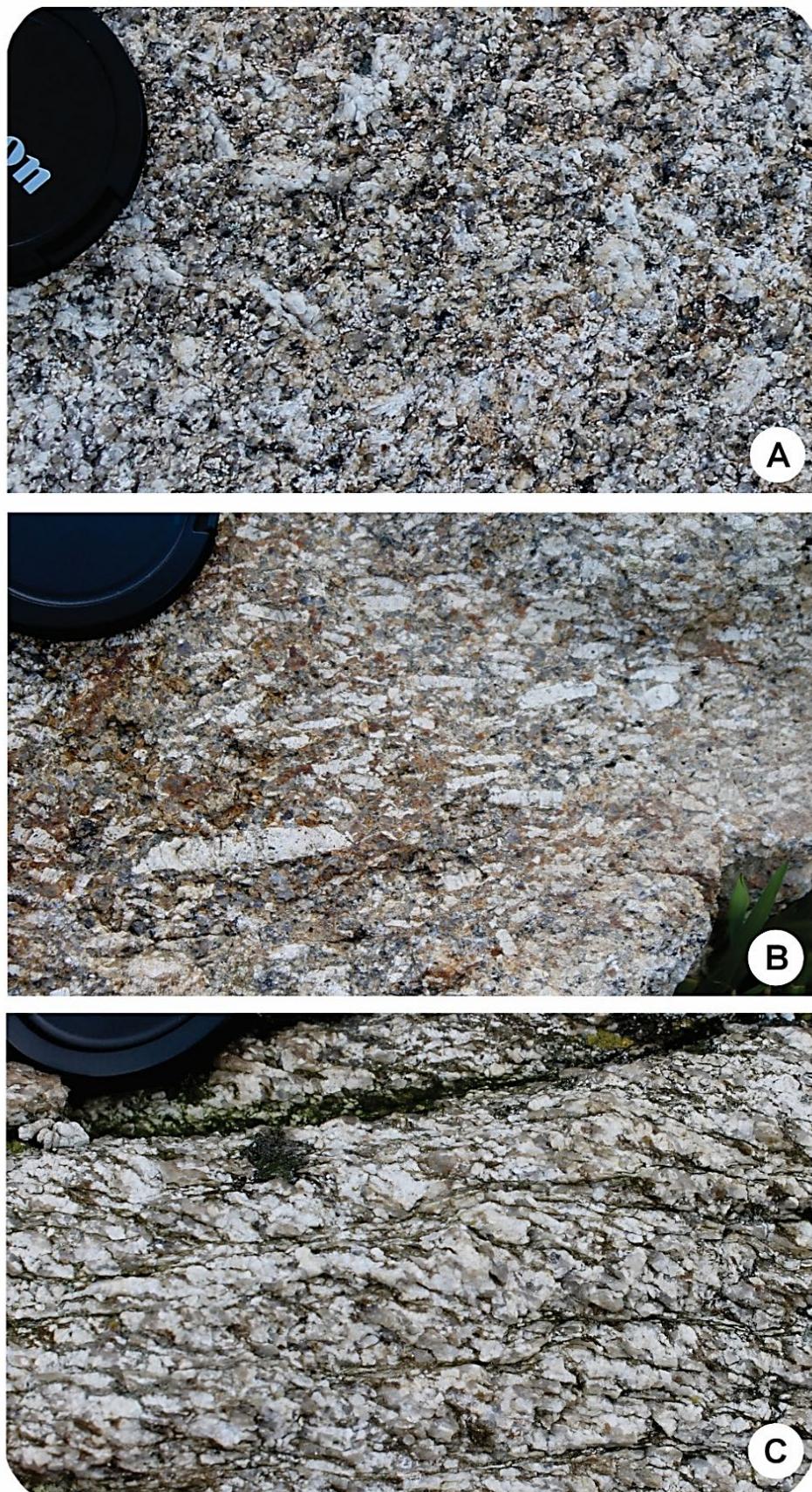


figura 11

Exemplos de rochas graníticas: (A) não foliada; (B) com foliação magmática e (C) com foliação tectónica compósita, fabric S-C (textura gnáissica)

Os magmas de composição diferente interagem habitualmente nas câmaras magmáticas, produzindo magmas híbridos derivados da mistura de dois (ou mais) magmas de origem distinta. Na maioria dos casos, o processo resulta na mistura completa dos magmas originais com composições bastante semelhantes ou quando a mistura ocorre durante a ascensão do magma. No entanto, quando a mistura de magmas é incompleta formam-se autólitos.

Os autólitos são inclusões de rochas ígneas plutónicas, geralmente de composição máfica a intermédia, que se assemelham a bolhas arredondadas ou lobadas. Também são conhecidos como encraves máficos ou encraves microgranulares máficos, que ocorrem no interior de rochas ígneas plutónicas de composição mais diferenciada, e que têm origem na mistura mecânica e química de dois magmas que interagem numa câmara magmática. Isto acontece porque a interação de um magma máfico com um magma felsico, relativamente mais frio e viscoso, provoca o arrefecimento rápido e a cristalização do magma máfico, permitindo a preservação de estruturas que indicam a mistura incompleta dos dois magmas.

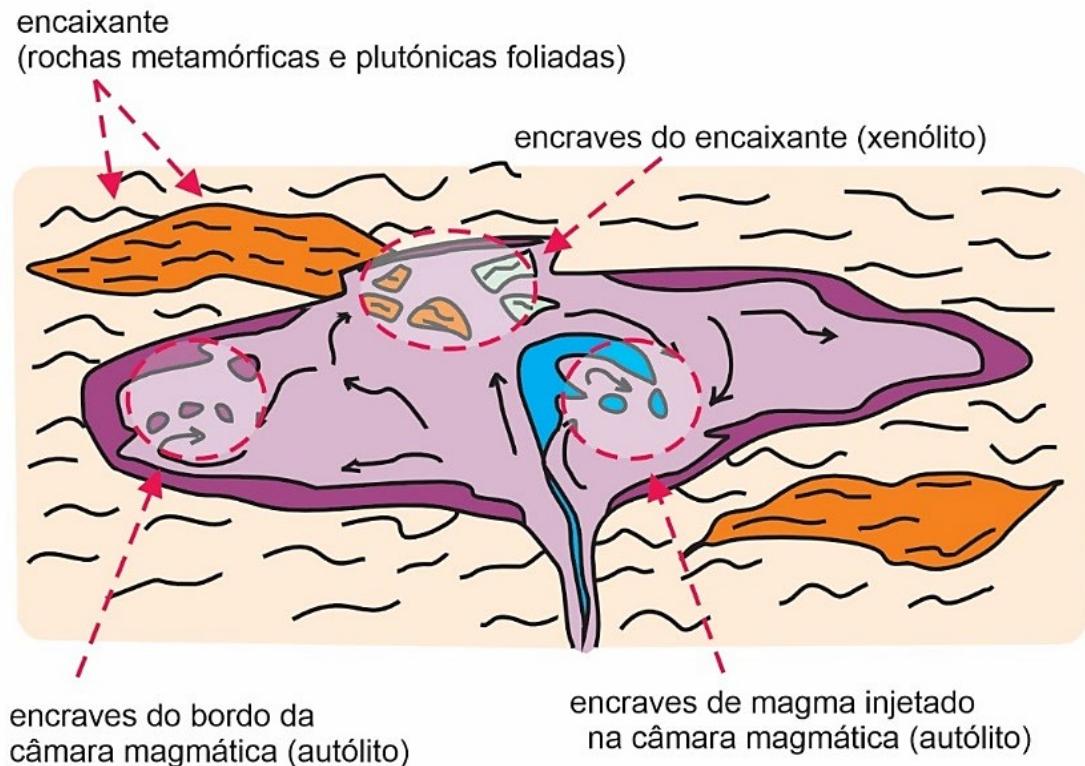


figura 12

Esquema da estrutura interna de uma câmara magmática e sua relação com o encaixante metamórfico e ígneo plutónico (adaptado de Castro, 2015). Note-se a formação de encraves: xenólitos, relacionados com o encaixante metamórfico, e autólitos, com origem na câmara magmática



figura 13

Exemplos da geodiversidade da região de Évora: (A) encrave de rocha metamórfica (xenólito) envolvida por uma rocha ígnea plutónica (B) encraves máficos (autólito) numa rocha plutónica com textura porfirítica

2.3. CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DE ROCHAS METAMÓRFICAS

Uma rocha que originalmente se formou num determinado ambiente sedimentar, magmático ou metamórfico, pode sofrer transformações texturais e mineralógicas em resultado de mudanças nas condições de pressão e temperatura originais, e também, se tiver contacto com fluídos químicos ativos.

Uma rocha metamórfica forma-se quando uma rocha percursora/original (protólito), seja ela ígnea, sedimentar ou metamórfica, sofre recristalização e, pode mostrar novas associações minerais. O metamorfismo regional, que abrange grandes extensões, está geralmente associado ao desenvolvimento de margens continentais ativas, de riftes intra-continentais e de cadeias de montanha (orógenos), ligadas a intensa deformação. Sendo assim, é comum que as rochas metamórficas resultantes do metamorfismo regional se apresentem com foliação tectónica. A cartografia geológica que se realiza em rochas metamórficas, pode fornecer informação relevante para melhor compreendermos as variações espaciais e temporais das condições de pressão e de temperatura que as rochas experimentam durante a deformação.

A deformação traduz-se em mudanças no aspecto da rocha, quando esta é sujeita a um determinado campo de tensões (forças que é exercida numa superfície). Quando a deformação é do tipo frágil desenvolvem-se fraturas, falhas e dobras. Quando a deformação é dúctil são reconhecíveis à escala do afloramento diferentes estruturas planares e lineares, associadas a dobramento e ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento. A estrutura planar principal que resulta da reorientação, cristalização ou recristalização dinâmica de minerais por efeito da deformação intra-cristalina designa-se por foliação tectónica. As estruturas lineares associadas ao desenvolvimento da foliação podem ser do tipo lineação mineral, quando o mineral se reorienta, deforma ou cresce, ou do tipo lineação de interseção, quando duas estruturas planares se cruzam. Por sua vez, a foliação tectónica pode ser deformada gerando-se dobras, e nalguns casos, pode mesmo formar-se uma nova foliação que se sobrepõe à anterior.

As rochas metamórficas podem ser classificadas de acordo com uma grande variedade de associações minerais e de texturas, considerando o tipo de protólito (figuras 14 e 15). O mármore, com granularidade fina a grosseira, é constituído essencialmente por calcite, forma-se a partir do metamorfismo de rochas sedimentares carbonatadas, como o calcário ou o dolomito. Quando o protólito é um calcário margoso, o mármore resultante apresenta composição calco-silicatada, com o crescimento de minerais silicatados como o epídoto, anfíbola, feldspato alcalino, granada e vesuvianite, no seio de uma matriz rica em calcite. O quartzito, com granularidade fina a grosseira, é constituído essencialmente por quartzo, resulta do metamorfismo de uma rocha sedimentar siliciclástica, como o arenito, mas também de um grauvaque ou de um cherte. O micaxisto apresenta granularidade fina a média e apresenta uma foliação muito forte, definida pelo alinhamento de micas. O protólito do micaxisto é geralmente uma rocha sedimentar siliciclástica pelítica (argilito e siltito) rica em quartzo e minerais aluminosos, enquanto o anfibolito deriva de rochas ígneas máficas-intermédias (basalto e andesito, ou correspondentes plutónicos) e de rochas siliciclásticas ricas em minerais máficos. O anfibolito com granularidade fina a grosseira, apresenta geralmente uma foliação muito penetrativa e regular com bandas

máficas com crescimento de anfíbola e de mica, intercaladas com bandas félsicas com feldspato e quartzo. O gnaisse é um termo aplicado a uma textura característica de rochas metamórficas com granularidade grosseira a média, formadas em condições de metamorfismo de baixo a alto grau. O gnaisse tem uma foliação espaçada e irregular definida pela alternância de bandas com espessura milimétrica máficas (ricas em biotite) e félsicas (ricas em quartzo e feldspato).

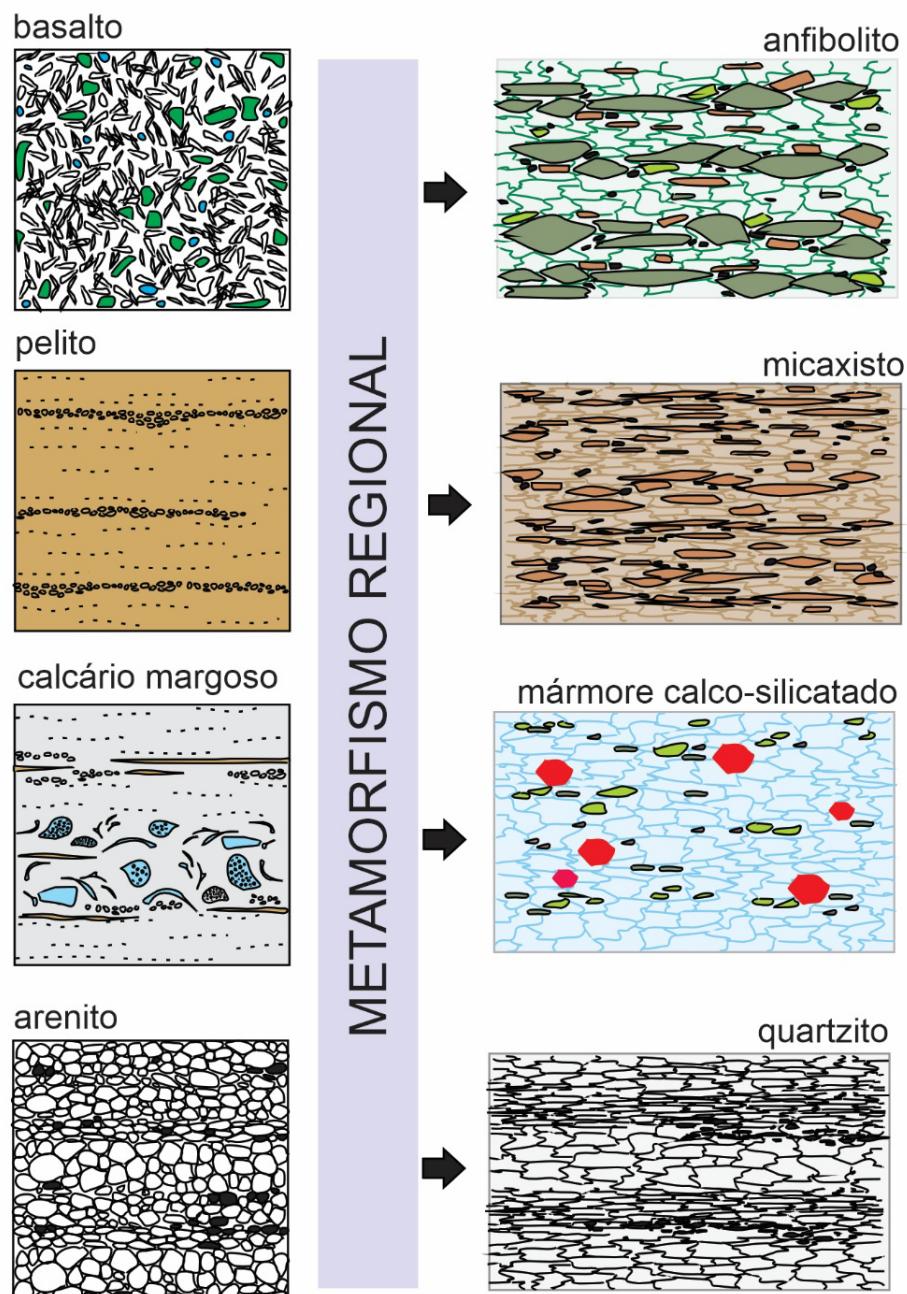


figura 14

Diagrama representativo do efeito do metamorfismo regional em diferentes tipos de protólitos



A



B



C



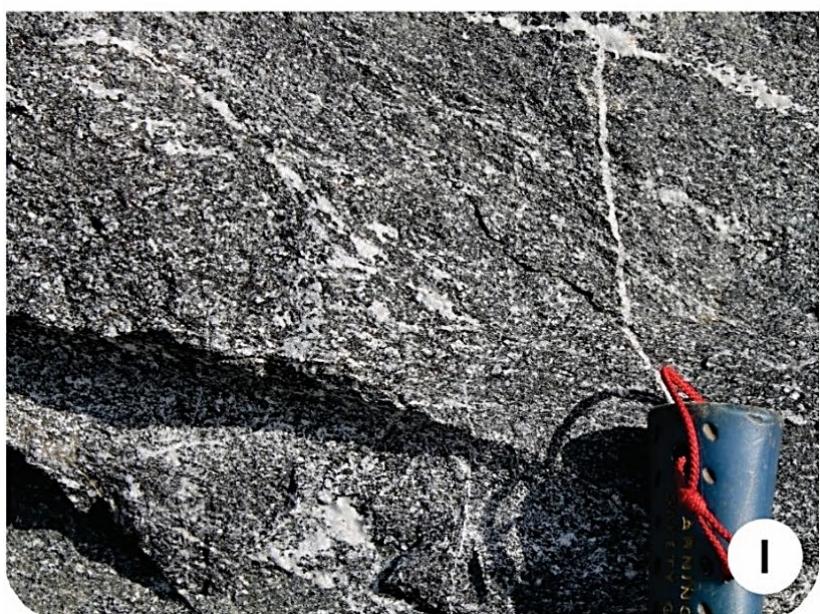


figura 15

Exemplos da geodiversidade de rochas metamórficas da região de Évora: (A) bandas de anfibolito intercaladas em micaxisto; (B) anfibolito de grão grosso; (C) anfibolito de granularidade fina com bandas ricas em epídoto, calcite e granada; (D) mármore calco-silicatado com granada e vesuvianite; (E) gnaisse-migmatito com bandado composicional dobrado; (F) migmatito com bandado composicional cortado por um dique granítico; (G) quartzito negro; (H) migmatito com bandado composicional dobrado; (I) rocha gabro-diorítica foliada, com fusão parcial

Por último, o migmatito que se forma exclusivamente a elevada temperatura e que se caracteriza por uma textura heterogénea que pode ser muito irregular ou apresentar características similares à textura do gnaisse. Quando o metamorfismo é de alto-grau metamórfico, as rochas começam a fundir parcialmente e produz-se o fundido (“melt”; figura 16), que representa um líquido silicatado que é parte integrante dos migmatitos (figura 17).

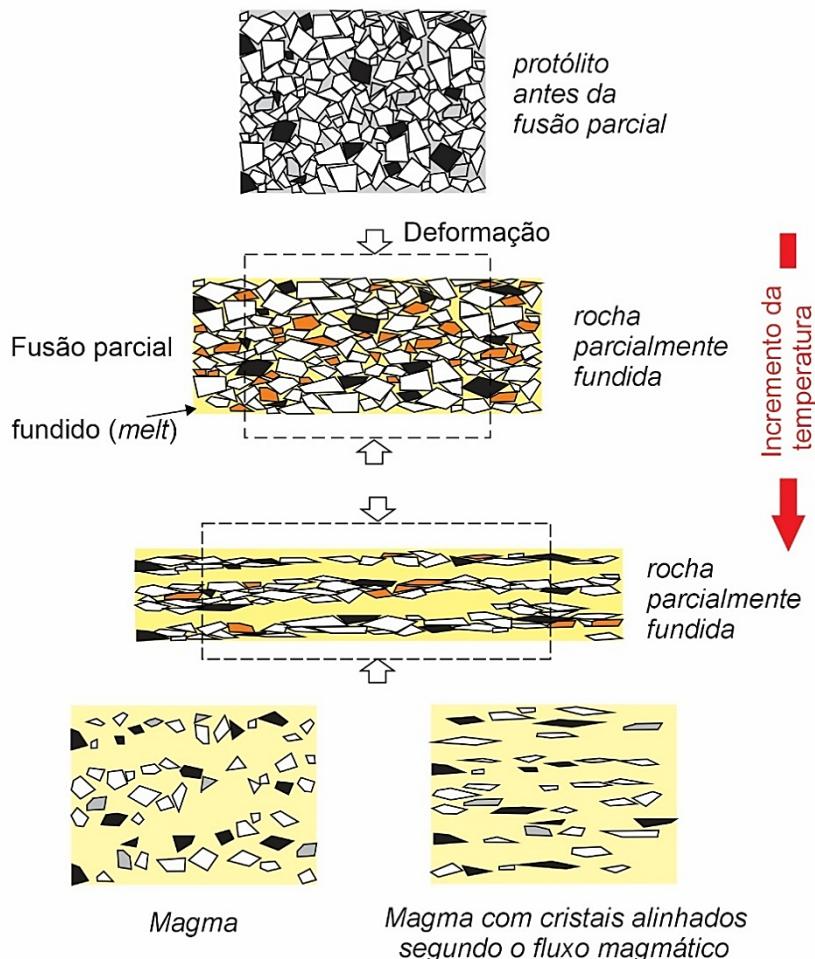
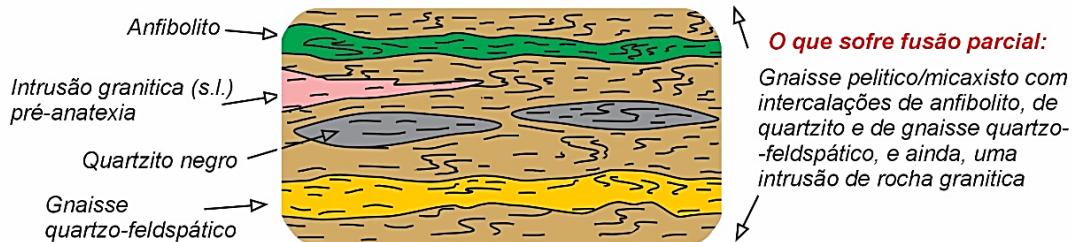


figura 16

Esquema ilustrativo da formação de uma rocha metamórfica, que alcança condições de alto-grau metamórfico (elevada temperatura) e apresenta indícios de fusão parcial, gerando um fundido (melt) que irá dar origem a um novo magma

O migmatito é constituído por uma fração sólida, que resiste à fusão parcial, e uma fração líquida (fundido), que ocorre inicialmente ao longo dos limites dos minerais constituintes. O fundido pode separar-se da fração sólida, migrando ao longo das fronteiras dos cristais, até coalescer gerando bolsas de magma.

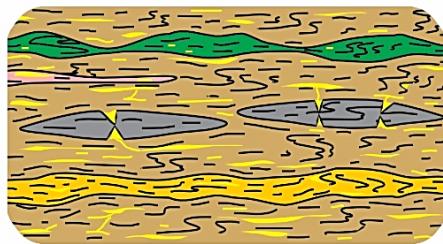
A Um conjunto de rochas preexistentes (PROTÓLITOS) com diferentes composições mineralógicas que experimente condições de metamorfismo de alta temperatura pode sofrer fusão parcial.



B O aumento da fusão parcial, faz com que o conjunto de rochas se transforme num complexo gnaisso-migmatítico; estas rochas metamórficas de alta-temperatura caracterizam-se por ter um bandado composicional constituído por:

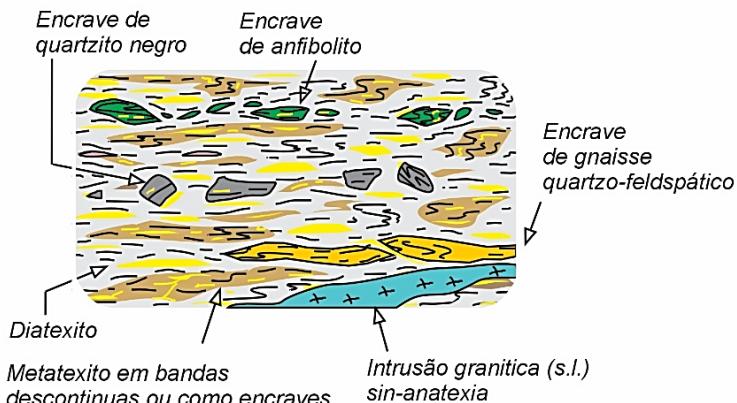
- 1) uma componente herdada que resistiu à fusão parcial (PALEOSSOMA) e
- 2) uma componente recém-formada (NEOSSOMA).

O bandado composicional confere a textura gnássica que se observa nestas rochas migmatizadas (METATEXITOS).



Por efeito da segregação metamórfica, o NEOSSOMA pode dar origem a uma fração de fundido (LEUCOSSOMA) que se separa de uma fração sólida ou resíduo (MELANOSSOMA).

C O incremento da percentagem de LEUCOSSOMA relativamente ao MELANOSSOMA, faz com que a textura gnássica da rocha migmatizada (METATEXITO) dê gradualmente lugar a uma textura que é similar à de uma rocha magmática foliada, que inclui encravos de quartzito, anfíbolito, metatexto e gnaiss quartzo-feldspático (DIATEXITO).



Complexo Gnaisso-Migmatítico

figura 17
Esquema ilustrativo da formação de migmatitos (Adaptado de Sawyer, 2008)

A estrutura do migmatito pode ser descrita com base na identificação de duas componentes com significado genético: o paleossoma e o neossoma (figura 17). O paleossoma é a componente que resistiu à fusão parcial e cujas características mineralógicas, estruturais e texturais se aproximam das originais do protólito, e o neossoma é a componente recém-formada. O neossoma pode dar origem à formação e ao crescimento de bandas com diferentes composições e cores (segregação metamórfica), o leucossoma e o melanossoma (figuras 16 e 17).

O leucossoma é rico em minerais félscicos (como o quartzo e o feldspato), e o melanossoma em minerais máficos (maioritariamente biotite, mas também aluminossilicatos, como a andaluzite e a silimanite). O leucossoma parece-se a uma rocha granítica, enquanto o melanossoma se assemelha a um micaxisto pela abundância de biotite, mas também silimanite e/ou cordierite, e representa a fração sólida (ou resíduo) que resta após a fusão parcial e que resulta da extração de parte ou da totalidade da fração fundida.

Um migmatito, que tenha uma estrutura definida pela alternância de bandas de espessura milimétrica de melanossoma e de leucossoma, designa-se por metatexito. O metatexito assemelha-se a um micaxisto e/ou gnaisse pelítico (Figura 18). Por outro lado, um migmatito, onde a estrutura é mais irregular e marcada por uma foliação descontínua e bastante irregular, onde nem sempre é fácil separar o melanossoma do leucossoma, é designado por diatexito. O diatexito, que deriva de condições de alto-grau metamórfico, pode assemelhar-se a uma rocha granítica com foliação magmática (figura 18).

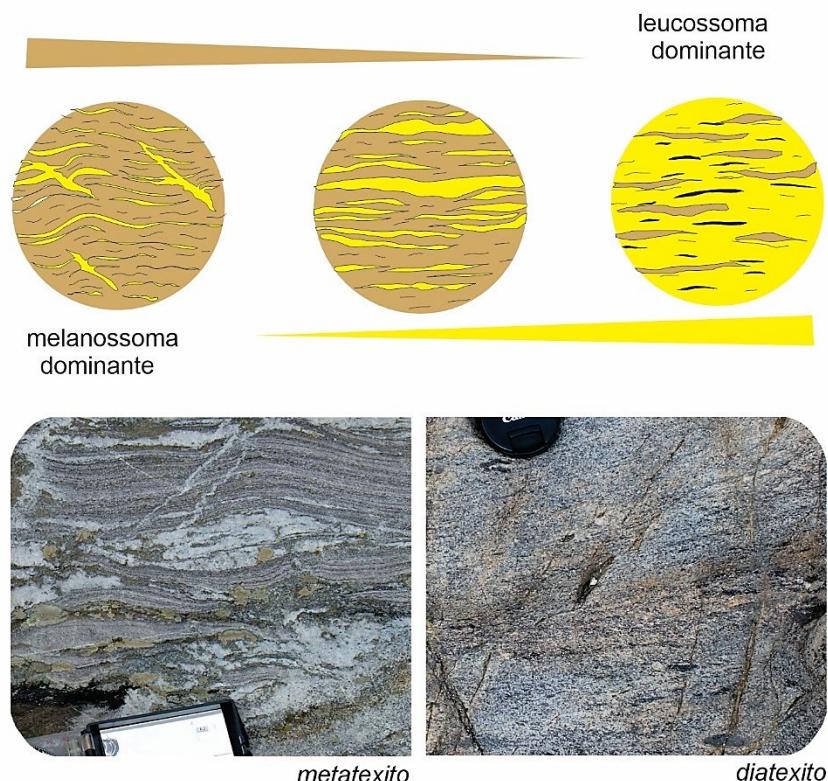


figura 18

Esquema ilustrativo da estrutura dos migmatitos em função da fração de fundido e da deformação contemporânea da deformação dúctil em condições de elevada temperatura com fusão parcial (condições de alto-grau metamórfico) (Adaptado de Sawyer, 2008)

Os migmatitos, que estão geralmente associados a rochas plutónicas, podem incluir encraves de outras rochas metamórficas (micaxistas, gnaisses, quartzitos, anfibolitos, etc), que representam fragmentos da crosta continental que sobreviveram à fusão parcial.

Considerando que a anatexia ocorre com intensa deformação dúctil (deformação sin-anatexia), as rochas cujo comportamento reológico as torna mais resistentes ao fluxo envolvente, tendem a adelgaçar, a sofrer boudinagem e a fragmentar gerando boudins, que representam encraves no migmatito (figura 19).

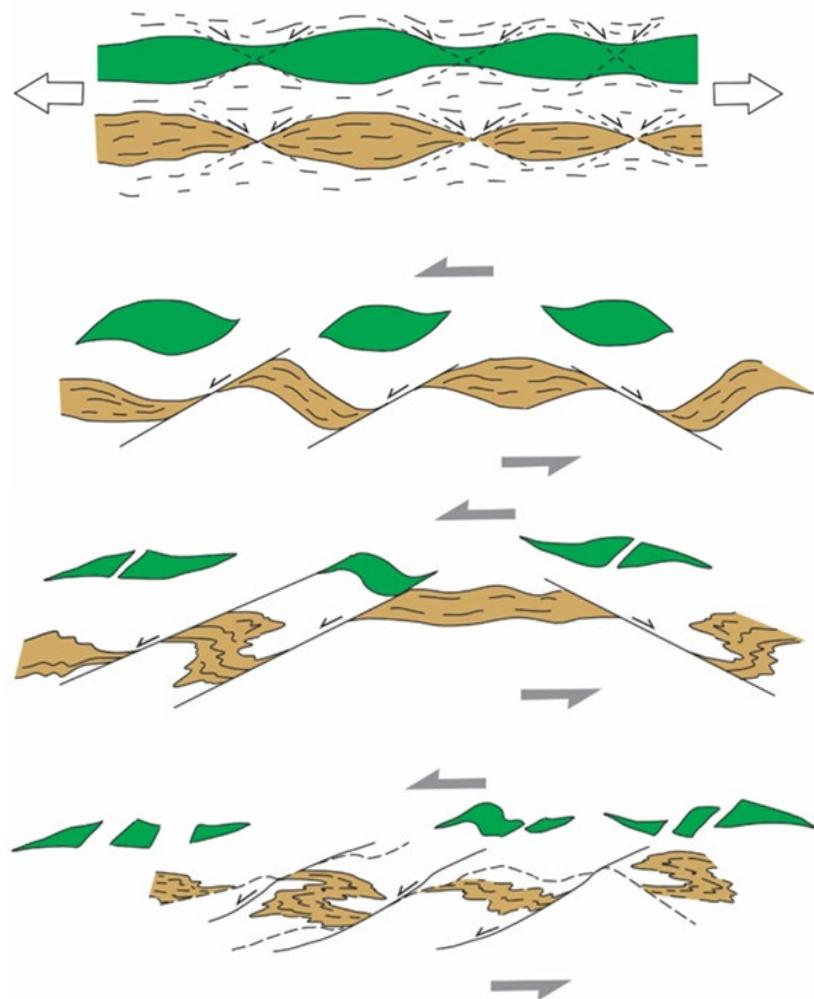


figura 19

Esquema ilustrativo da deformação, por cisalhamento puro (em cima) e cisalhamento simples (em baixo), de bandas de anfibolito (verde) e de metatexito (castanho), por efeito do fluxo sin-anatexia do diatexito que as rodeia. Quanto maior a percentagem da fração de fundido, menor é a viscosidade, o que favorece o fluxo do migmatito. O fluxo no diatexito, com maior percentagem da fração de fundido torna-se menos viscoso. Ao ser mais fluido influencia decisivamente a intensidade do estiramento e a rotura das bandas de metatexito ou de anfibolito, que são mais resistentes ao movimento que ocorre na zona de cisalhamento. O adelgaçamento das bandas de metatexito e de anfibolito, que oferecem maior resistência ao fluxo comparativamente com o diatexito que os rodeia, contribui para formar estruturas em forma lenticular, designadas por “boudins”. Os boudins acabam por se separar, e desta forma as bandas de metatexito e de anfibolito perdem a continuidade estrutural, e os boudins, agora isolados, passam a constituir encraves de metatexito e de anfibolito no seio do diatexito. Os encraves de metatexito e de anfibolito podem ter dimensão e forma variáveis, e muitas vezes, ocorrem alongados segundo a foliação do diatexito. Em consequência do continuo fluxo do diatexito, relacionado com a deformação sin-anatexia, os encraves de metatexito e de anfibolito podem rodar, e ser afetados por dobramento

3. COMO, ONDE E QUANDO SE FORMARAM AS ROCHAS ÍGNEAS PLUTÓNICAS E METAMÓRFICAS DE ÉVORA

Os trabalhos de cartografia geológica realizados na região de Évora nos últimos vinte anos, permitiram avanços significativos sobre o conhecimento da relação espacial e temporal que existe entre a associação de rochas ígneas plutónicas e de rochas metamórficas que aqui se reconhecem. Esta associação de rochas formou-se no interior da crosta continental, a cerca de 20 km de profundidade, no máximo (em condições de metamorfismo de baixa pressão e de temperatura elevada), quando esta estaria a ser intensamente deformada por adelgaçamento.

Os eventos de deformação, de metamorfismo e de plutonismo que deram origem às rochas ígneas plutónicas e às rochas metamórficas da região de Évora estão relacionados com a evolução da orogenia Varisca, que ocorreu no Paleozóico superior (Carbónico), quando existia o supercontinente Pangeia (figura 20).

A cadeia de montanhas Varisca resultou essencialmente do fecho do Oceano Rheic, que conduziu à colisão entre os megacontinentes Laurussia e Gondwana (orógeno colisional). No entanto, simultaneamente à colisão continental, sugere-se que terá ocorrido, numa região contigua deste supercontinente, a subducção da placa de litosfera oceânica do Oceano Paleotethys sob o supercontinente Pangeia (orógeno acrecionário).

Neste complexo contexto tectónico, poderá ter-se formado um arco magmático e respetivas bacias sedimentares (sinorogénicas) na placa litosférica continental que constituiria a margem ativa de Pangeia (figura 20), onde se pode admitir que se formou, à aproximadamente 340-335 Ma, a associação de rochas ígneas plutónicas e rochas metamórficas da região de Évora.

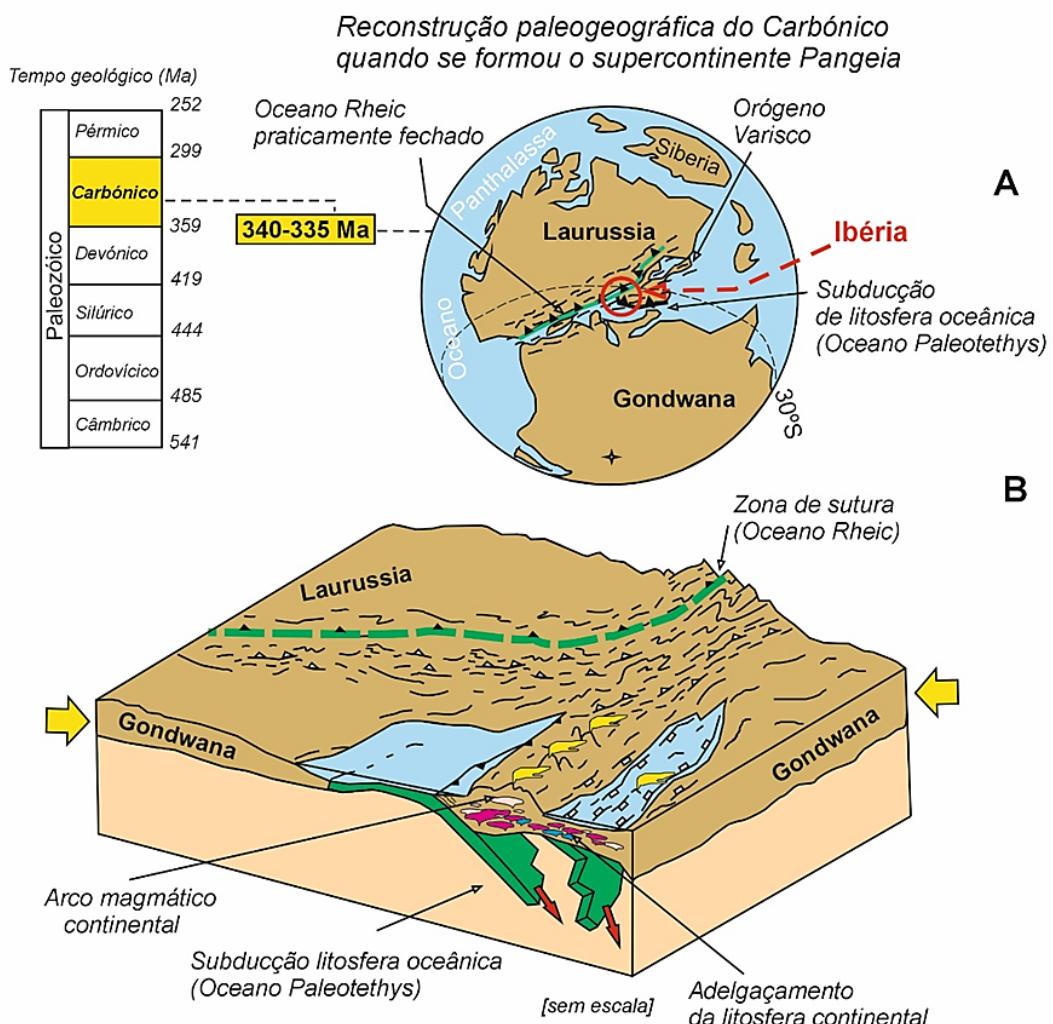


figura 20

Esquema da reconstrução paleogeográfica do Carbónico com a localização da orogenia Varisca no supercontinente Pangeia (adaptado de Pereira et al., 2022)

3.1. A ORIGEM DAS ROCHAS METAMÓRFICAS DA REGIÃO DE ÉVORA

Em consequência do adelgaçamento da litosfera continental, na margem ativa do supercontinente Pangeia, a deformação frágil produziu falhas normais e sistemas de blocos do tipo “horst” e “graben” na crosta continental superior (figura 21). Esta tectónica extensional controlou o desenvolvimento de importantes depressões na superfície terrestre (bacias), onde se acumularam rochas sedimentares e rochas vulcânicas no que se designa por bacias sedimentares sinorogénicas (figura 21).

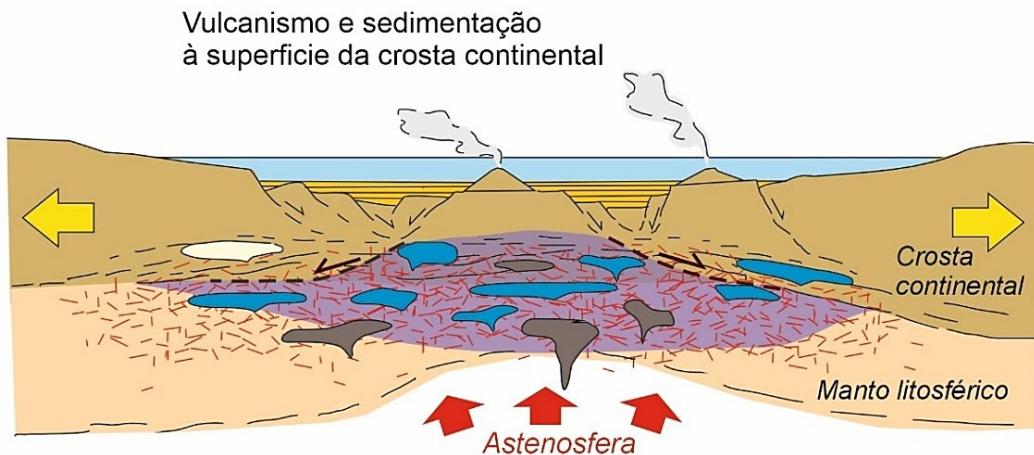


figura 21

Esquema ilustrativo da deformação, metamorfismo e magmatismo durante o adelgaçamento da litosfera continental do supercontinente Pangeia, e a ascensão da astenosfera, que transporta consigo uma significativa anomalia térmica (roxo). Os magmas que constituem os plutões podem ter diferentes origens, relacionadas com a fusão parcial do manto astenosférico, do manto litosférico e da crosta continental

Simultaneamente, a maior profundidade na crosta continental superior, a deformação dúctil concentrou-se em zonas de cisalhamento, que influenciaram a formação de domas gnáissicos (figura 22).

As zonas de cisalhamento dúctil representam corredores estreitos e extensos (que se observam desde a escala microscópica, podendo alcançar vários quilómetros de comprimento e poucos de largura), onde a deformação por cisalhamento simples é dominante. As rochas que são deformadas numa zona de cisalhamento dúctil sofrem intensa deformação intra-cristalina que se traduz pela redução do tamanho do grão, devido à recristalização dinâmica de novos grãos, num processo que se designa por milonitização e que dá origem aos milonitos (rochas metamórficas intensamente deformadas ductilmente).

Os domas gnáissicos são megaestruturas com geometria em abóboda, com um núcleo (bloco a muro). O bloco a muro é constituído por rochas metamórficas deformadas a elevada temperatura e a baixa pressão (essencialmente migmatitos) e está separado através de zonas de cisalhamento extensionais pouco inclinadas, do bloco a teto, constituído por associações de rochas metamórficas deformadas a menor temperatura, comparativamente com o bloco a muro.

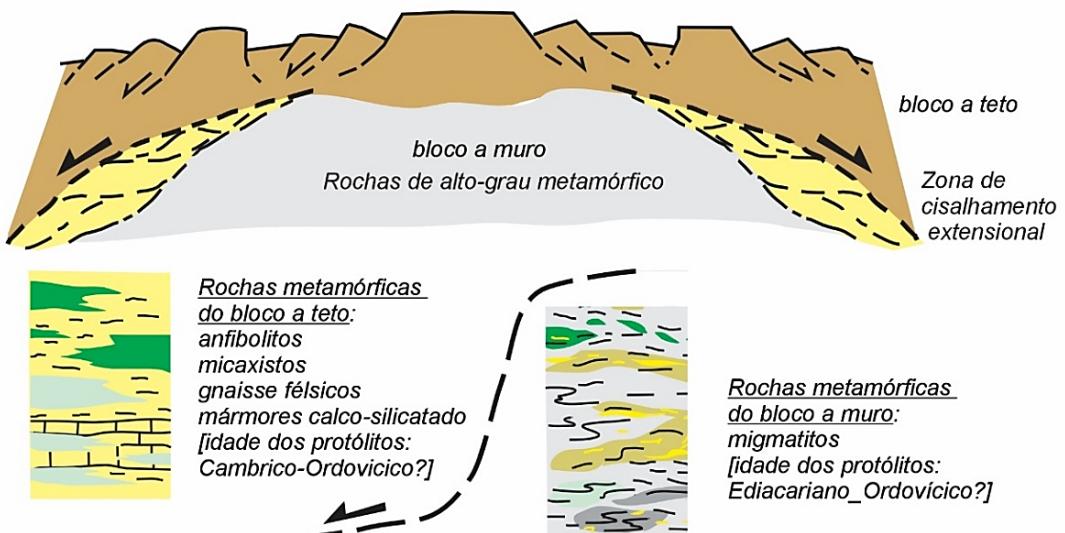


figura 22

Esquema ilustrativo de um doma gnáissico que representa uma megaestrutura com geometria em abóboda, com um núcleo (bloco a muro) que é constituído por rochas metamórficas deformadas em condições de alto-grau metamórfico (a elevada temperatura e a baixa pressão), que sofreram fusão parcial (migmatitos). O bloco a muro está separado, através de zonas de cisalhamento dúcteis extensionais pouco inclinadas (cinzento), do bloco a teto que é constituído por associações de rochas metamórficas deformadas a menor temperatura, comparativamente com os migmatitos que representam o bloco a muro

Tendo em consideração o enquadramento tectónico acima descrito, a cidade de Évora localiza-se no núcleo (bloco a muro) de um antigo Doma Gnáissico que é essencialmente constituído por migmatitos e gnaissos-migmatitos do Paleozóico, referidos na Carta Geológica de Portugal de Évora (Folha 40-A; Carvalhosa et al., 1969) por gnaisses granitoides e migmatitos, que estão associados a rochas ígneas plutónicas (rochas graníticas e gabro-dioríticas). No bloco a muro, os migmatitos incluem inúmeros afloramentos descontínuos, de escala métrica a quilométrica, nas rochas metamórficas encaixantes (principalmente encravos de quartzito negro, mas também de anfibolito) que resistiram à fusão parcial.

Por sua vez, na povoação de Valverde, situada a cerca de 12 km de Évora, pode observar-se a zona de cisalhamento extensional que define o limite entre o bloco a muro e o bloco a teto e que é constituído por rochas metamórficas que se desenvolveram em condições de metamorfismo de menor temperatura, se comparadas com as do bloco a muro. Os anfibolitos, micaxistos, gnaisses, quartzitos e mármores do bloco a teto são descritos na Carta Geológica de Portugal de Évora (Folha 40-A; Carvalhosa et al., 1969) como corneanas, e como representando uma associação de leptinitos, calcários e dolomitos e rochas verdes de Séries cristalofílicas, azóicas de idade indeterminada.

A estratigrafia da região de Évora é possível de ser estabelecida, tanto no bloco a teto como no bloco a muro, apesar do intenso metamorfismo e deformação.

Em Évora, os migmatitos com quartzitos negros associados (bloco a muro; figura 22) representam muito provavelmente as rochas mais antigas do Alentejo atribuídas ao Grupo da Série Negra. Estas rochas meta-sedimentares derivam de protólitos (pelitos, grauvaques e chertes/arenitos com matéria carbonosa) que se formaram em bacias sedimentares durante o Ediacariano (~560-550 Ma, Neoproterozóico; Pereira et al., 2008).

Em Valverde, os anfibolitos, micaxistas, mármores e gnaisses do bloco a teto (figura 22), cujos protólitos seriam calcários, pelitos, arenitos e rochas ígneas máficas e félscicas, provavelmente representam a parte superior da coluna estratigráfica que se estende do Câmbrico até ao Ordovícico? (~540-460 Ma, Paleozóico inferior; Pereira et al., 2009).

3.2. A ORIGEM E INSTALAÇÃO DOS MAGMAS DE ÉVORA

O manto superior e a crosta terrestre fundem parcialmente quando a curva do gradiente geotérmico intersecta a curva *solidus*, que representa a temperatura abaixo da qual uma rocha é completamente sólida. A interseção da curva do gradiente geotérmico com a curva *solidus* que assinala o início da fusão parcial que vai dar origem ao magma, pode ocorrer a diferentes condições de pressão e temperatura, e sob a influência da presença de água, consoante o ambiente tectónico. O magma que se instala na crosta pode ter origem tanto na crosta como no manto superior. Os plutões e os batólitos podem ter uma evolução complexa e ser compostos por diferentes tipos composicionais e texturais de rochas plutónicas formadas ao longo de dezenas de milhões de anos, durante sucessivos eventos magmáticos.

Nos limites convergentes associados ao desenvolvimento de zonas de subdução, quando uma placa de litosfera oceânica antiga, fria e densa mergulha na astenosfera, aquece e liberta a água, que se encontra armazenada nas fases minerais hidratadas, para o manto superior. A água libertada facilita a fusão parcial das rochas constituintes da litosfera oceânica que subducta bem como do manto astenosférico circundante (figura 23). Esta circunstância também favorece a fusão parcial do manto litosférico e da crosta continental suprajacentes, originando magmas com diferentes composições químicas.

Os magmas andesíticos que têm origem na fusão parcial da placa litosférica oceânica que subducta, contaminam o manto astenosférico suprajacente e depois intruem a placa litosférica continental sobrejacente (figura 23). A instalação de rochas ígneas plutónicas originadas a partir do manto astenosférico contaminado, cria uma significativa anomalia térmica na base da litosfera continental, desencadeando a fusão parcial do manto litosférico e da crosta continental, favorecendo a produção e a interação de magmas com diferentes fontes e composições (magmatismo sinorogénico).

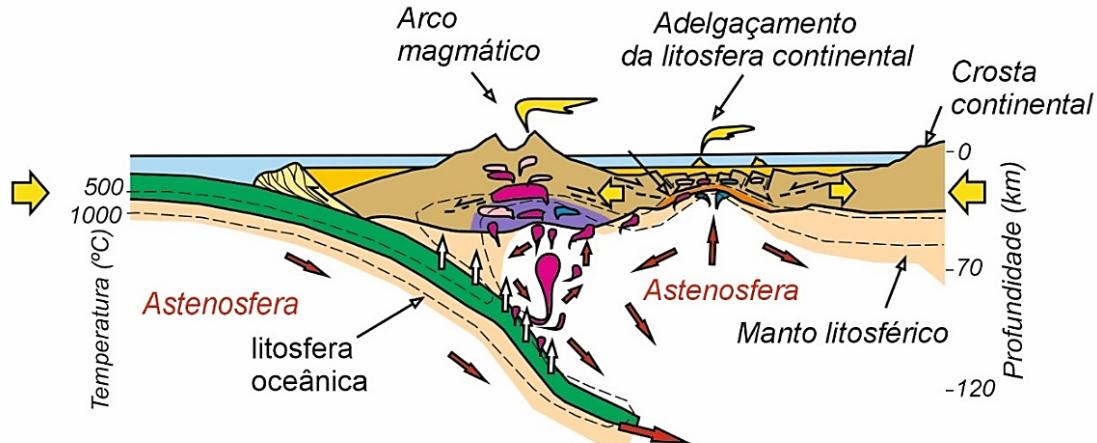


figura 23

Esquema ilustrativo da margem ativa do supercontinente Pangeia e a origem do magmatismo sinorogénico

Vários tipos de rochas ígneas plutónicas como o tonalito, o granodiorito, o granito, o quartzo-diorito, o diorito e o gábro, que derivaram de fontes com origem no manto e na crosta (Moita et al., 2009, 2015), estão associadas aos migmatitos da região de Évora. Sugere-se que estes magmas estiveram diretamente relacionados com a reciclagem das raízes do arco magmático que se desenvolveu na margem ativa da Pangeia, envolvendo sucessivos eventos magmáticos, no intervalo ~340-315 Ma (Carbónico; Rodríguez et al., 2021).

4. GEOPERCURSO DA MURALHA DE ÉVORA

A muralha de Évora representa um excelente expositor da geodiversidade desta região do Alentejo. Neste local, foi criado um geopercorso com sete paragens e trinta e nove pontos de interesse, distribuídos pelo segmento noroeste da cerca nova, desde o Jardim dos Colegiais (Seminário de Évora) até perto da Porta do Raimundo (figura 24). É possível observar vários tipos de rochas metamórficas (migmatito, gnaisse, anfibolito, quartzito, mármore) e de rochas ígneas plutónicas (rochas graníticas e gabro-dioríticas), que se identificam nos blocos da muralha.



figura 24

Geopercorso da Muralha de Évora, assinalado a amarelo, e respetivas paragens indicadas a verde (P1-P7) (imagem de satélite extraída do Google Earth)

PARAGEM 1 (MURALHA DE ÉVORA; SEMINÁRIO)



figura 25

Paragem 1 (Rua de José Estevão Cordovil, junto ao edifício do Seminário de Évora), onde é possível observar as características de diferentes tipos de rochas ígneas plutónicas representativas da geodiversidade da região de Évora (rochas graníticas, algumas com encraves, e gабro)

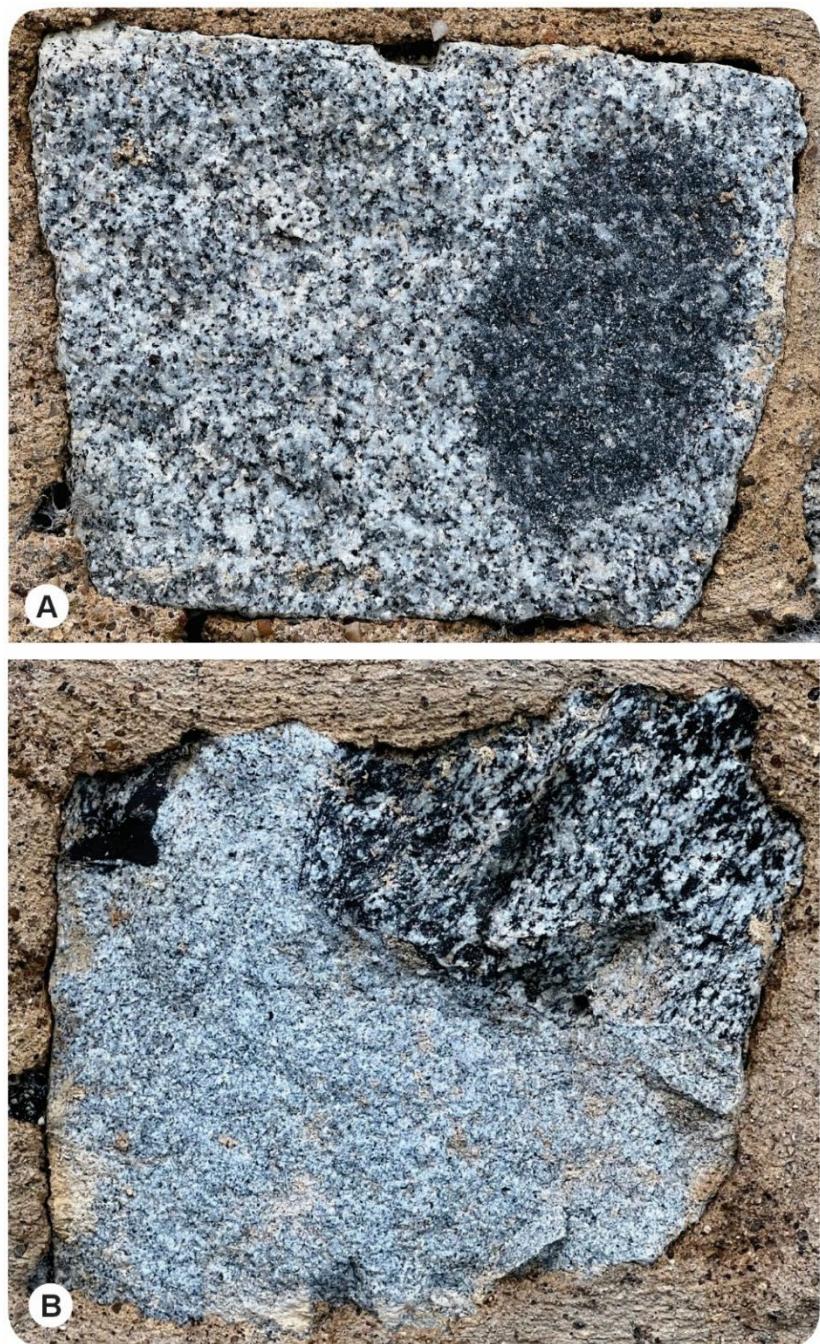


figura 26

(A) Paragem 1_Ponto de interesse 1. Amostra de granodiorito com textura fanerítica grosseira e que não está deformado (não apresenta foliação), inclui um encrave máfico (autólito). O encrave microgranular máfico, apresenta uma matriz microgranular onde sobressaem fenocristais de feldspato, similares aos observados na rocha granítica envolvente. O encrave microgranular máfico com forma elipsoidal e contorno arredondado poderá ter uma composição química próxima do granodiorito que o envolve (a cor mais escura está relacionada com o tamanho dos cristais); (B) Paragem 1_Ponto de interesse 2. Amostra de granito com textura fanerítica média-fina e que não está deformado, inclui um encrave de rocha encaixante (xenólito): quartzo-diorito ou tonalito com textura fanerítica grosseira e foliado. A foliação do xenólito é definida pelo alinhamento dos minerais maficos (biotite e anfíbola). O quartzo-diorito e o tonalito, que em amostra de mão são por vezes difíceis de distinguir, são rochas diferentes quando observadas à lâmina delgada

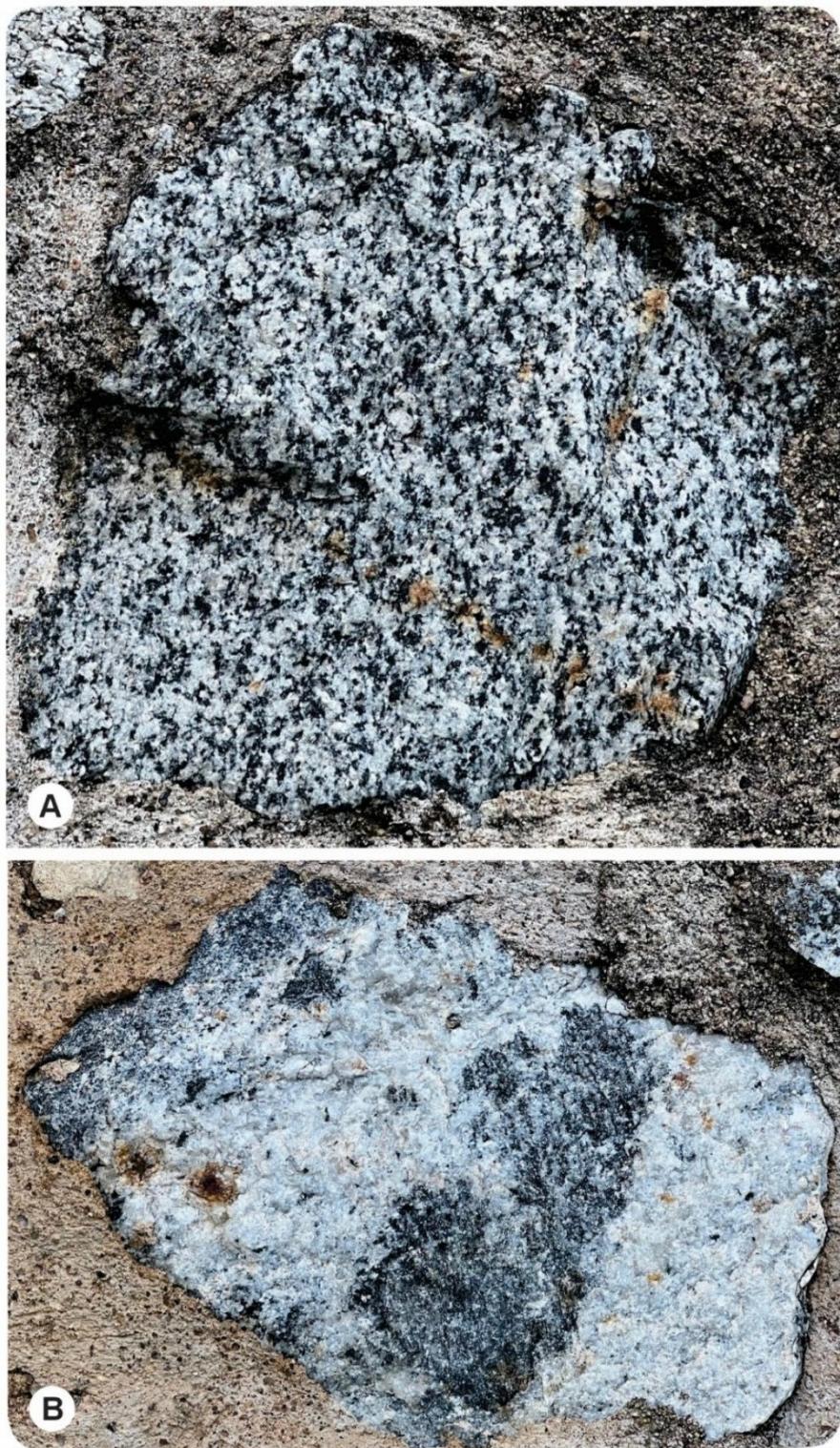


figura 27

(A) Paragem 1_Ponto de interesse 3. Amostra de tonalito ou quartzodiorito mesocrata com textura fanerítica grosseira, está deformada, exibindo uma foliação tectónica que é definida pelo alinhamento dos minerais máficos (biotite e anfíbola); (B) Paragem 1_Ponto de interesse 4. Amostra de pegmatito leucocrata de composição granítica que está em contacto difuso com um granodiorito ou quartzodiorito mesocrata com textura fanerítica média-fina e foliado (lado esquerdo). Observa-se ainda um encrave máfico foliado com forma irregular (centro), que poderá representar a rocha metamórfica encaixante

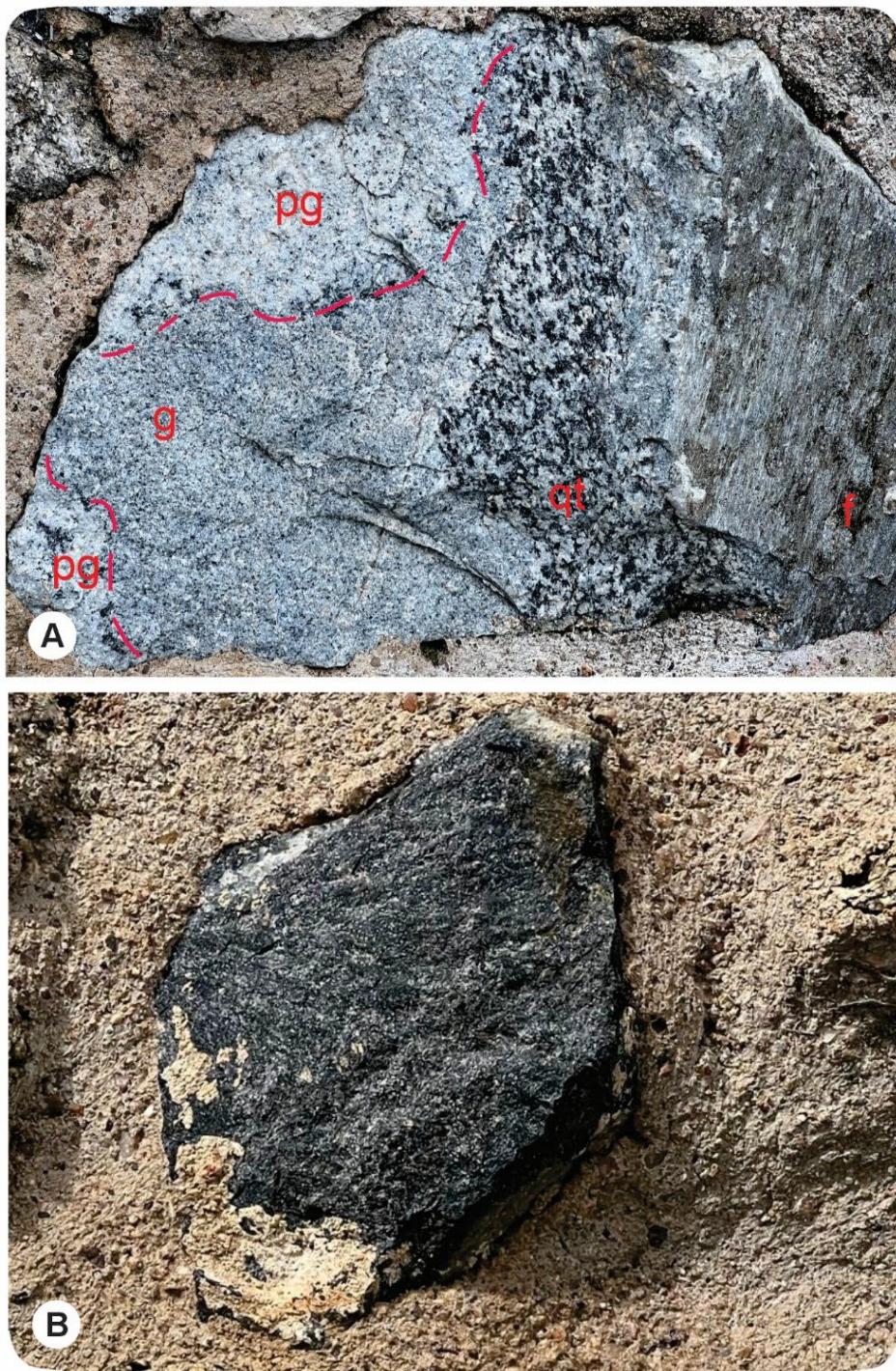


figura 28

(A) Paragem 1_Ponto de interesse 5. A amostra é composta por três rochas graníticas com composição e textura diferentes. Observa-se um granito leucocrata (g) com textura fanerítica fina em contacto com um pegmatito granítico (pg), ambos não foliados (lado esquerdo), e um quartzodiorito ou tonalito (qt) mesocrata com textura fanerítica grosseira que está foliado (lado direito). Observa-se ainda uma superfície de falha com estrias (f) que representa um evento de deformação frágil tardio; (B) Paragem 1_Ponto de interesse 6. Amostra de gabro, que representa uma rocha ígnea plutónica melanocrática com textura fanerítica média-grosseira que é constituída por minerais ferromagnesianos (piroxena, anfíbola, olivina), plagioclase cálcica e biotite.

PARAGEM 2 (MURALHA DE ÉVORA; NOVA PORTA DE AVIZ)



figura 29

Paragem 2 (Nova Porta de Aviz, Rua de Aviz), é possível observar as características de diferentes tipos de rochas ígneas plutónicas, considerando em particular as diferenças no índice de cor, que são representativas da geodiversidade da região de Évora (rochas graníticas e gабro)



figura 30

Paragem 2_Ponto de interesse 1. Amostra de gабro, similar à descrita na Paragem 1_Ponto de interesse 6, que representa uma rocha ígnea plutónica melanocrática com textura fanerítica média-grosseira constituída por minerais ferromagnesianos (piroxena, anfibola, olivina), plagioclase cálcica e biotite

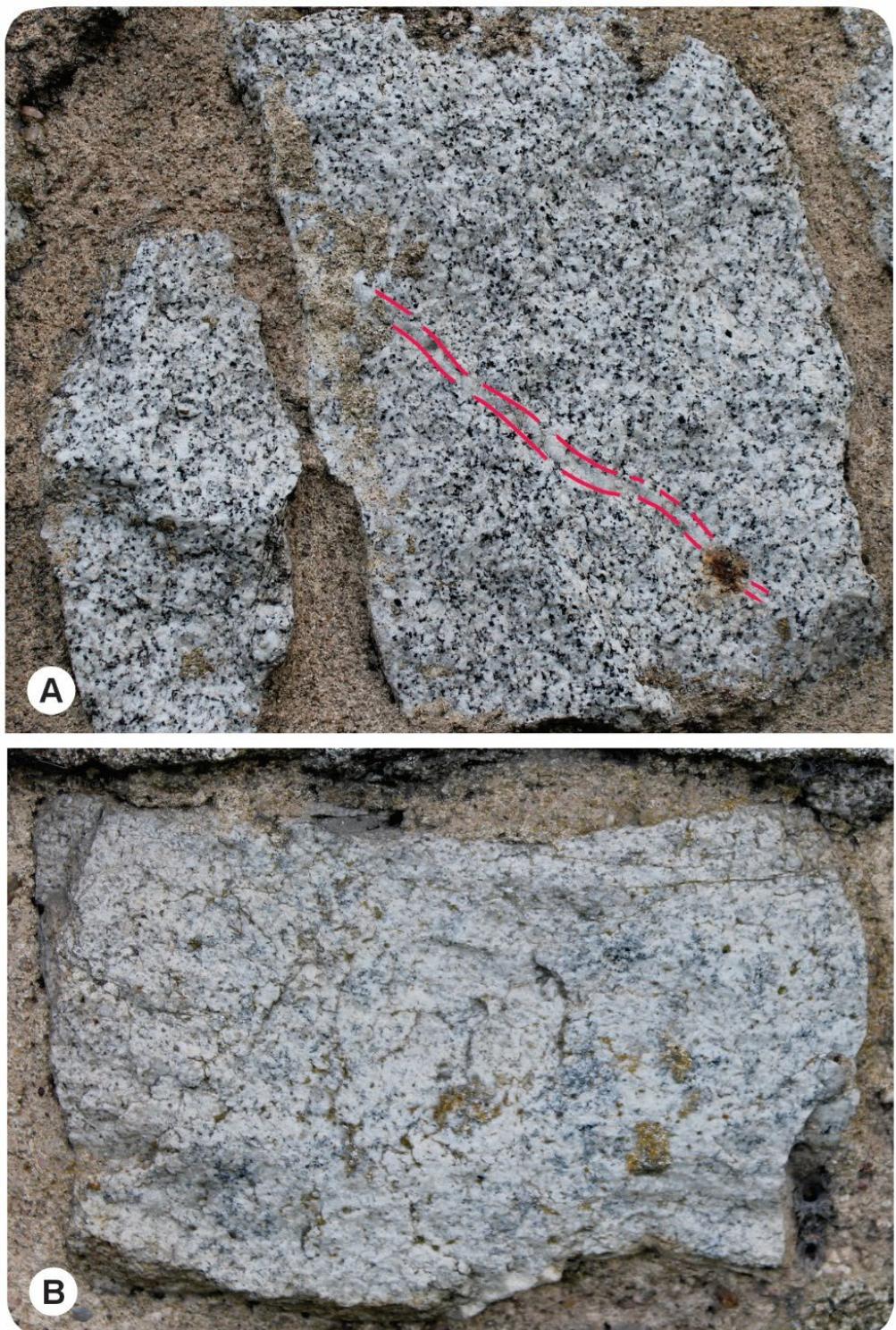


figura 31

(A) Paragem 2_Ponto de interesse 2. Amostra de granodiorito cortada por um veio, de espessura milimétrica, de quartzo. (B) Paragem 2_Ponto de interesse 3. Amostra de (leuco)granito com percentagem de minerais máficos inferior a 15%

PARAGEM 3 (MURALHA DE ÉVORA; PORTA VELHA DA LAGOA)



figura 32

Paragem 3 (Porta Velha da Lagoa, Rua Cândido dos Reis), onde é possível observar as características de diferentes tipos de rochas ígneas plutónicas (rochas graníticas com diferentes texturas) e de rochas metamórficas máficas (anfibolito), representativas da geodiversidade da região de Évora

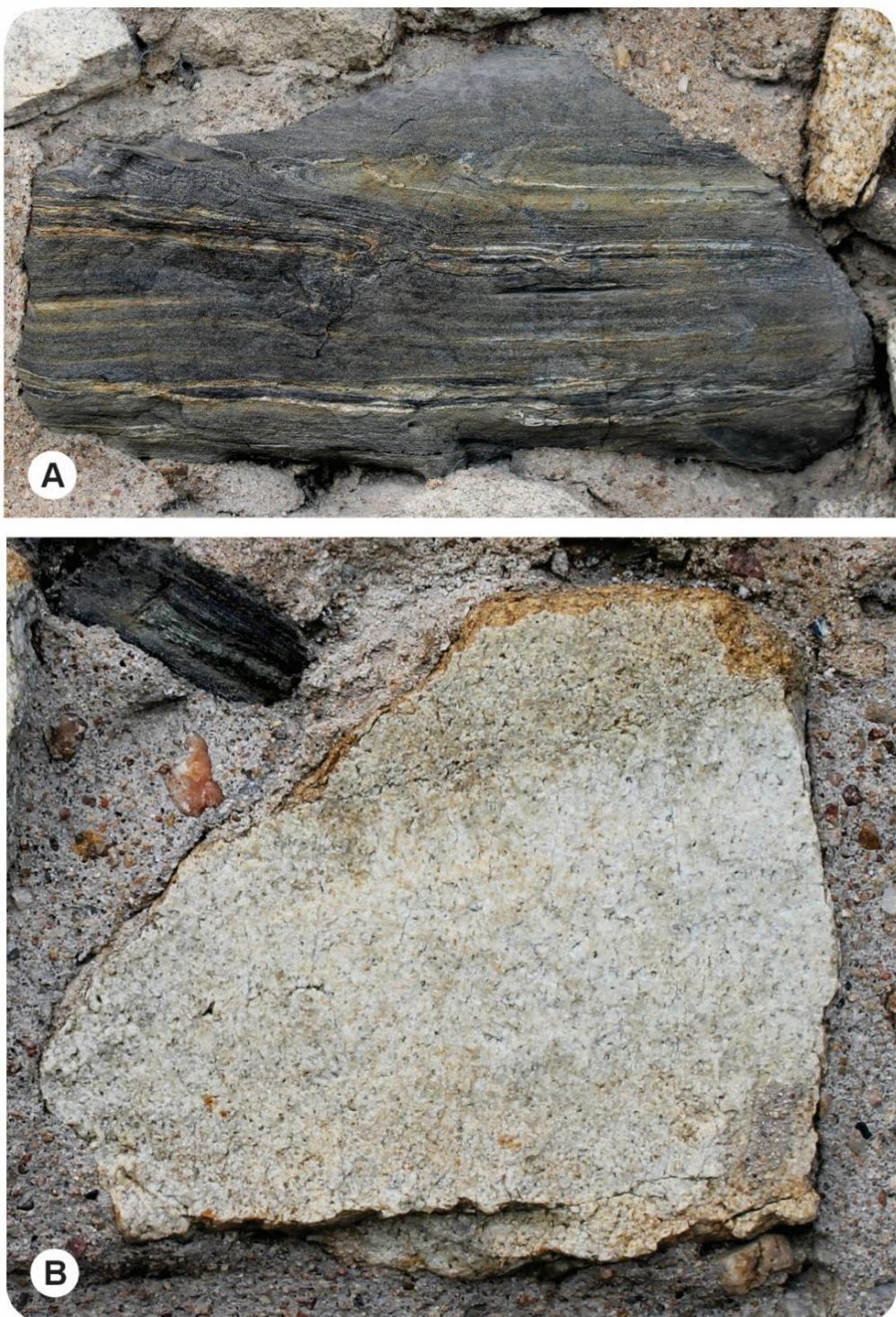


figura 33

(A) Paragem 3_Ponto de interesse 1. Amostra de anfibolito que representa uma rocha metamórfica máfica de granularidade fina que é constituída essencialmente por anfíbola verde (hornblenda) e plagioclase, mas também biotite, quartzo e epídoto (verde pistachio). Observa-se uma foliação tectónica bem desenvolvida, definida por bandas de espessura milimétrica com diferentes cores, que está deformada, reconhecendo-se dobras apertadas com flancos paralelos à foliação e ainda, leitos estirados que deram origem a boudins; (B) Paragem 3_Ponto de interesse 2. Amostra de (leuco)granito, similar à descrita na Paragem 2_Ponto de interesse 3, que não apresenta orientação preferencial dos grãos

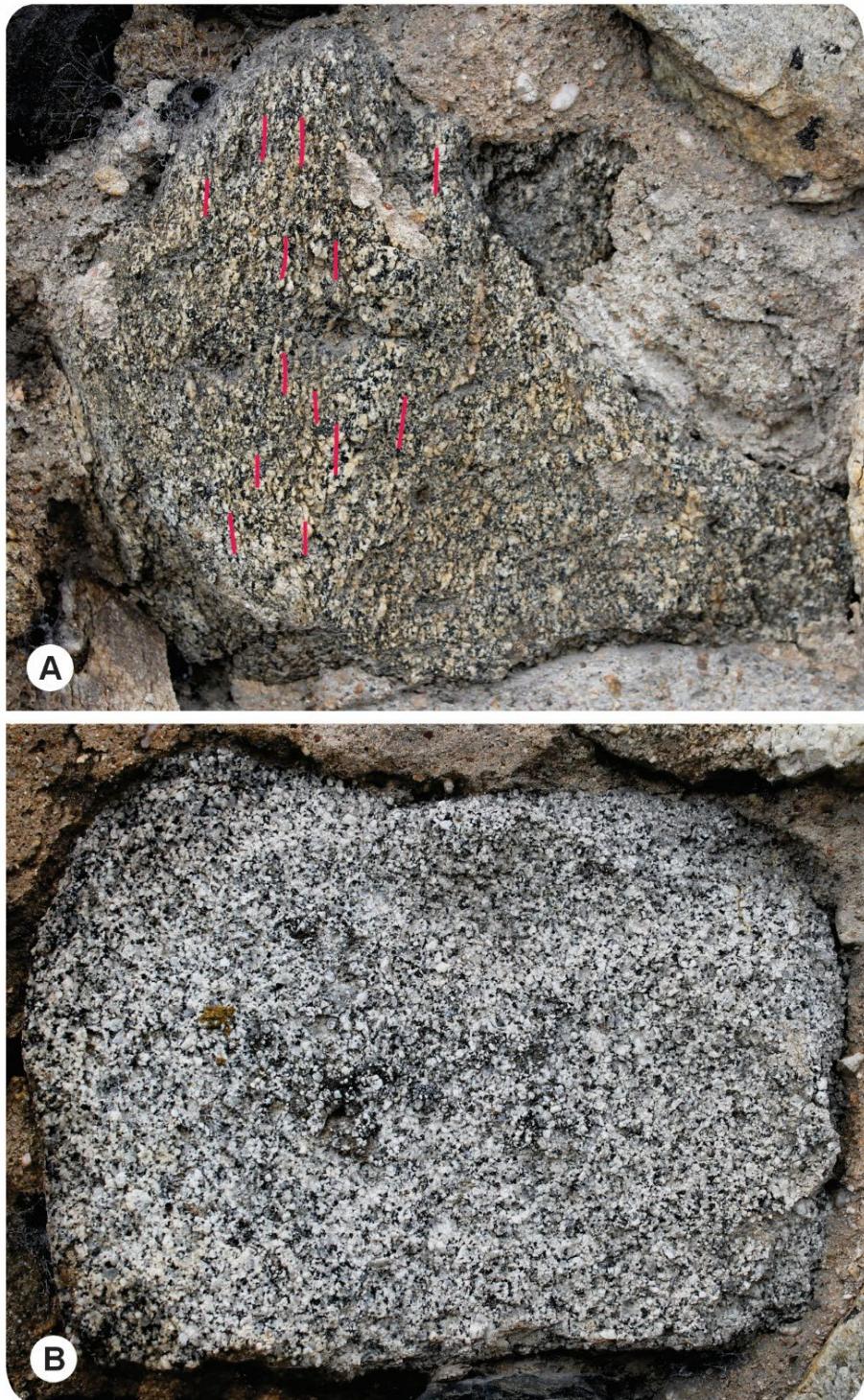


figura 34

(A) Paragem 3_Ponto de interesse 3. Amostra de quartzo-diorito ou tonalito deformado. Rocha ígnea plutónica com foliação tectónica definida pela orientação preferencial dos minerais máficos; (B) Paragem 3_Ponto de interesse 4. Amostra de granodiorito ou quartzo-diorito sem orientação preferencial dos minerais

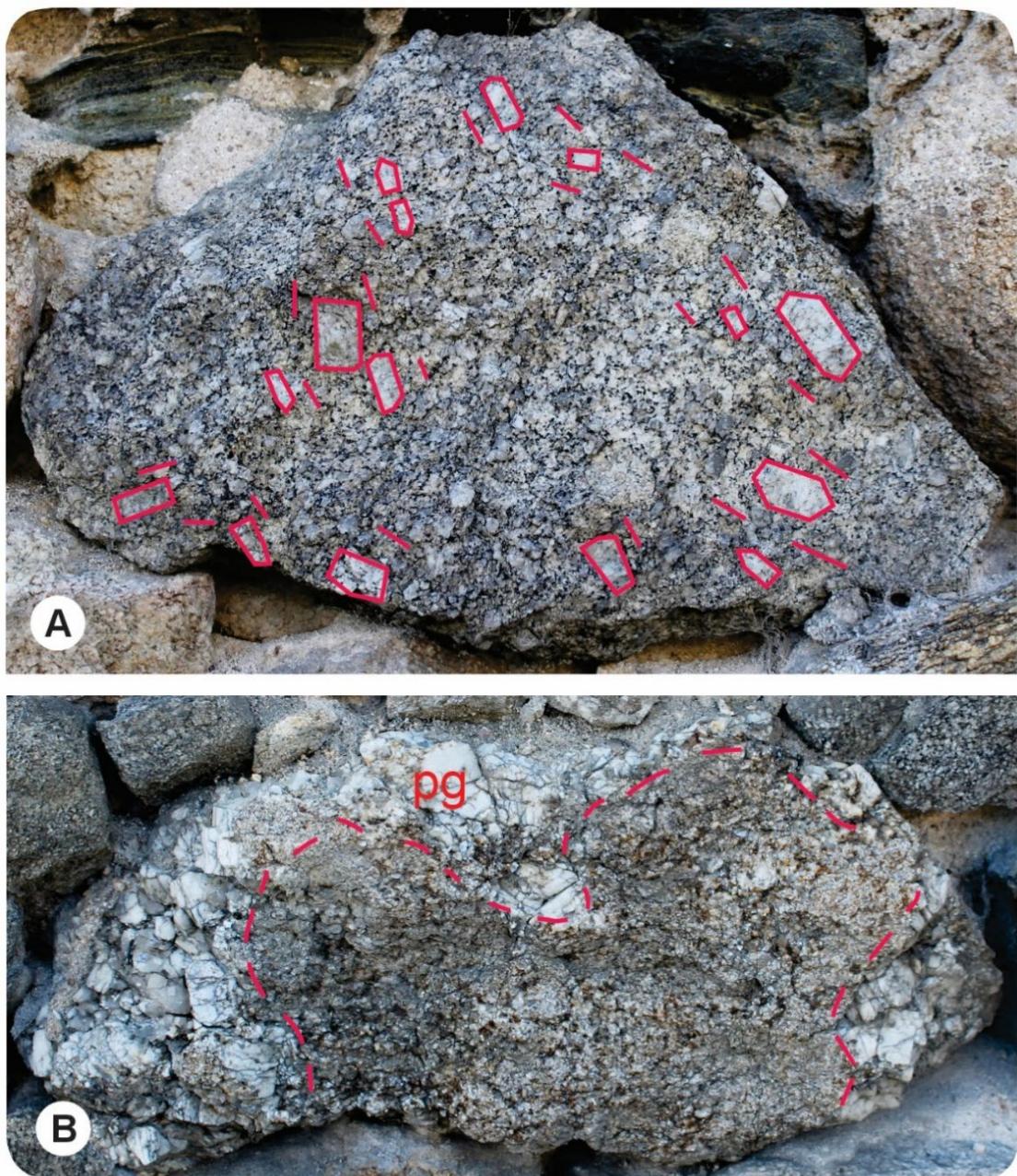


figura 35

(A) Paragem 3_Ponto de interesse 5. Amostra de granodiorito com textura porfirítica, onde se observam fenocristais de feldspato alcalino euédricos e de grandes dimensões, alinhados, definindo uma foliação magmática que provavelmente se formou em resultado do fluxo magmático; (B) Paragem 3_Ponto de interesse 6- Amostra de pegmatito granítico (pg), onde se observam cristais de quartzo e de feldspato de grandes dimensões, em contacto irregular com granito com textura fanerítica grosseira

PARAGEM 4 (MURALHA DE ÉVORA, AVENIDA DE LISBOA)



figura 36

Paragem 4 (Avenida de Lisboa, em frente ao Beco da Horta da Porta), onde é possível observar as características de diferentes tipos de rochas ígneas plutónicas (rochas graníticas deformadas e não deformadas) e de rochas metamórficas (quartzito, migmatito e gnaiss) representativas da geodiversidade da região de Évora

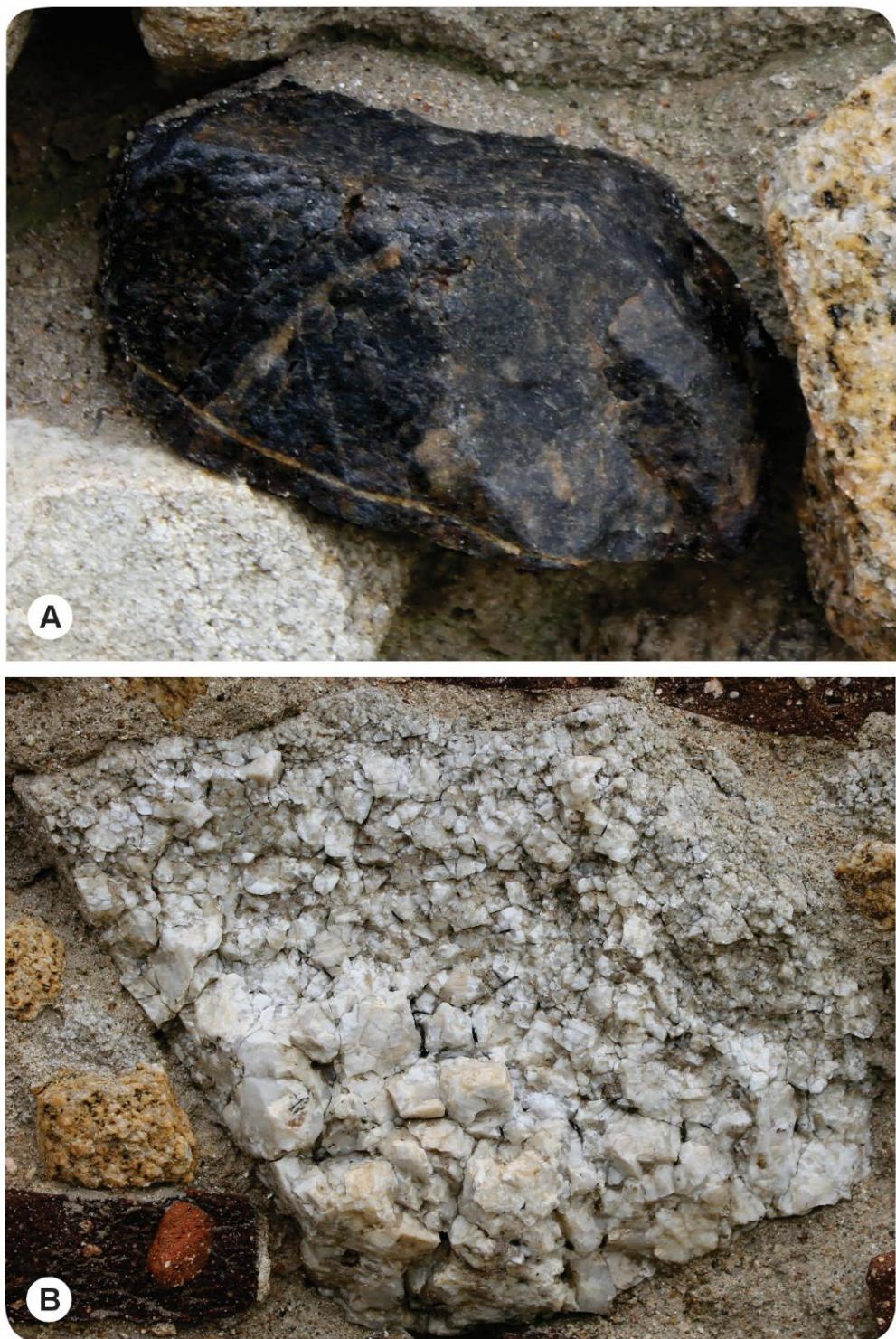


figura 37

(A) Paragem 4_Ponto de interesse 1. Amostra de quartzito negro que representa uma rocha metamórfica com textura fina a média e que é essencialmente constituída por quartzo, cujos cristais aumentam de tamanho e adquirem forma poligonal por efeito de recristalização. Originalmente, o quartzito poderia ter sido uma rocha sedimentar rica em quartzo, como o arenito. A grafite que lhe acentua a cor cinzento-escuro a negra, constitui matéria carbonosa provavelmente de origem orgânica; (B) Paragem 4_Ponto de interesse 2. Amostra de pegmatito granítico, com cristais de quartzo e de feldspato de grandes dimensões, com diminuição gradual do tamanho dos cristais (da base para o topo)

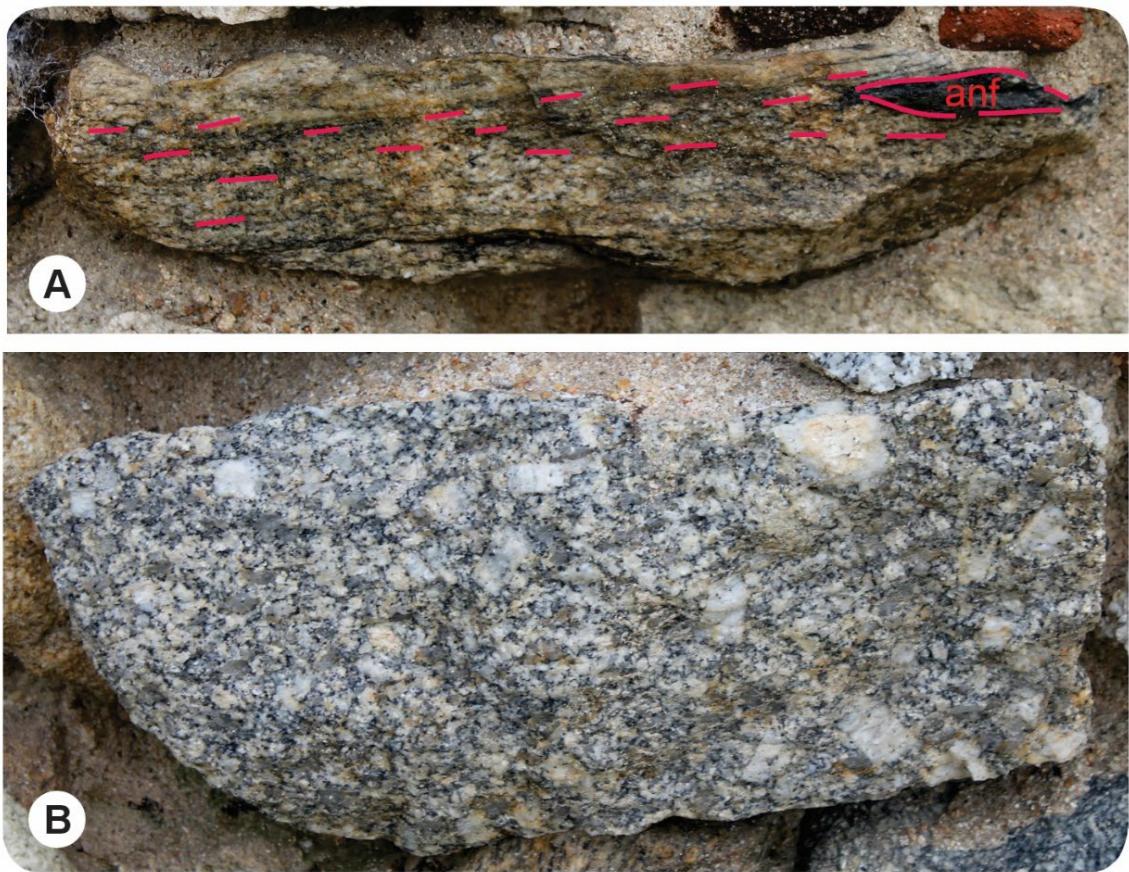


figura 38

(A) Paragem 4_Ponto de interesse 3. Amostra de migmatito com textura gnáissica (que neste caso pode designar-se gnaisso-migmatito). Trata-se de uma rocha metamórfica que esteve sujeita ao efeito simultâneo da fusão parcial e da deformação dúctil. Como resultado apresenta uma foliação tectónica bem desenvolvida definida por bandas de espessura milimétrica constituídas por minerais félsicos intercaladas com bandas ricas em minerais máficos. Note-se o pequeno encrave alongado de anfibolito (anf) que resistiu à fusão parcial, representando um restito; (B) Paragem 4_Ponto de interesse 4. Amostra de granodiorito porfirítico onde se destacam fenocristais de feldspato alcalino, no seio de uma matriz fanerítica grosseira constituída por quartzo, feldspato e mica. O termo textural “porfirítico” é recomendado pela “IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks” (Le Maitre, 2002)

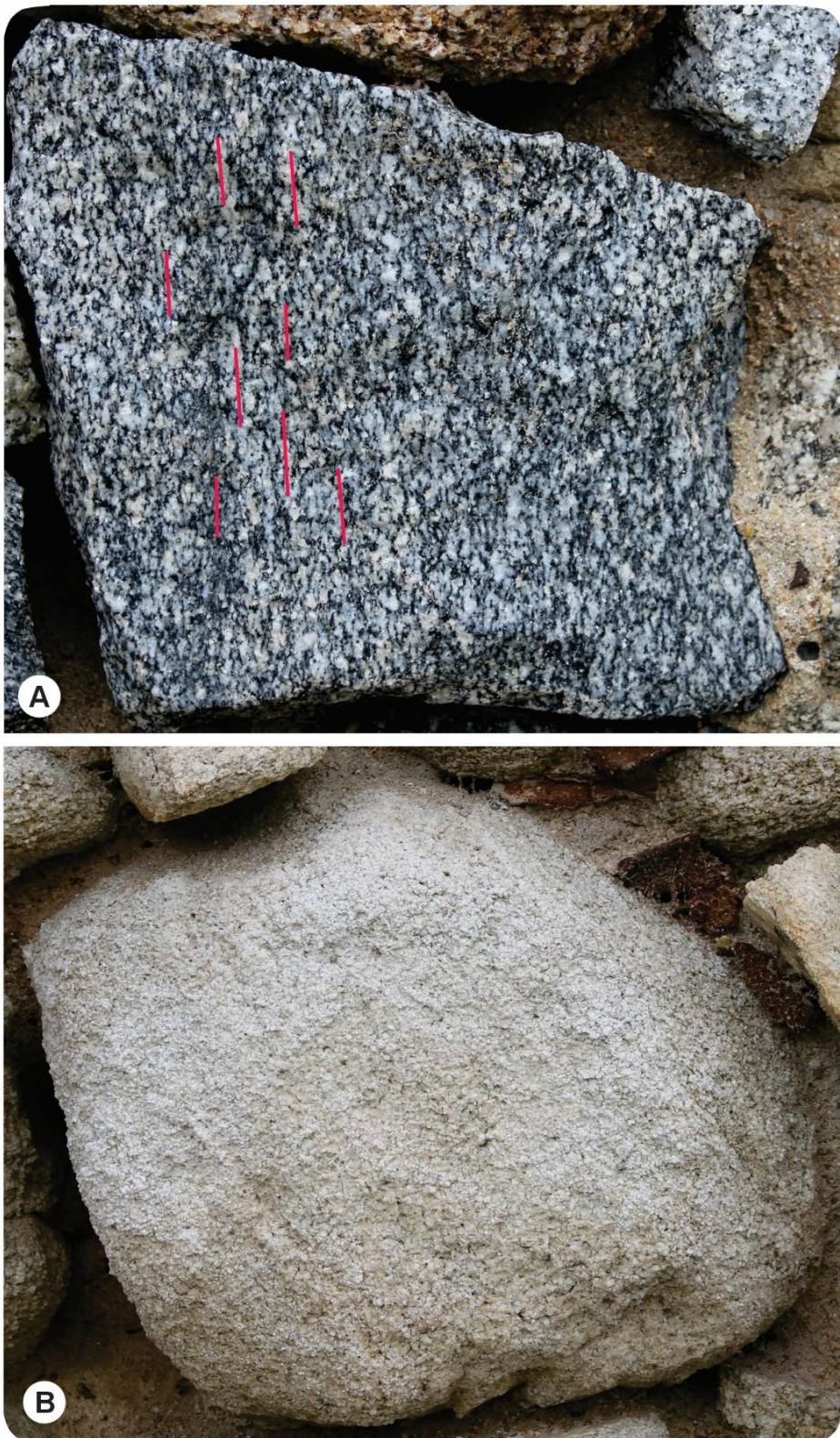


figura 39

(A) Paragem 4_Ponto de interesse 5. Amostra de quartzodiorito ou tonalito deformado, com a foliação tectónica definida pelo alinhamento dos minerais maficos orientados, paralelamente a bandas milimétricas de minerais felsicos; (B) Paragem 4_Ponto de interesse 6. Amostra de (leuco)granito com textura fina a média e bastante alterado (o feldspato está a alterar-se para caulinite)

PARAGEM 5 (MURALHA DE ÉVORA, AVENIDA DE LISBOA_1)



figura 40

Paragem 5 (Avenida de Lisboa, na rotunda para a Avenida Eng. Arantes e Oliveira), onde é possível observar as características de diferentes tipos de rochas ígneas plutónicas (rochas graníticas e gabro-diorito) e de rochas metamórficas (anfibolito, migmatito e gnaisse) representativas da geodiversidade da região de Évora

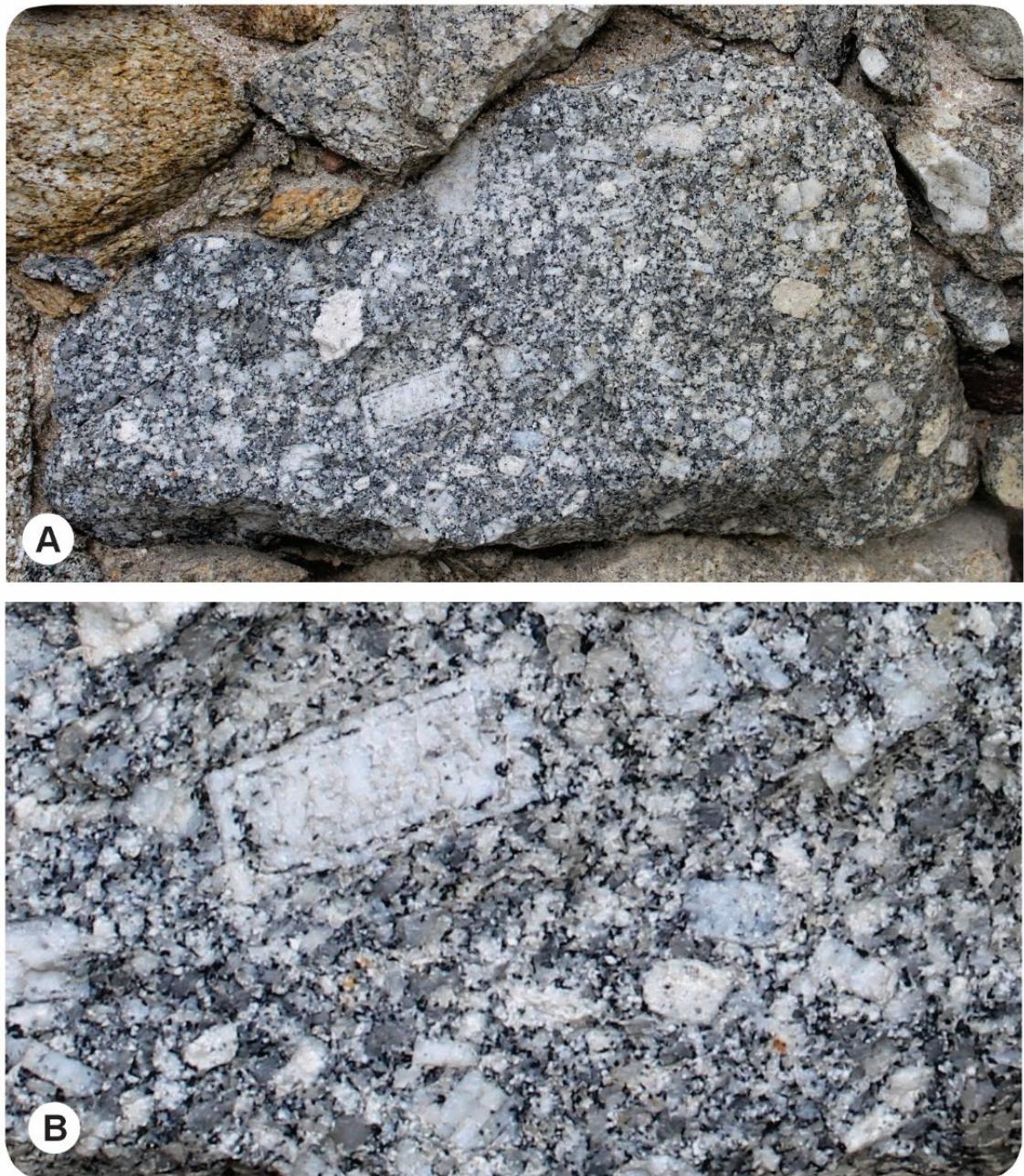


figura 41

Paragem 5_Ponto de interesse 1. Amostra de granodiorito porfirítico (A), onde se destaca um fenocristal zonado de feldspato potássico. Este fenocristal, com 4 cm de comprimento (B, pormenor de A), não tem inclusões no núcleo, mas sim nos crescimentos posteriores que rodeiam o seu núcleo, e com a particularidade de que as inclusões estão alinhadas com a face do cristal. Neste caso, pode admitir-se que o núcleo deste fenocristal é anterior ao crescimento dos cristais de pequeno tamanho da matriz, que crescem paralelamente às faces já formadas, e que os crescimentos que tem inclusões alinhadas são posteriores

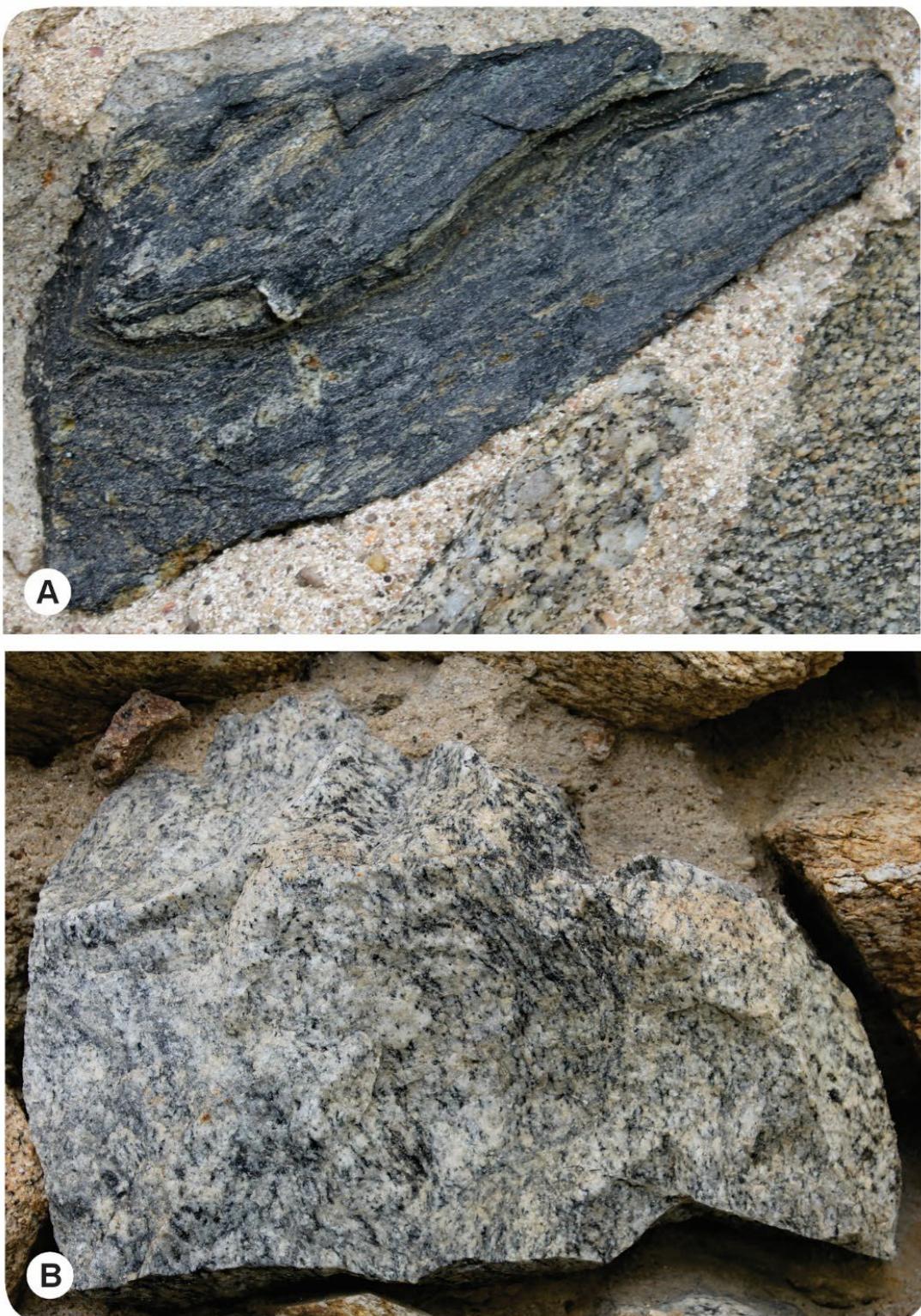


figura 42

(A) Paragem 5_Ponto de interesse 2. Amostra de anfibolito de grão fino com foliação tectónica bem desenvolvida, definida pela alternância de bandas de espessura milimétrica com diferentes cores, por serem constituídas por diferentes associações minerais; (B) Paragem 5_Ponto de interesse 3. Amostra de gnaisso-migmatito, que apresenta uma textura grosseira e irregular que varia entre domínios com foliação mais fraca (similar a uma rocha granítica foliada) e domínios com foliação muito bem definida pelo alinhamento dos minerais máficos (similar a um gnaisse)

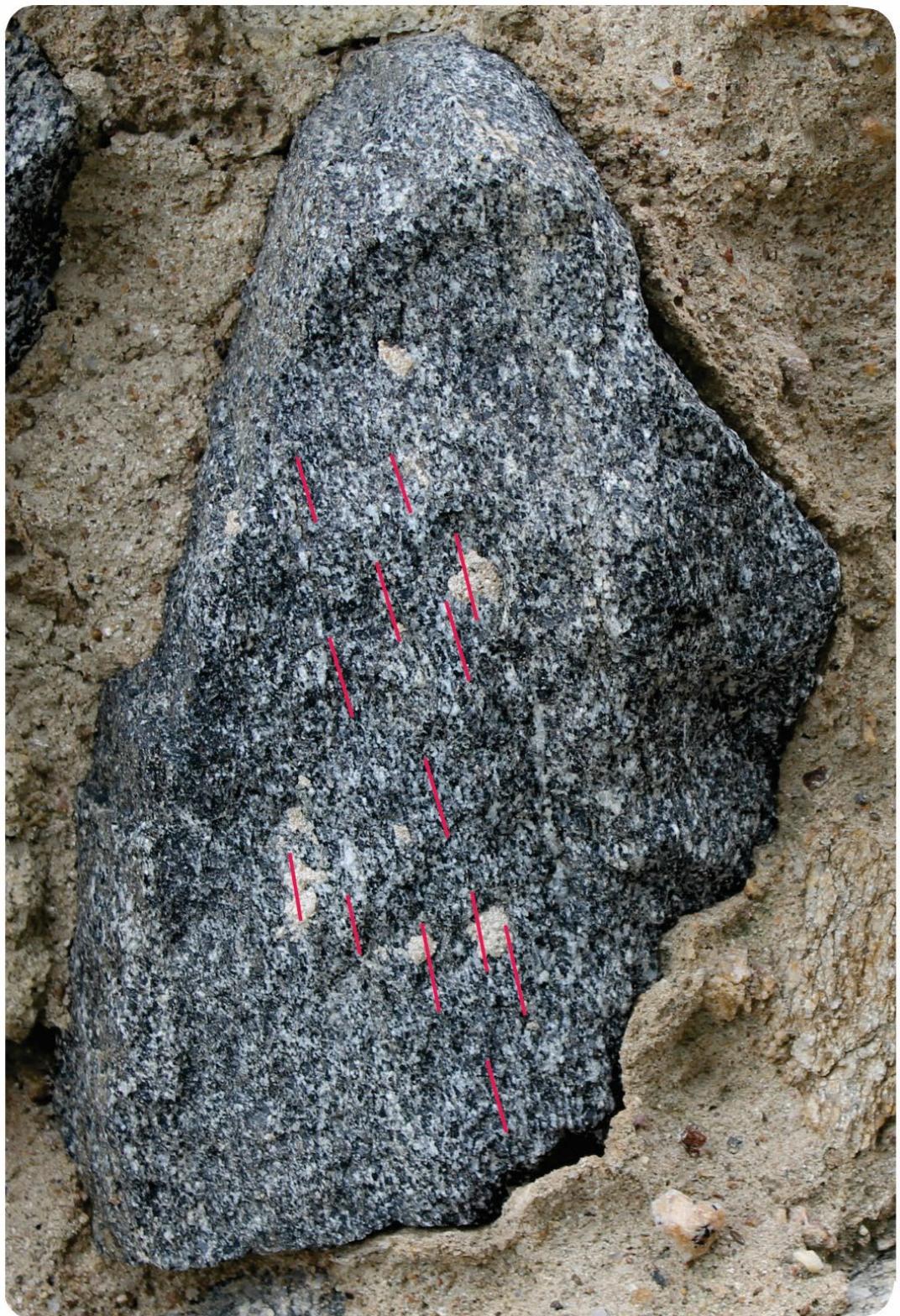


figura 43

Paragem 5_Ponto de interesse 4. Amostra de uma rocha gabro-diorítica deformada e metamorfizada, cuja foliação tectónica é definida pelo alinhamento preferencial dos minerais máficos segundo planos paralelos a bandas milimétricas de minerais félscicos

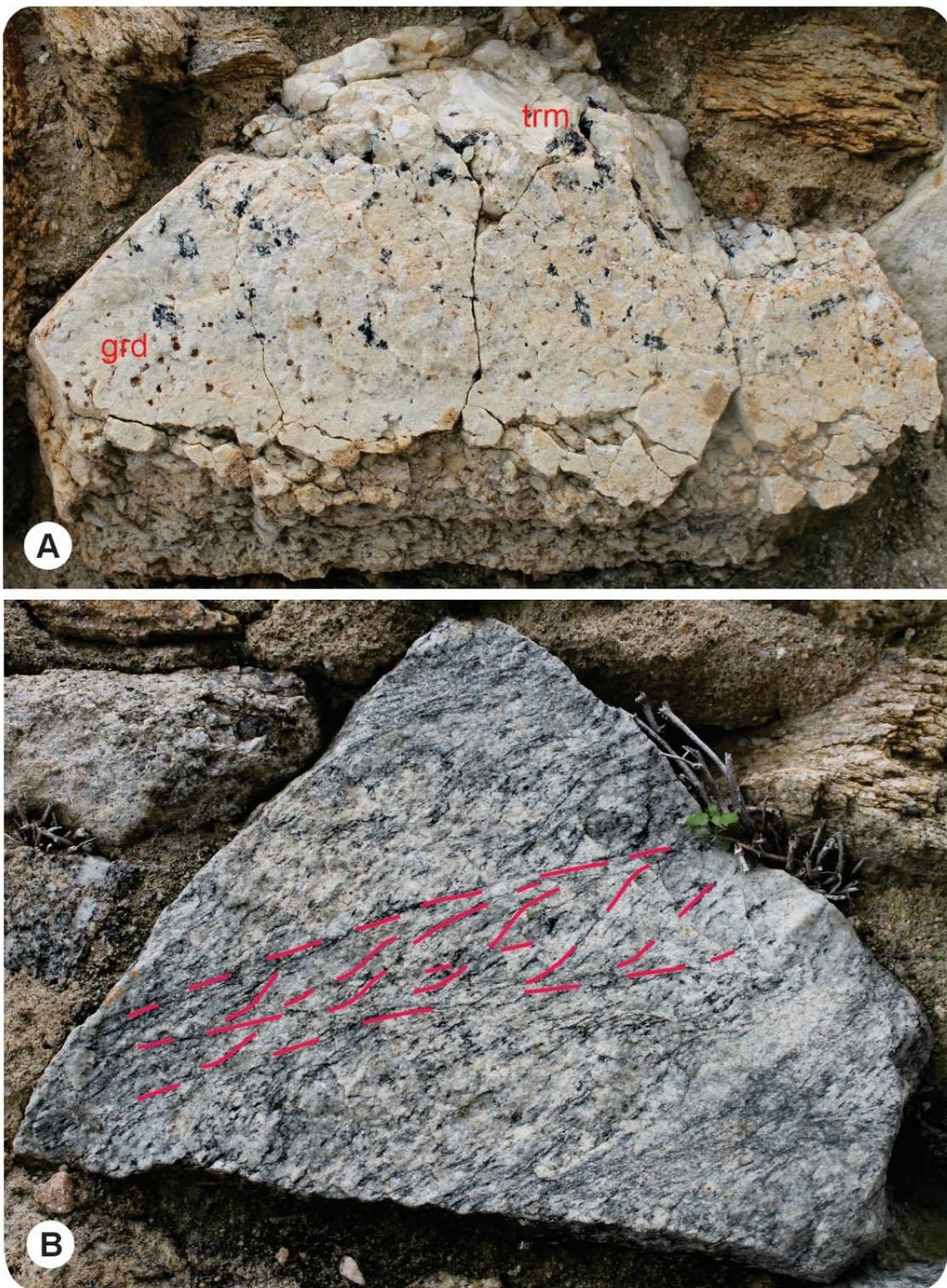


figura 44

(A) Paragem 5_Ponto de interesse 5. Amostra de pegmatito granítico mostrando uma significativa variação no tamanho dos cristais de quartzo e feldspato, que aumentam da base para o topo. Também se observam cristais de pequena dimensão, menos abundantes e dispersos, de granada avermelhada (grd, lado esquerdo) ou de maior dimensão de turmalina negra (trm, no topo); (B) Paragem 5_Ponto de interesse 6. Amostra de gnaisso-migmatito com uma foliação tectónica compósita (fabric S-C), caracterizada por uma textura secundária com desenvolvimento de planos C que defletem os planos S, típica de um milonito

PARAGEM 6 (MURALHA DE ÉVORA, AVENIDA DE LISBOA_2)



figura 45

Paragem 6 (Avenida de Lisboa, a aproximadamente 150 metros a sul da Paragem 5 da rotunda para a Avenida Eng. Arantes e Oliveira), onde se observam as características de diferentes tipos de rochas ígneas plutónicas (rochas graníticas incluindo enclaves e diques) e de rochas metamórficas (mármore e gnaisse), representativas da geodiversidade da região de Évora

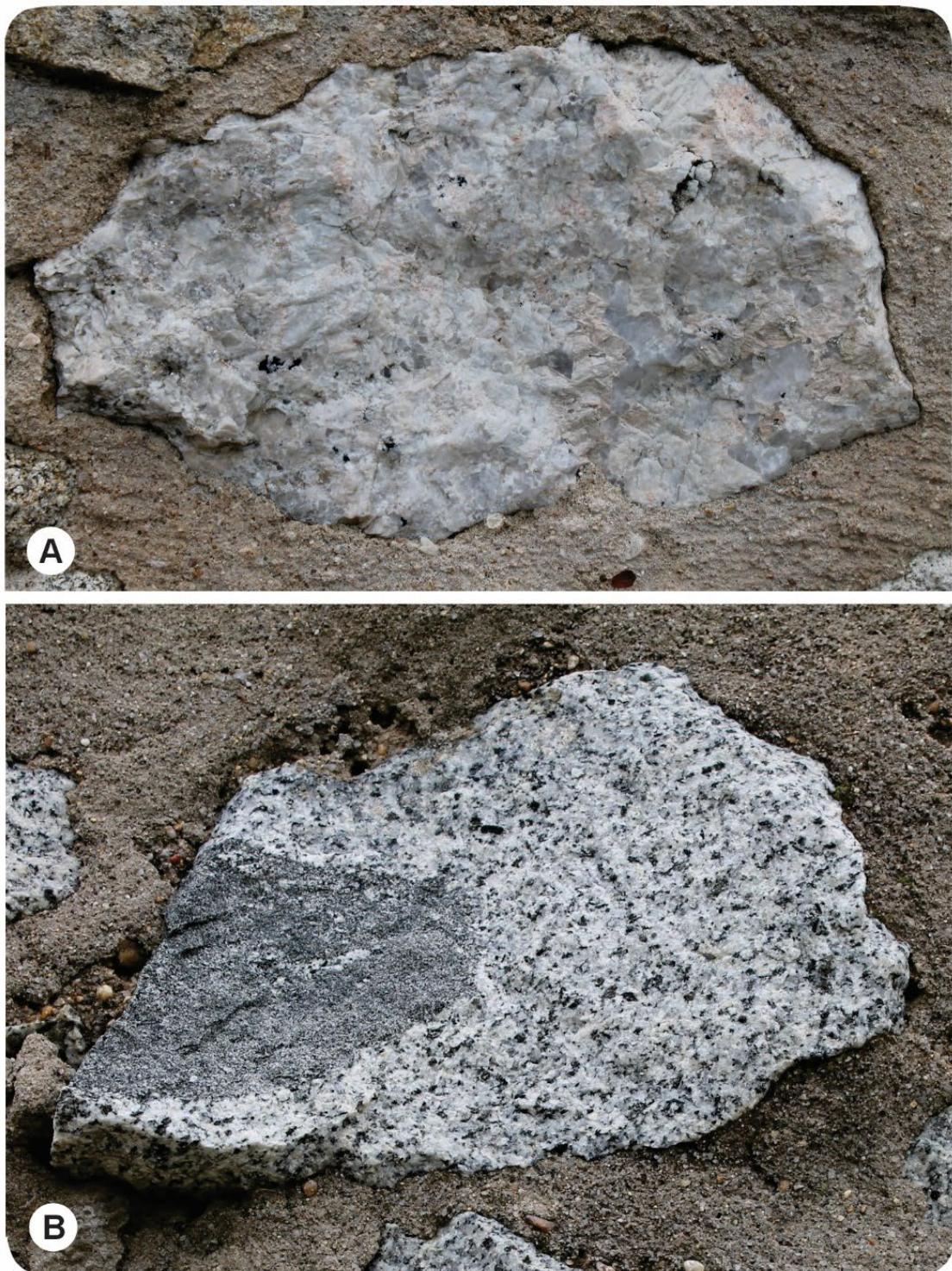


figura 46

(A) Paragem 6_Ponto de interesse 1. Amostra de pegmatito granítico onde se observam cristais de grandes dimensões de feldspato alcalino e quartzo, mas também micas e turmalina, menos abundantes e em cristais de menor dimensão; (B) Paragem 6_Ponto de interesse 2. Amostra de granodiorito ou quartzo-diorito com textura fanerítica média-grosseira com encrave microgranular máfico, onde se reconhece no seu interior injeções da rocha granítica envolvente, sugerindo que coexistiram enquanto magmas. A rocha granítica apresenta uma foliação fraca, assinalada pelo alinhamento dos minerais maficos, e que coincide com o alongamento máximo do encrave, que pode ser resultante do fluxo magmático

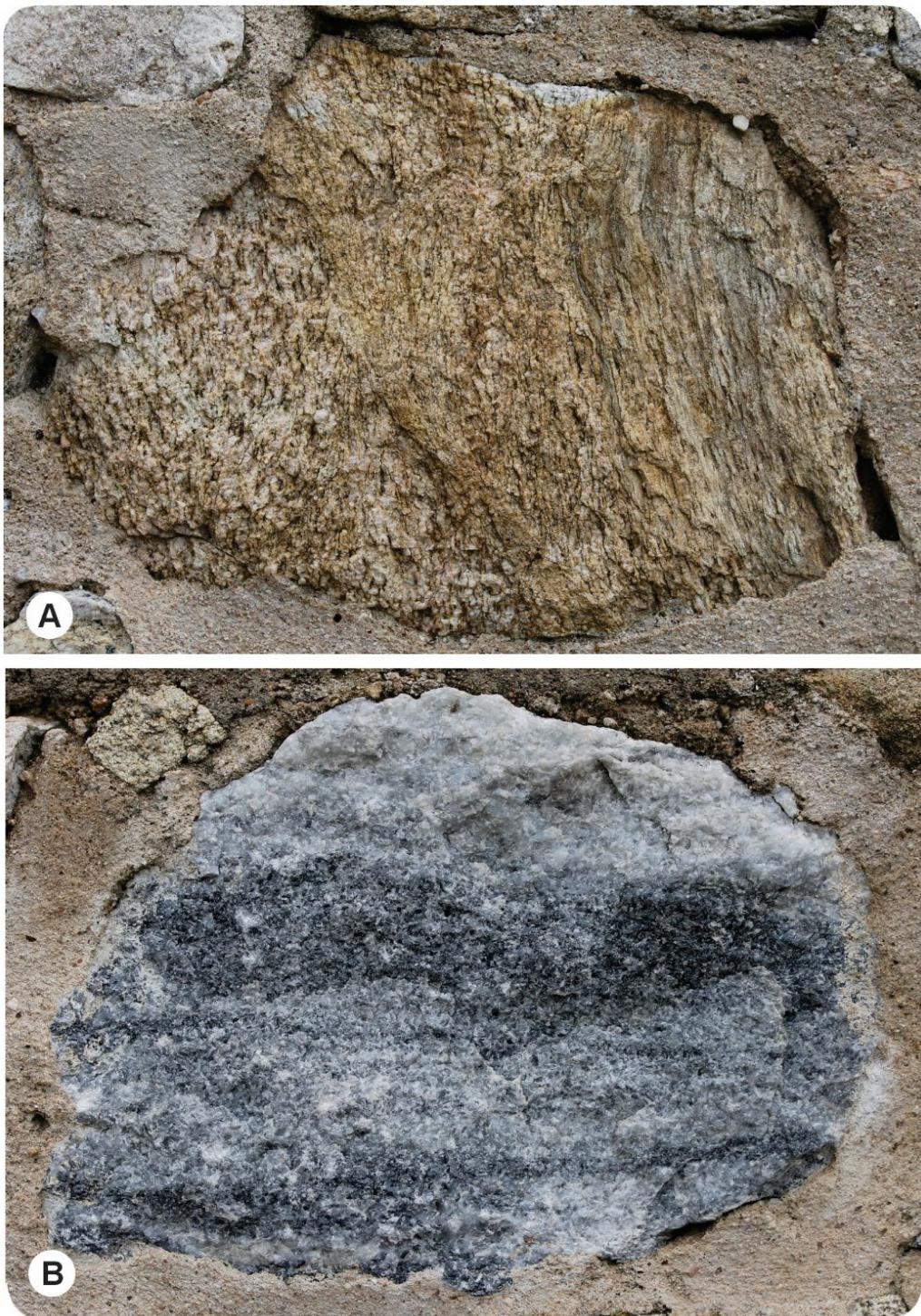


figura 47

(A) Paragem 6_Ponto de interesse 3. Amostra de gnaisse onde é possível observar a redução gradual do tamanho do grão (da esquerda para a direita) e o desenvolvimento incremental de uma foliação tectónica muito penetrativa, típica de um milonito; (B) Paragem 6_Ponto de interesse 4. Amostra de mármore acinzentado e foliado onde se reconhece um bandado/foliação tectónica definida pela alternância de bandas esbranquiçadas, cinzento-claro e cinzento-escuro, e com cristais de calcite de diferente dimensão. O cinzento pode estar relacionado com a presença de matéria carbonosa e com a diminuição do tamanho do grão

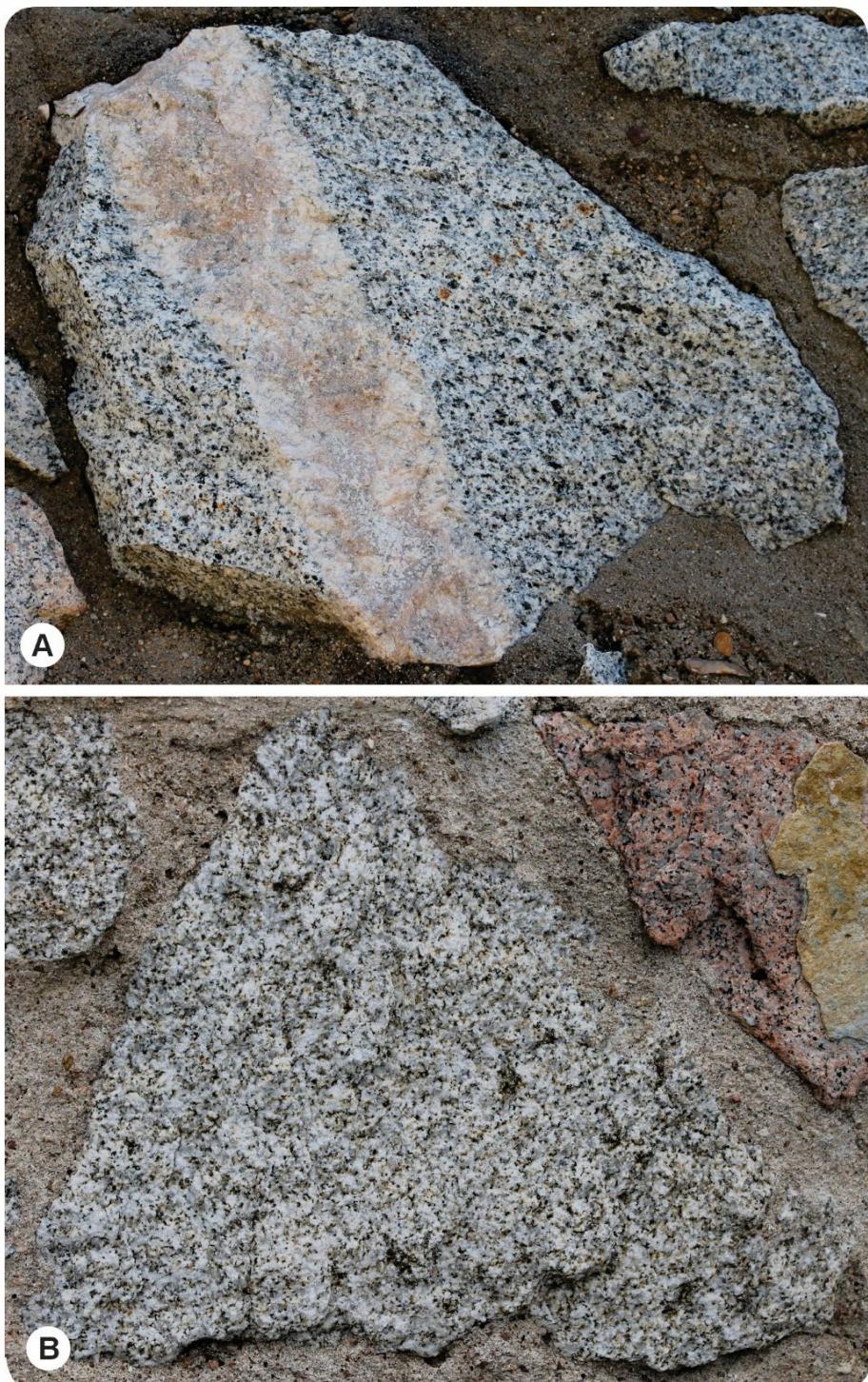


figura 48

(A) Paragem 6_Ponto de interesse 5. Amostra de granodiorito com textura fanerítica grosseira-média foliado. A foliação é cortada por um dique, com espessura centimétrica, de granito com textura aplítica (grão fino), de cor esbranquiçada-rosada e sem deformação aparente; (B) Paragem 6_Ponto de interesse 6. Amostra de granito biotítico com textura fanerítica grosseira a média, onde é possível distinguir agregados de biotite, de dimensão milimétrica, rodeados por quartzo, feldspato e biotite que não apresentam uma orientação preferencial. Este granito biotítico pode ter tido origem na fusão parcial de protólitos meta-sedimentares (rochas sedimentares mais antigas que experimentaram condições de anatexia), que caracterizam o encaixante na região.

PARAGEM 7 (MURALHA DE ÉVORA, AVENIDA DE LISBOA_3)



figura 49

Paragem 7 (Avenida de Lisboa, a aproximadamente 150 metros a norte da Porta do Raimundo), onde se observam as características de diferentes tipos de rochas metamórficas (migmatito e gnaissomigmatito) cortadas por diques de rochas graníticas, representativas da geodiversidade da região de Évora

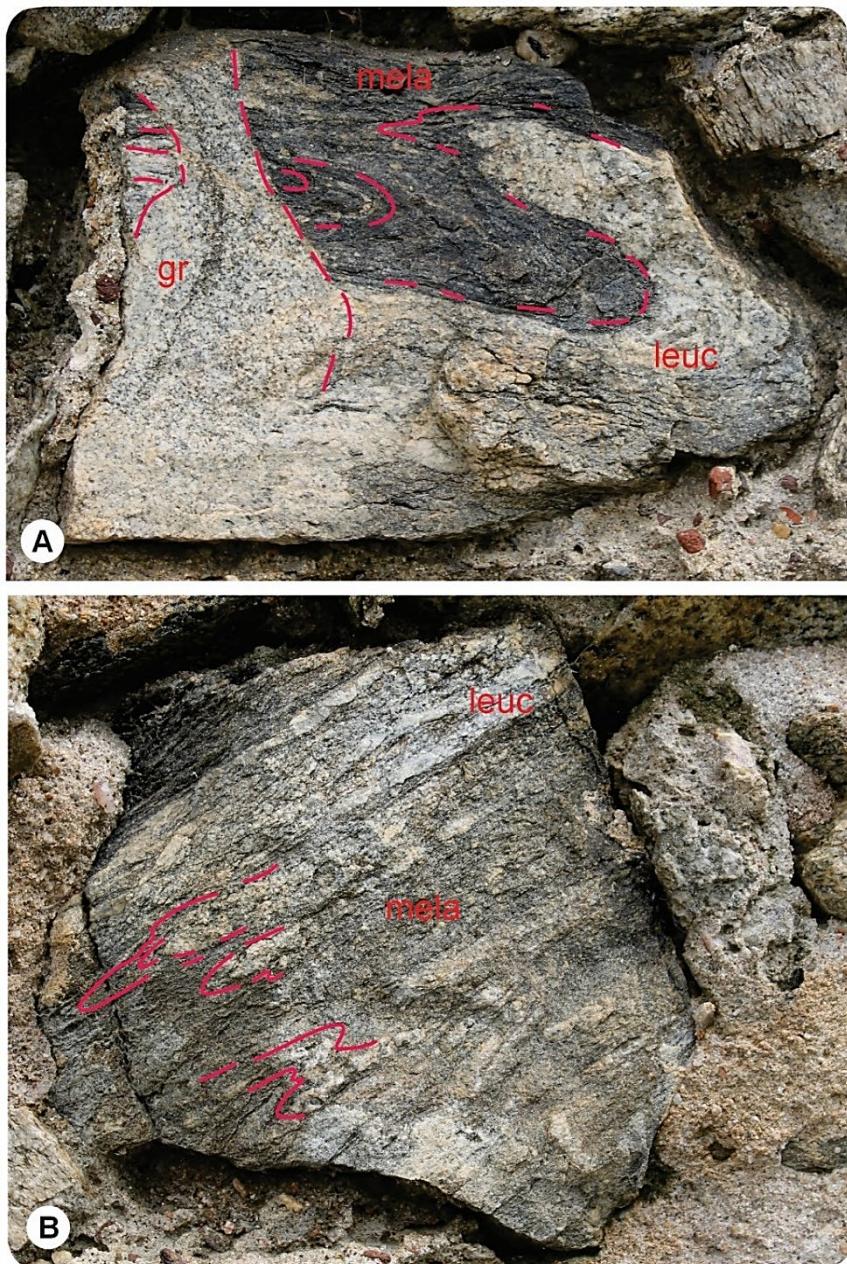


figura 50

(A) Paragem 7_Ponto de interesse 1. Amostra de migmatito que é caracterizado por ser composto por uma componente “ígnea” e uma componente “metamórfica”, que ocorrem em bandas alternadas e paralelas entre si, definindo um bandado composicional. Os migmatitos podem ser muito heterogéneos a qualquer escala, mas quando foliados apresentam uma textura gnássica, definida por um bandado composicional de espessura milimétrico a centimétrico, designando-se por gnaiss-migmatito. A componente “ígnea”, leucossoma, que é mais ou menos importante consoante o grau da migmatização, assemelha-se a uma rocha granítica ou gnaisse (quando foliada) e representa a cristalização de um líquido silicatado formado por fusão parcial de uma rocha preexistente (protólito). A componente “metamórfica”, melanossoma, que pode ter parecenças com um micaxisto ou gnaisse, representa a rocha que sobreviveu à fusão parcial, mas também pode ser formada por novos minerais escuros gerados durante a anatexia. Nesta amostra de migmatito observa-se um bandado composicional, definido por bandas de leucossoma (leuc) e de melanossoma (mela), que está dobrado e foi posteriormente cortado por um dique de granito; (B) Paragem 7_Ponto de interesse 2. Amostra de migmatito com dobras muito apertadas e com flancos paralelos à foliação tectónica

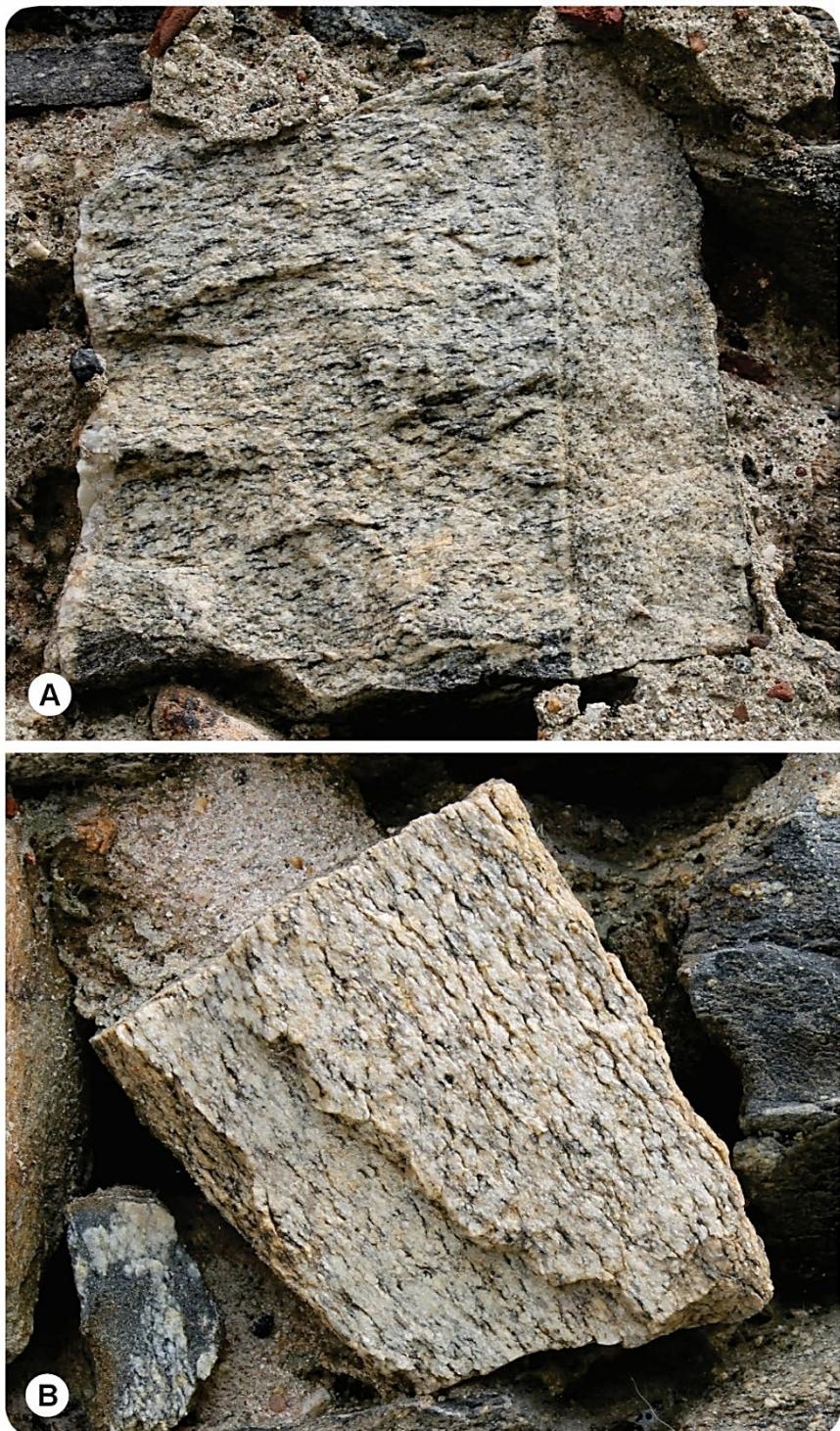


figura 51

(A) Paragem 7_Ponto de interesse 3. Amostra de gnaisso-migmatito com foliação tectónica compósita (fabric S-C) bem definida pelo alinhamento dos minerais escuros e também pela presença de bandas milimétricas de leucossoma, que foi cortado por um dique de granito com textura media-fina fanerítica e não foliado; (B) Paragem 7_Ponto de interesse 4. Amostra de gnaisse quartzo-feldspático que apresenta uma foliação tectónica compósita (fabric S-C) espaçada, que é definida pelo alinhamento dos minerais escuros (biotite), em planos mais ou menos descontínuos e paralelos entre si, que rodeiam grãos de quartzo e de feldspato alongados segundo a mesma direção

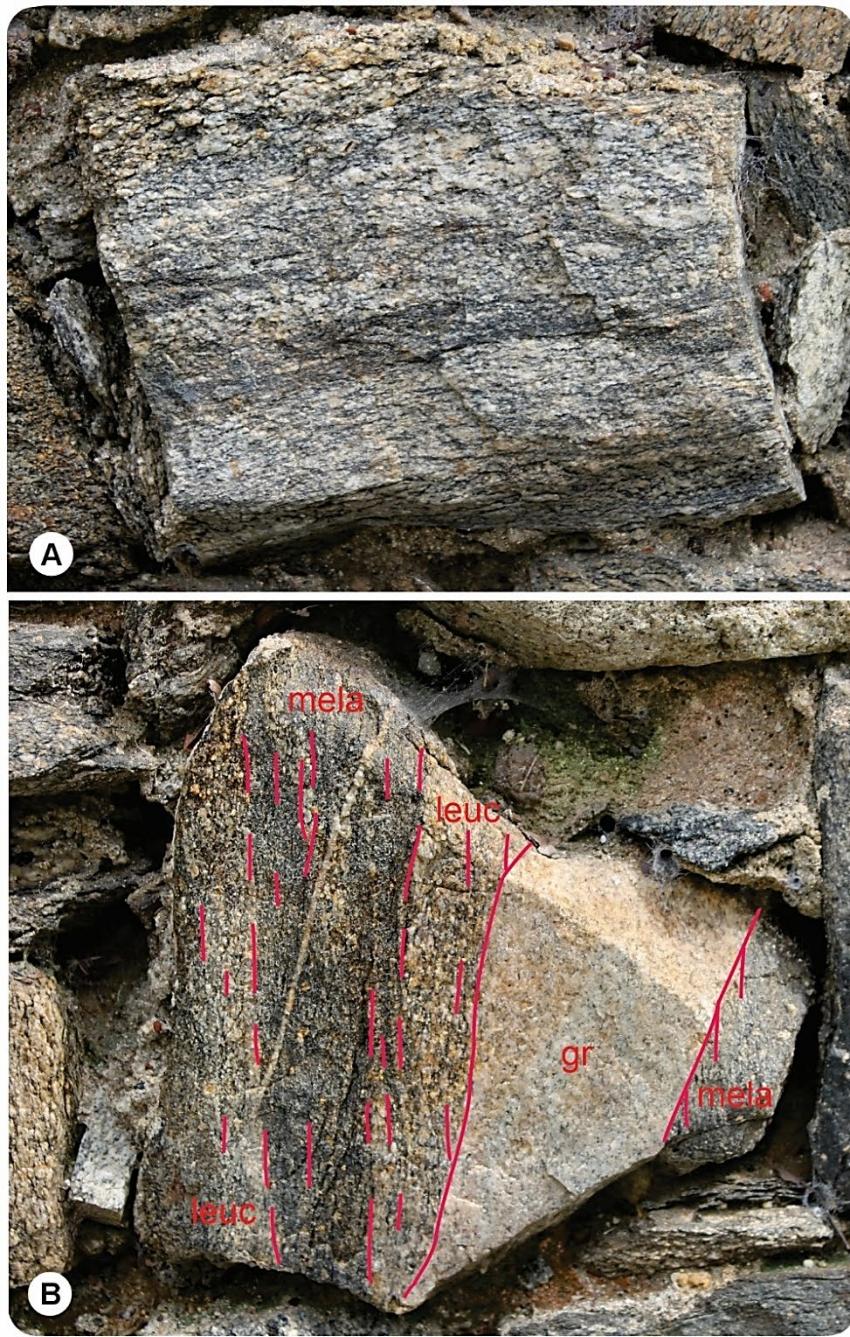


figura 52

(A) Paragem 7_Ponto de interesse 5. Amostra de gnaisso-migmatito que apresenta bandas de espessura milimétrica mais escuras e de grão muito fino, onde a milonitização foi mais intensa. A redução do tamanho do grão por efeito da deformação dúctil apagou a textura gnáissica, que pode ser reconhecida na restante amostra, e que preserva a foliação tectónica compósita (fabric S-C); (B) Paragem 7_Ponto de interesse 6. As rochas metamórficas sujeitas ao aumento da temperatura podem começar a fundir parcialmente e produzem um líquido silicatado (fundido). O fundido pode ficar retido entre os grãos (componente sólida da rocha fonte que sofre fusão parcial) ou deslocar-se entre os grãos e coalesce para formar um sistema complexo de veios e diques de leucossoma concordantes ou discordantes com o bandado composicional que se forma no migmatito. O magma representa a acumulação de fundido que depois de ser extraído da sua fonte migra no interior da crosta e cristaliza para dar origem às rochas ígneas. Nesta amostra de migmatito, as bandas bem definidas de leucossoma (leuc) e de melanossoma (mela), são cortadas por um dique de granito com textura aplítica (grão fino)

5. GEOPERCURSO DO MIRADOURO DO ALTO DE SÃO BENTO

O miradouro do Alto São Bento, que está localizado num relevo acentuado que se ergue a nordeste da cidade de Évora (Latitude: 38°34'52.35"N; Longitude: 7°56'15.04"W), apresenta um conjunto de afloramentos que expõem a relação entre diferentes tipos de rochas ígneas plutónicas. Neste local, e na estrada que se dirige para o Mosteiro de São Bento de Castris, define-se um geopercuso com seis paragens e dezasseis pontos de interesse para se observar *in-situ* a geodiversidade da região de Évora (bloco a muro do Doma gnaíssico de Évora): rochas graníticas com textura porfirítica e aplito-pegmatítica, e com encraves (autólitos e xenólitos), e ainda rochas graníticas foliadas/gnaisses e rochas gabro-dioríticas foliadas (figura 53).

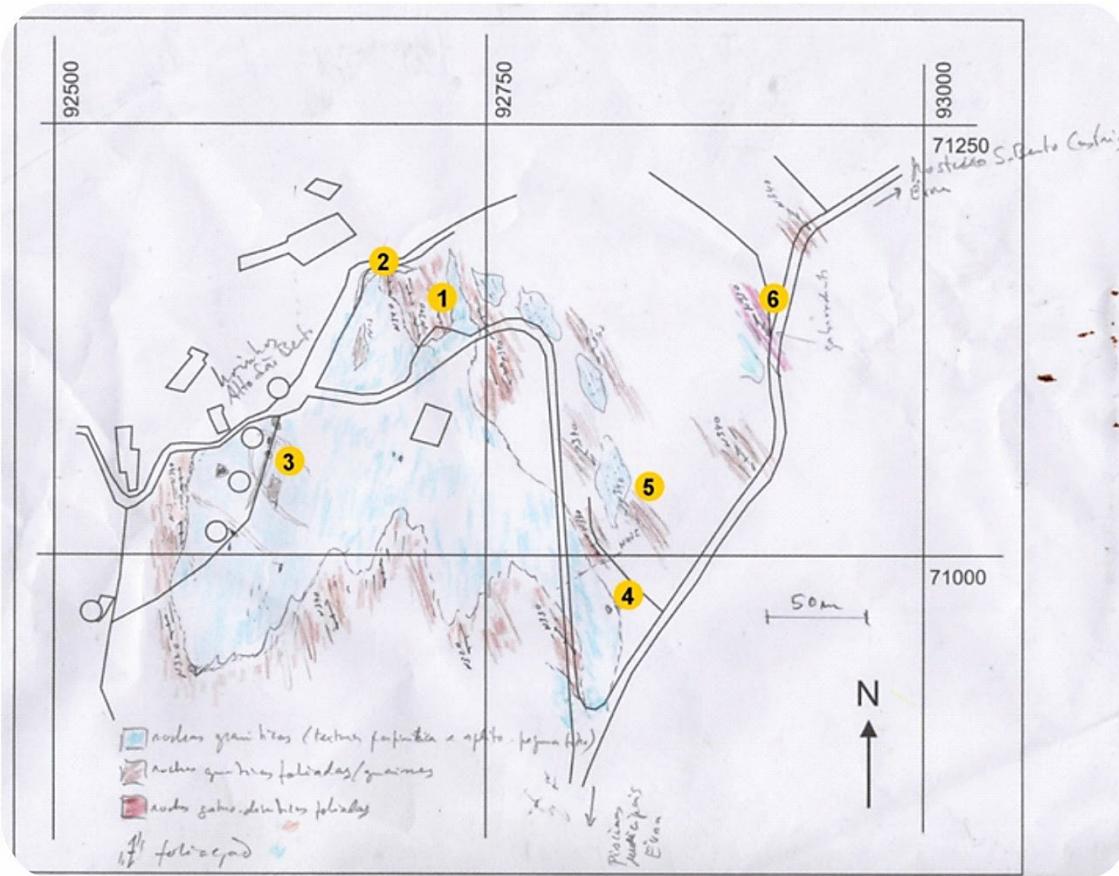


figura 53

Minuta de campo onde foram registados os dados da cartografia geológica de rochas metamórficas e plutónicas do Alto de São Bento e estrada para o Mosteiro de São Bento de Castris, incluindo a localização dos pontos de interesse (círculos amarelos) definidos para o geopercuso no miradouro do Alto de São Bento

PARAGEM 1 (MIRADOURO DO ALTO SÃO BENTO)

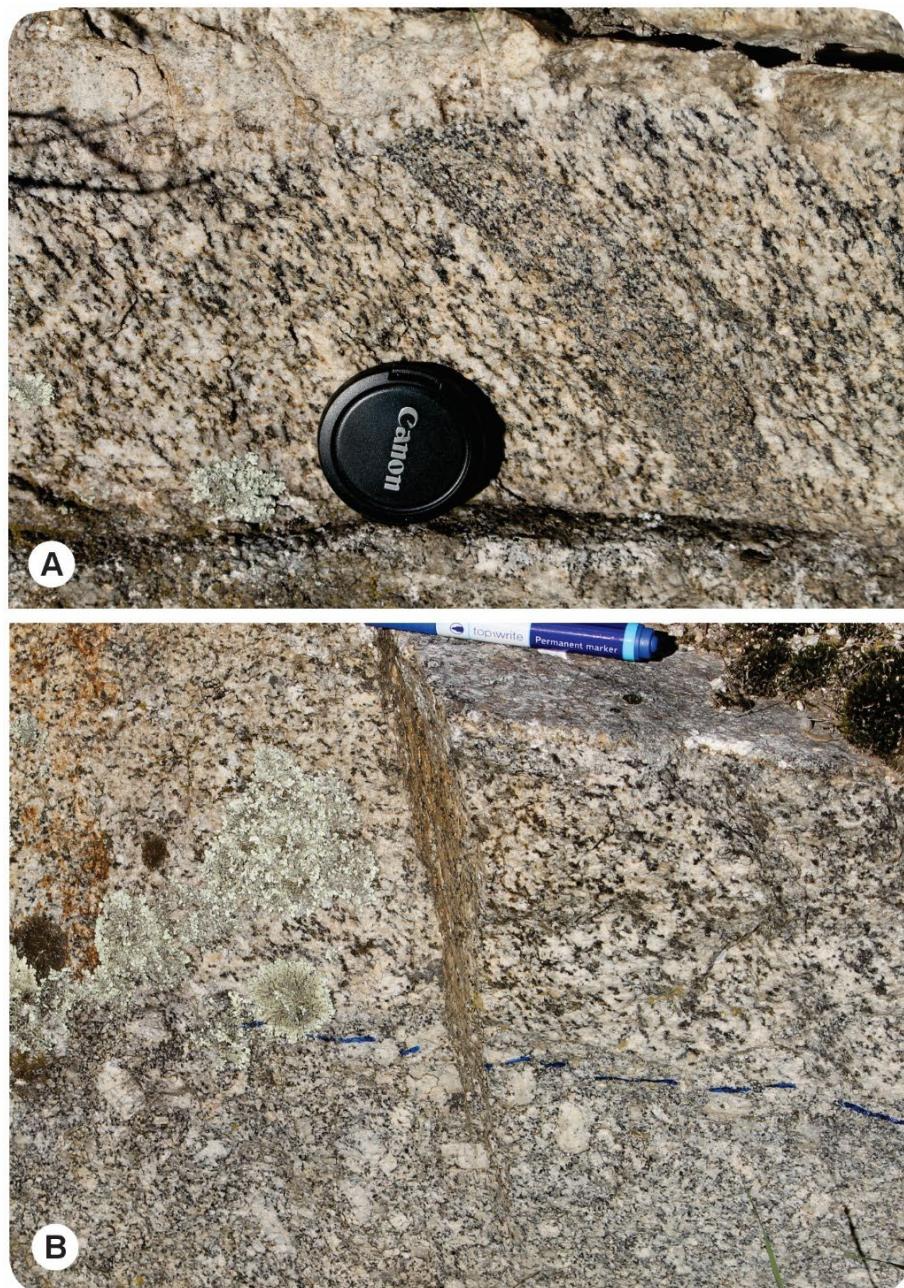


figura 54

(A) Paragem 1_ponto de interesse 1 (miradouro do Alto São Bento; parque de estacionamento). Rocha granítica com foliação tectónica compósita (fabric S-C) muito inclinada e definida pelo alinhamento dos minerais máficos e de um encrave microgranular máfico; a foliação é cortada por um dique granítico aplito-pegmatítico (topo); (B) Paragem 1_Ponto de interesse 2 (miradouro do Alto São Bento; parque de estacionamento). Contacto brusco entre duas rochas graníticas (a tracejado azul): uma rocha granítica com foliação muito inclinada (topo) cortada por uma rocha granítica porfirítica sem foliação e onde se individualizam fenocristais de grande dimensão de feldspato (base)

PARAGEM 2 (MIRADOURO DO ALTO SÃO BENTO)



figura 55

(A) Paragem 2_Ponto de interesse 1 (miradouro do Alto São Bento; parque de estacionamento). (A) Contacto brusco entre duas rochas graníticas: um dique pouco inclinado de uma rocha granítica com textura aplítica a pegmatítica (topo) a cortar uma rocha granítica porfirítica mesocrata sem foliação e onde se individualizam fenocristais de grande dimensão de feldspato (base); (B) Paragem 2_Ponto de interesse 2 (miradouro do Alto São Bento; parque de estacionamento). Rocha granítica porfirítica sem foliação, onde se identificam fenocristais de grande dimensão de feldspato, que está cortada por vários diques pouco inclinados e de diferentes espessuras de rocha granítica com textura aplítica a pegmatítica

PARAGEM 3 (MIRADOURO DO ALTO SÃO BENTO)

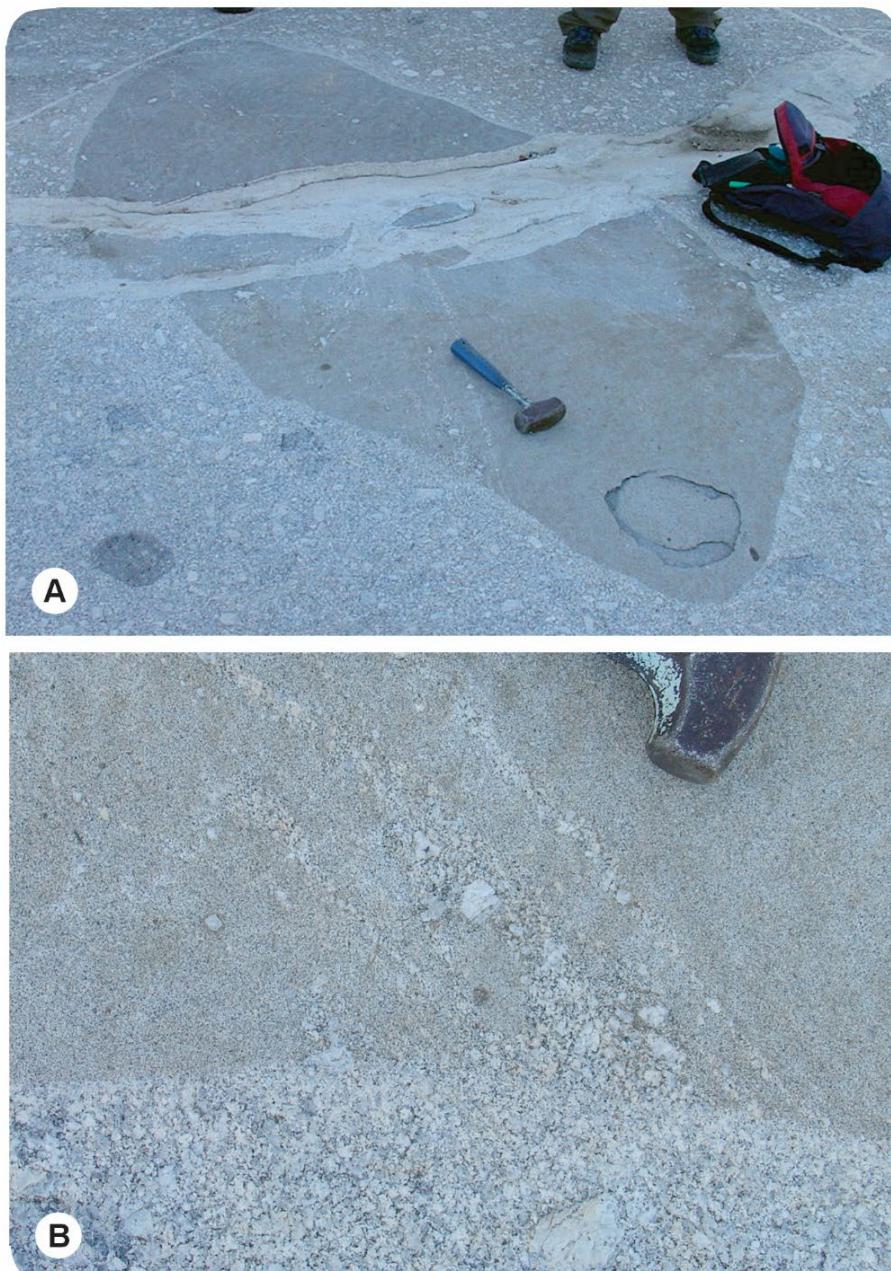


figura 56

(A) Paragem 3_Ponto de interesse 1 (miradouro do Alto São Bento; na proximidade dos moinhos). Encrave máfico microgranular (autólito) alongado, de grande dimensão e com bordo bem definido (brusco), rodeado por uma rocha granítica porfirítica, encontrando-se ambos cortados por diques de rocha granítica aplítica a pegmatítica; (B) Paragem 3_Ponto de interesse 2 (miradouro do Alto São Bento; moinhos). Pormenor do encrave microgranular descrito na Paragem 3_Ponto_interesse 1, onde se observam veios de rocha granítica porfirítica a invadir o encrave

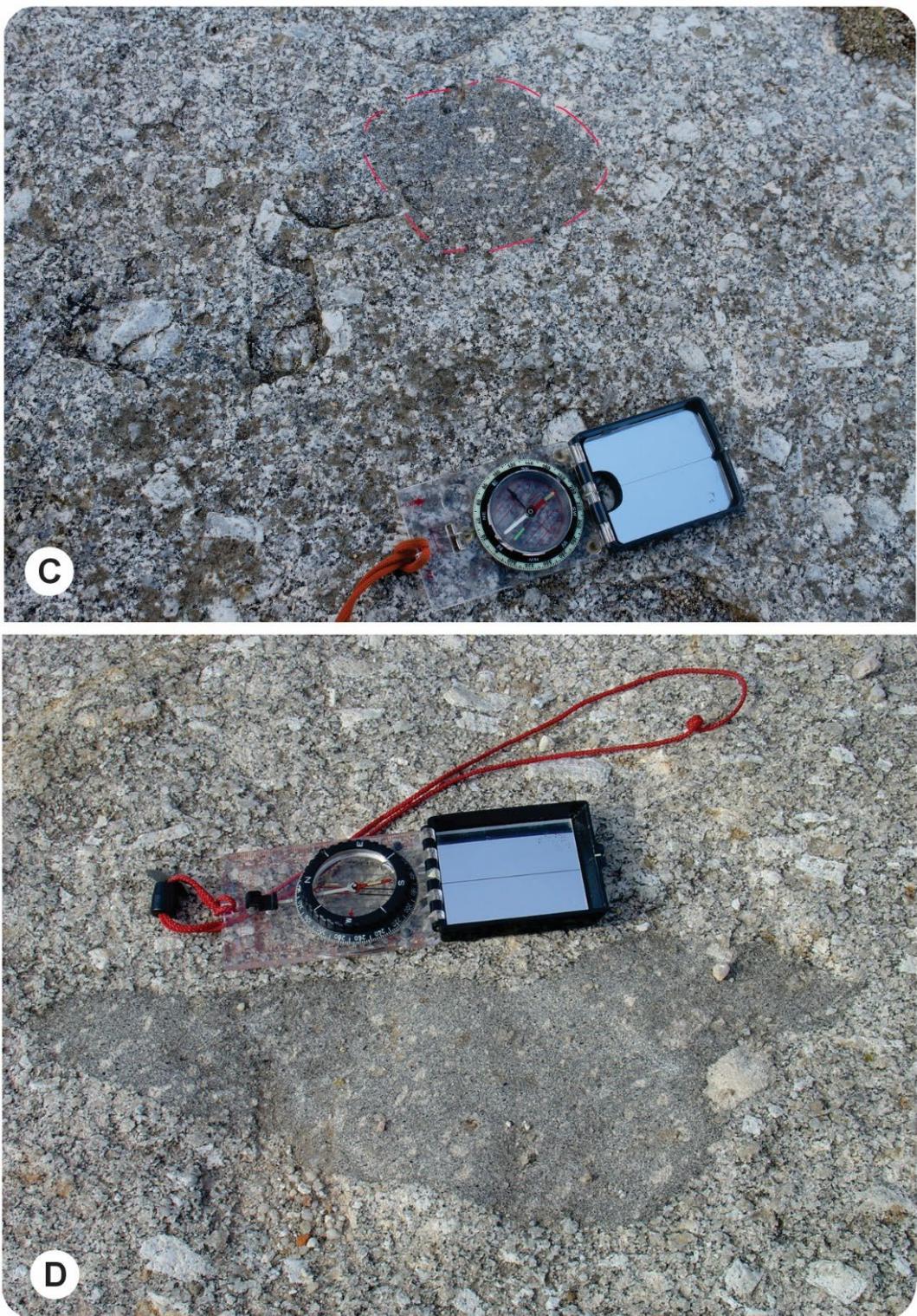


figura 56 (continuação)

(C) Paragem 3_Ponto de interesse 3 (miradouro do Alto São Bento; na proximidade dos moinhos). Encrave máfico microgranular (autólito) arredondado, de pequena dimensão e com bordo mal definido (gradual), rodeado por uma rocha granítica porfirítica; (D) Ponto de interesse 4 (miradouro do Alto São Bento; moinhos). Encrave máfico microgranular (autólito) com forma irregular, alongado e com bordo bem definido (brusco), rodeado por uma rocha granítica porfirítica. O encrave deflete em redor de um fenocristal de grande dimensão (no extremo direito do encrave)



figura 56 (continuação)

(E) Paragem 3_Ponto de interesse 5 (miradouro do Alto São Bento; na proximidade dos moinhos). Encrave de grande dimensão de rocha granítica foliada/gnaisse (xenólito) com bordo bem definido (brusco), rodeado por uma rocha granítica porfirítica, ambos cortados por veios de rocha granítica aplítica apegmatítica; (F) Paragem 3_Ponto de interesse 6 (miradouro do Alto São Bento; moinhos). Pormenor do bordo do encrave de rocha granítica foliada/gnaisse (xenólito) descrito na Paragem 3_Ponto de interesse 5, que está rodeado por uma rocha granítica porfirítica não foliada

PARAGEM 4 (MIRADOURO DO ALTO SÃO BENTO)

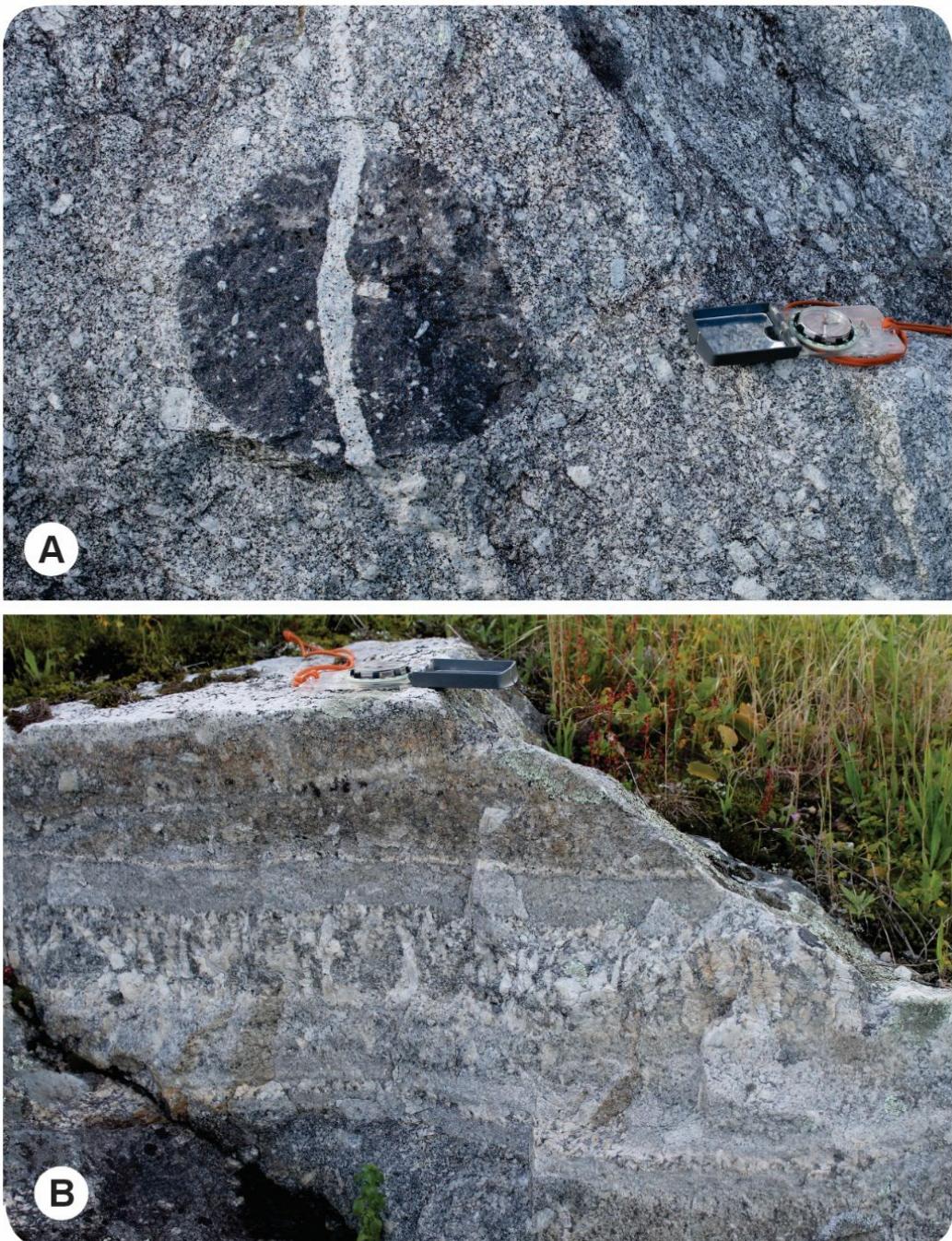


figura 57.

(A) Paragem 4_Ponto de interesse 1 (miradouro do Alto São Bento; estrada para o Mosteiro de São Bento de Castris). Encrave máfico microgranular com fenocristais de feldspato alcalino, similares aos observados na rocha granítica porfirítica não foliada que o rodeia; ambos são cortados por um dique de leucogranito; (B) Paragem 4_Ponto de interesse 2 (miradouro do Alto São Bento; estrada para o Mosteiro de São Bento de Castris). Dique pouco inclinado de rocha granítica com textura aplítica a pegmatítica a cortar rocha granítica porfirítica não foliada. Note-se no pegmatito o crescimento de grandes cristais (fenocristais) com orientação preferencial e perpendicular à parede do dique

PARAGEM 5 (MIRADOURO DO ALTO SÃO BENTO)



figura 58

(A) Paragem 5_Ponto de interesse 1 (miradouro do Alto São Bento; estrada para o Mosteiro de São Bento de Castris). Dique pouco inclinado de rocha granítica com textura aplítica a cortar rocha granítica foliada/gnaisse. Note-se o contacto discordante entre o aplito não deformado e a rocha granítica com foliação definida pelo alinhamento preferencial dos minerais máficos; (B) Paragem 5_Ponto de interesse 2 (miradouro do Alto São Bento; estrada para o Mosteiro de São Bento de Castris). Dique pouco inclinado de rocha granítica com textura aplítica a fanerítica média a cortar a rocha granítica foliada/gnaisse, com foliação muito inclinada, definida pelo alinhamento preferencial dos minerais máficos

PARAGEM 6 (MIRADOURO DO ALTO SÃO BENTO)



figura 59

(A) Paragem 6_Ponto de interesse 1 (miradouro do Alto São Bento; estrada para o Mosteiro de São Bento de Castris). Rocha gabro-diorítica/gnaisse com foliação muito inclinada, definida pela alternância de bandas mais máficas e mais félsicas, cortada por um veio de rocha granítica (lado esquerdo); (B) Paragem 6_Ponto de interesse 2 (miradouro do Alto São Bento; estrada para o Mosteiro de São Bento de Castris). Pormenor da rocha gabro-diorítica metamorfizada e deformada, com foliação inclinada. A rocha melano-mesocrática foliada é invadida por veios irregulares leucocráticos (rocha granítica), localmente dobrados e onde se reconhece a orientação preferencial dos minerais máficos segundo a foliação envolvente

6. GEOPERCURSO DO PÓLO DA MITRA (VALVERDE)

O Pólo da Mitra, que está localizado a cerca de 12 km da cidade de Évora, junto a Valverde (Latitude: 38°31'48.78"N; Longitude: 8°15'20"W), inclui uma associação de diferentes tipos de rochas metamórficas que são cortadas por rochas ígneas plutónicas. Neste local, definiu-se um geopercurso com dez paragens e vinte e dois pontos de interesse, distribuídos pela ribeira de Valverde e pelas imediações dos edifícios do polo da Mitra. Neste geopercurso é possível conhecer *in-situ* a geodiversidade da região de Évora (limite entre o bloco a muro e a teto do Doma gnaissico de Évora): rochas metamórficas onde se incluem migmatitos, gnaisses, anfibolitos, micaxistos, mármore calco-silicatados e rochas graníticas (figura 60).

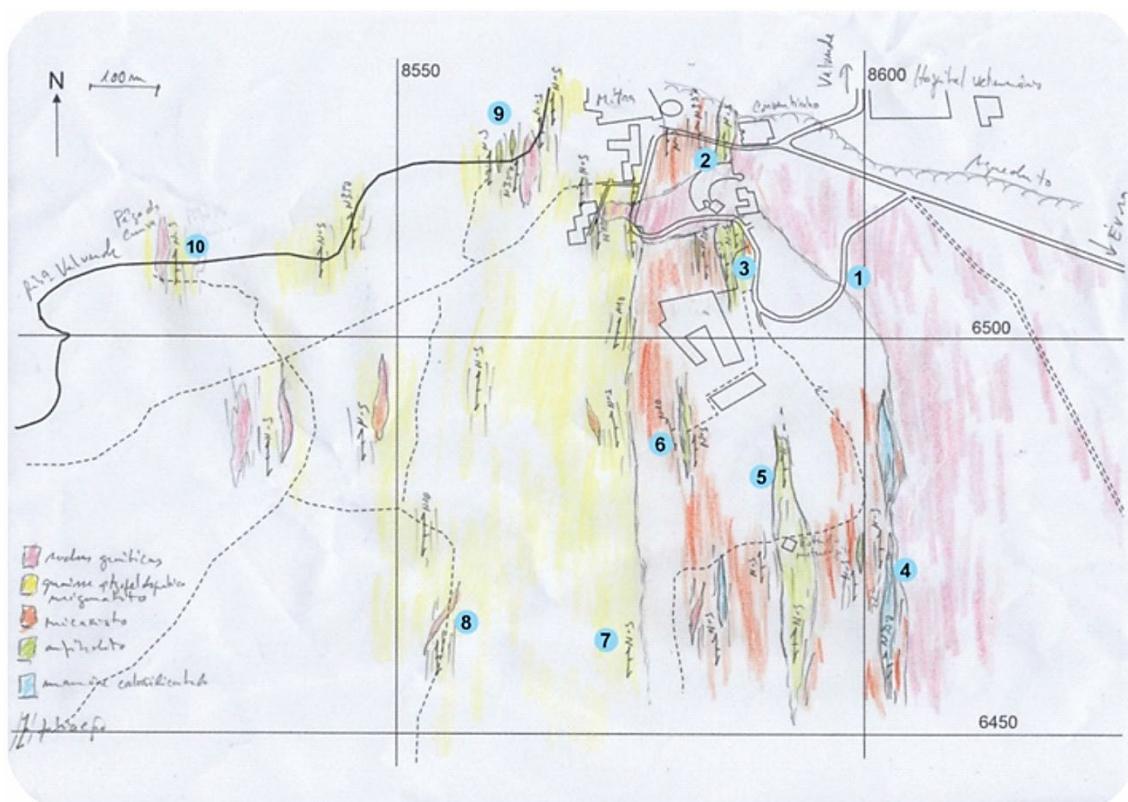


figura 60

Minuta de campo com dados da cartografia geológica de rochas metamórficas e plutónicas do Polo da Mitra e Ribeira de Valverde, e localização dos pontos de interesse (círculos azuis), definidos para o geopercurso do polo da Mitra (Valverde)

PARAGEM 1 (PÓLO DA MITRA)



figura 61

(A) Paragem 1_Ponto de interesse 1 (polo da Mitra). Afloramento de granodiorito com textura fanerítica grosseira-média não foliada; (B) Paragem 1_Ponto de interesse 2 (polo da Mitra). Detalhe do contacto entre o granodiorito e um encrave máfico com textura fanerítica relativamente mais fina

PARAGEM 2 (PÓLO DA MITRA)

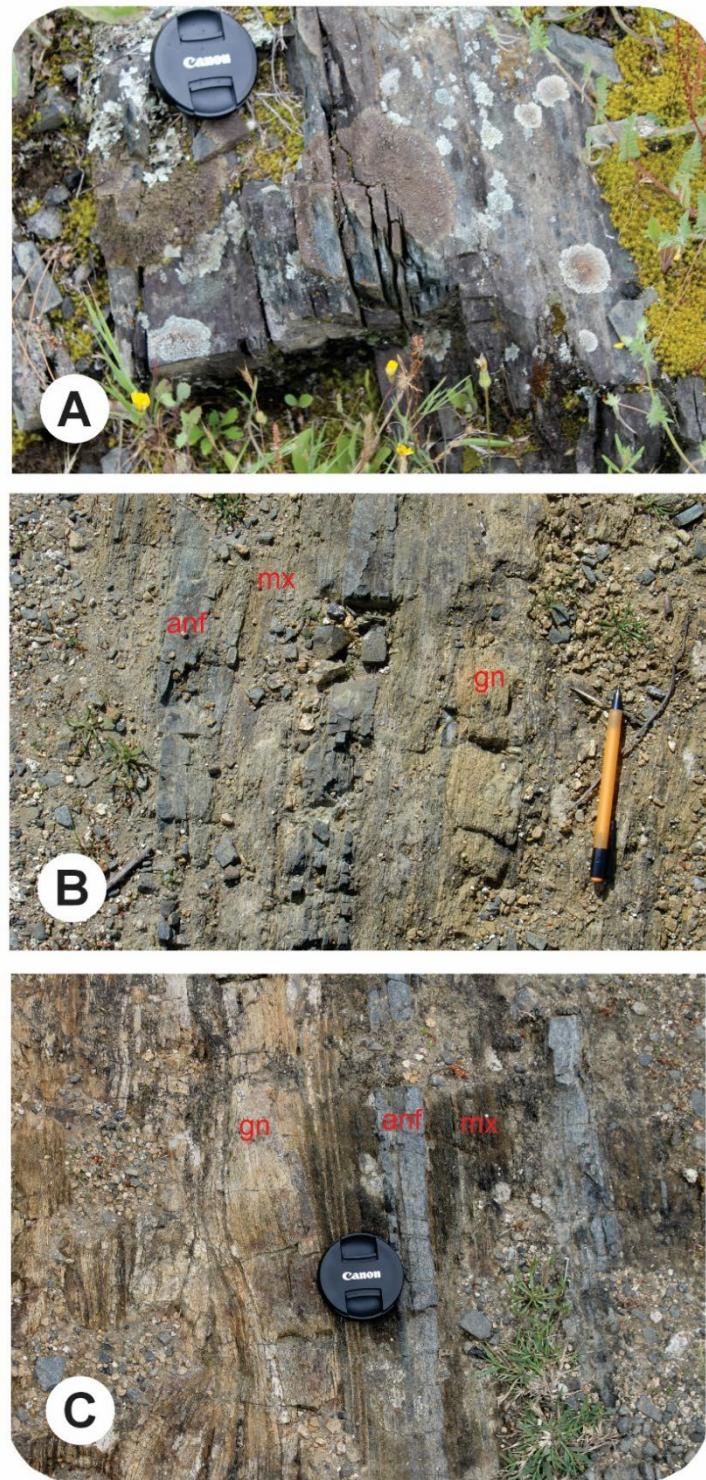


figura 62

(A) Paragem 2_Ponto de interesse 1 (polo da Mita). Anfibolito de grão fino com foliação muito inclinada; (B) Paragem 2_Ponto de interesse 2 (polo da Mita). Intercalação de bandas de anfibolito de grão fino (anf, lado esquerdo) e de gnaisse felsico (gn, lado direito) em micaxisto (mx); (C) Paragem 2_Ponto de interesse 3 (polo da Mita). Intercalação de bandas de anfibolito de grão fino em micaxisto (lado direito) em contacto com gnaisse felsico (lado esquerdo); todas as rochas metamórficas aqui observadas têm a foliação muito inclinada

PARAGEM 3 (PÓLO DA MITRA)

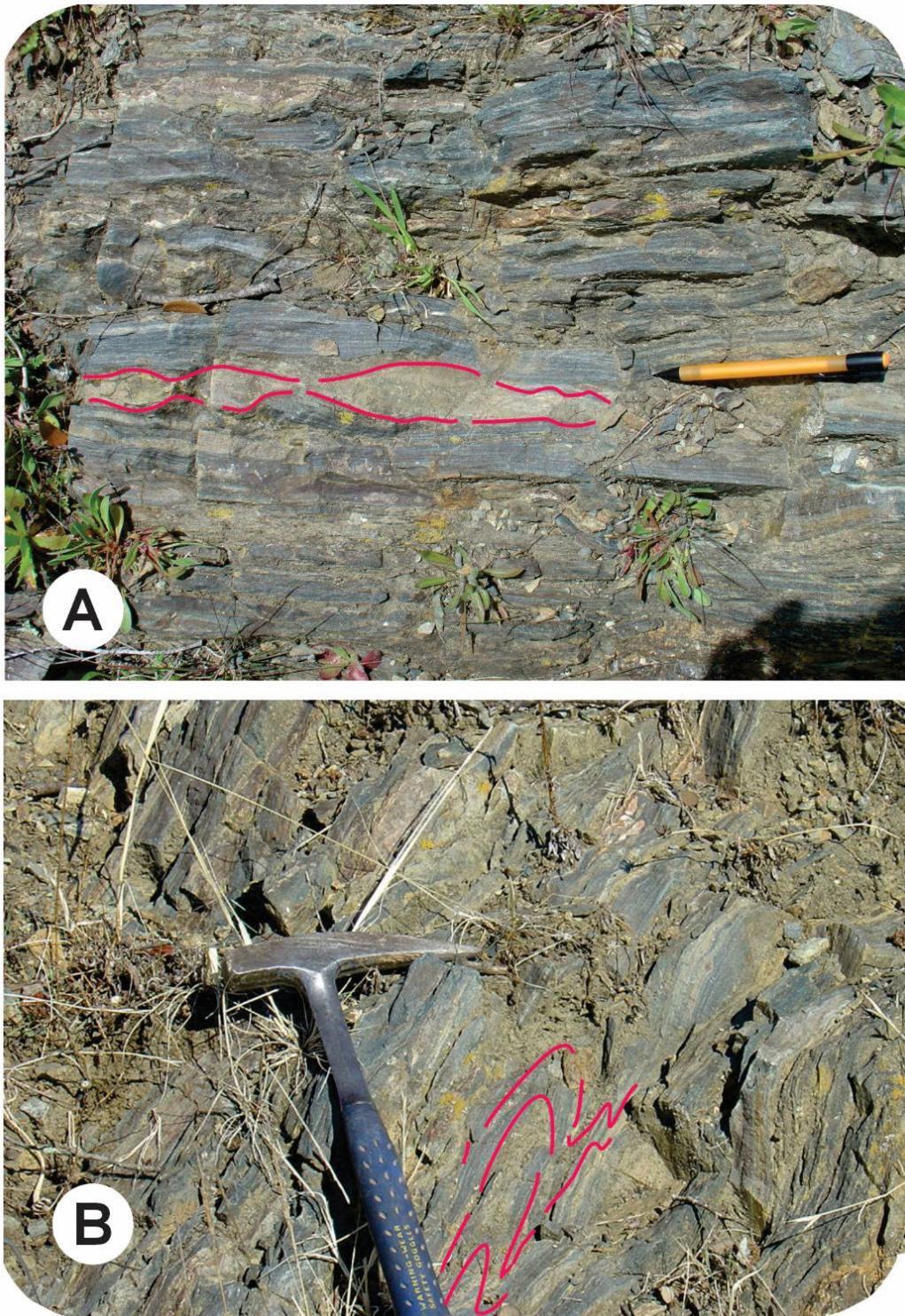


figura 63

(A) Paragem 3_Ponto de interesse 1 (polo da Mitra). Anfibolito de grão fino com bandas mais claras ricas em epídoto e granada, que se apresentam estiradas e a formar boudins; (B) Paragem 3_Ponto de interesse 2. (polo da Mitra). Anfibolito de grão fino com bandas mais claras ricas em epídoto e granada, que se apresentam dobradas, com plano axial paralelo à foliação muito inclinada

PARAGEM 4 (PÓLO DA MITRA)



figura 64

(A) Paragem 4_Ponto de interesse 1. (polo da Mita). Mármore calco-silicatado com bandas de diferente composição (cor) a definir a foliação. Reconhecem-se granadas a crescer em agregados que são paralelos à foliação e outras que cresceram sobre a foliação; (B) Paragem 4_Ponto de interesse 4.2. (polo da Mita). Pormenor de um fenocristal euédrico de granada que cresceu sobre a foliação muito inclinada dos mármore calco-silicatados, onde cresceram agregados de granada

PARAGEM 5 (PÓLO DA MITRA)

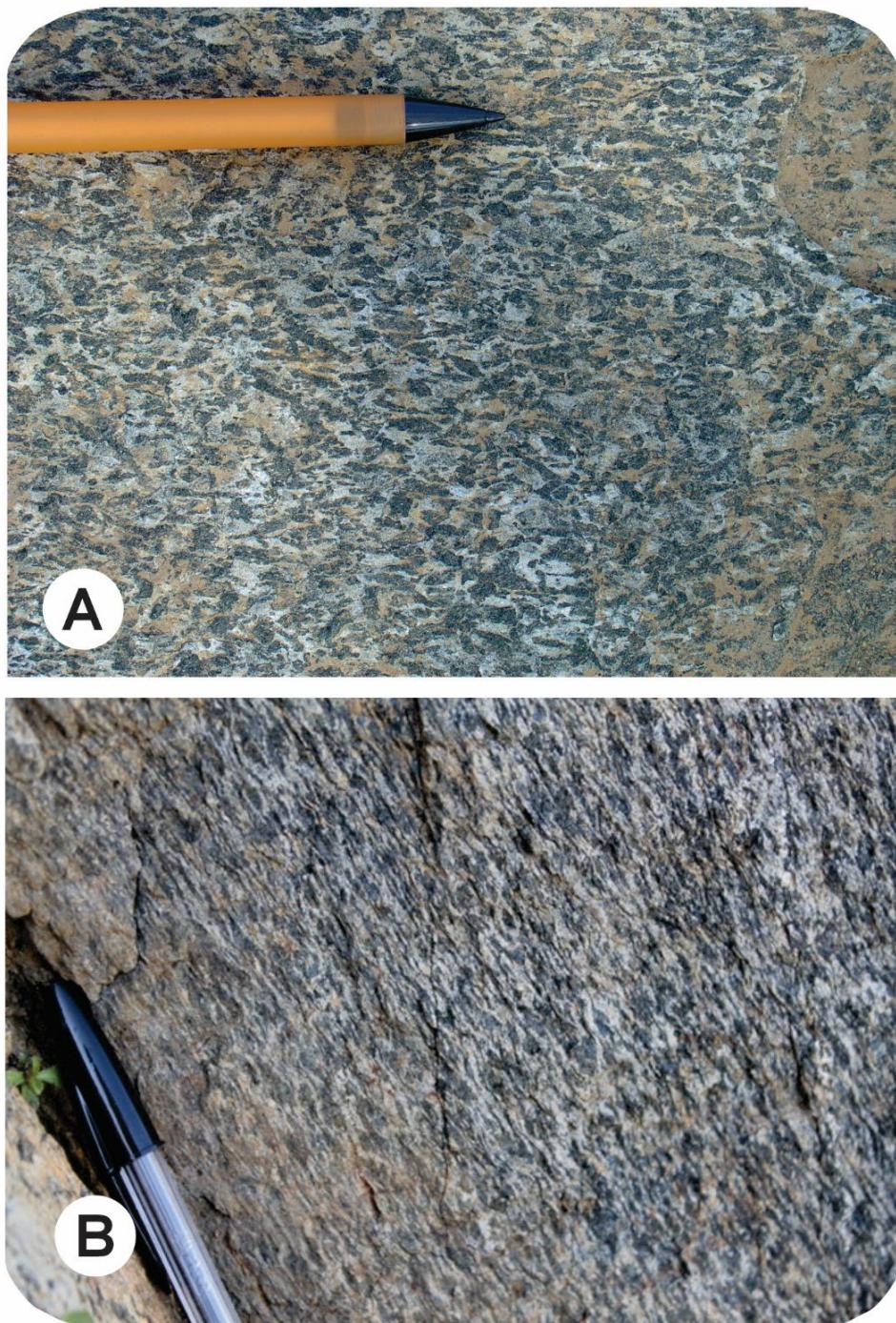


figura 65

(A) Paragem 5_Ponto de interesse 1 (polo da Mitra). Anfibolito com textura grosseira (superfície paralela à foliação); (B) Paragem 5_Ponto de interesse 2 (polo da Mitra). Anfibolito com textura grosseira, onde na superfície perpendicular à foliação, se observa o desenvolvimento de uma foliação tectónica compósita (fabric S-C)

PARAGEM 6 (PÓLO DA MITRA)



figura 66

(A) Paragem 6_ Ponto de interesse 1 (polo da Mita). Intercalação de bandas de anfibolito, onde se reconhecem bandas mais claras com epídoto, em micaxisto. Observam-se dobras muito apertadas com plano axial paralelo à foliação muito inclinada; (B) Paragem 6_Ponto de interesse 2 (polo da Mita). Intercalação de bandas de anfibolito em micaxisto

PARAGEM 7 (PÓLO DA MITRA)

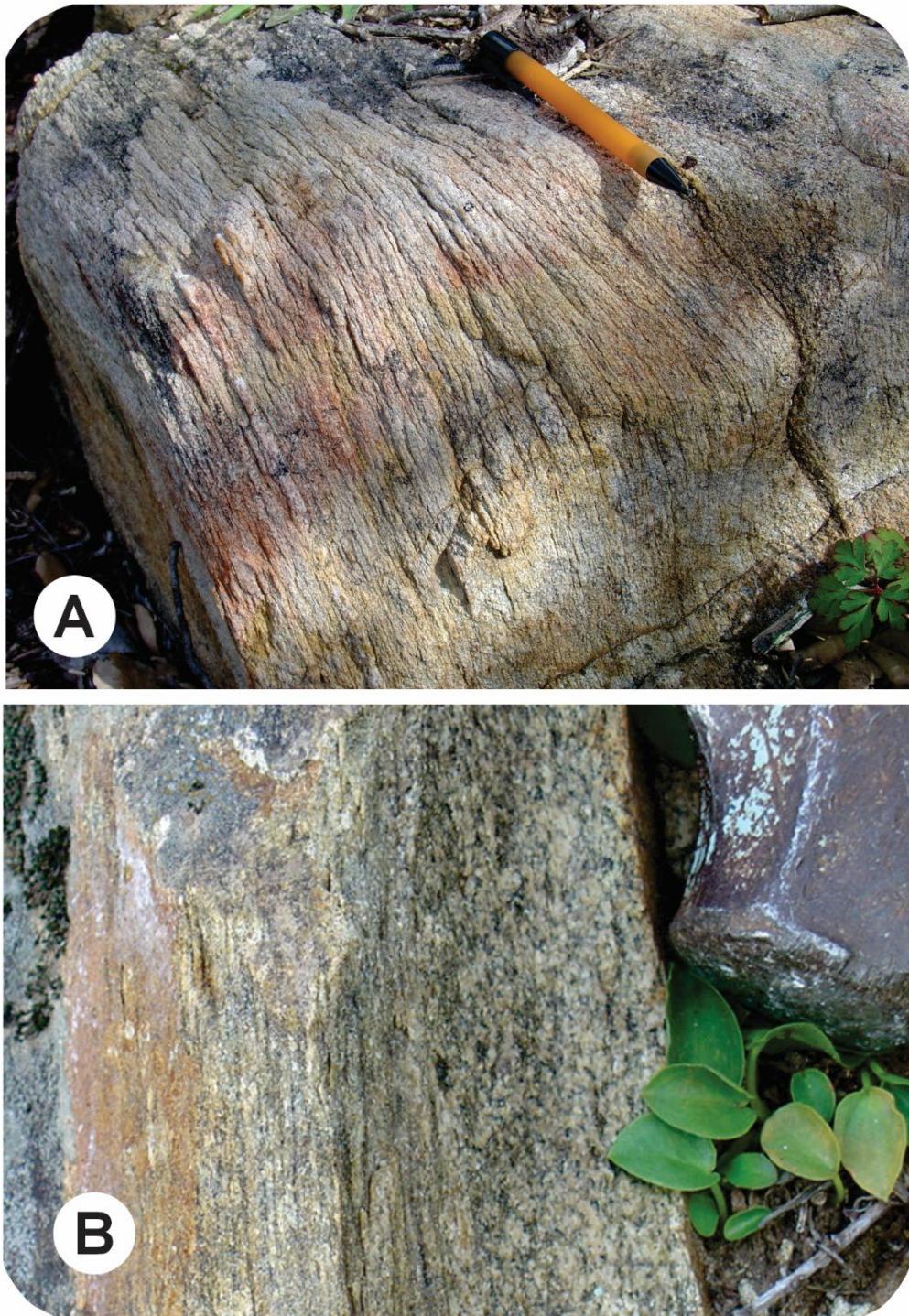


figura 67

(A) Paragem 7_Ponto de interesse 1 (polo da Mitra). Gnaisse/gnaisso-migmatito com foliação muito inclinada, onde se reconhecem veios de leucossoma; (B) Paragem 7_Ponto de interesse 2 (polo da Mitra). Gnaisse/Gnaisso-migmatito com foliação muito inclinada, onde se reconhece a diminuição do grão por efeito da deformação (cisalhamento simples) que decorreu durante o metamorfismo de alta-grau (elevada temperatura e baixa pressão)

PARAGEM 8 (PÓLO DA MITRA)



figura 68

(A) Paragem 8_Ponto de interesse 1 (polo da Mita). Foliação do gnaisso-migmatito está cortada por um dique de rocha granítica com textura pegmatítica; (B) Paragem 8_Ponto de interesse 2 (polo da Mita). Pormenor do Gnaisso-migmatito onde se reconhecem veios de leucossoma paralelos à foliação, dobrados com planos axiais paralelos à foliação e ainda, discordantes relativamente à foliação

PARAGEM 9 (PÓLO DA MITRA)

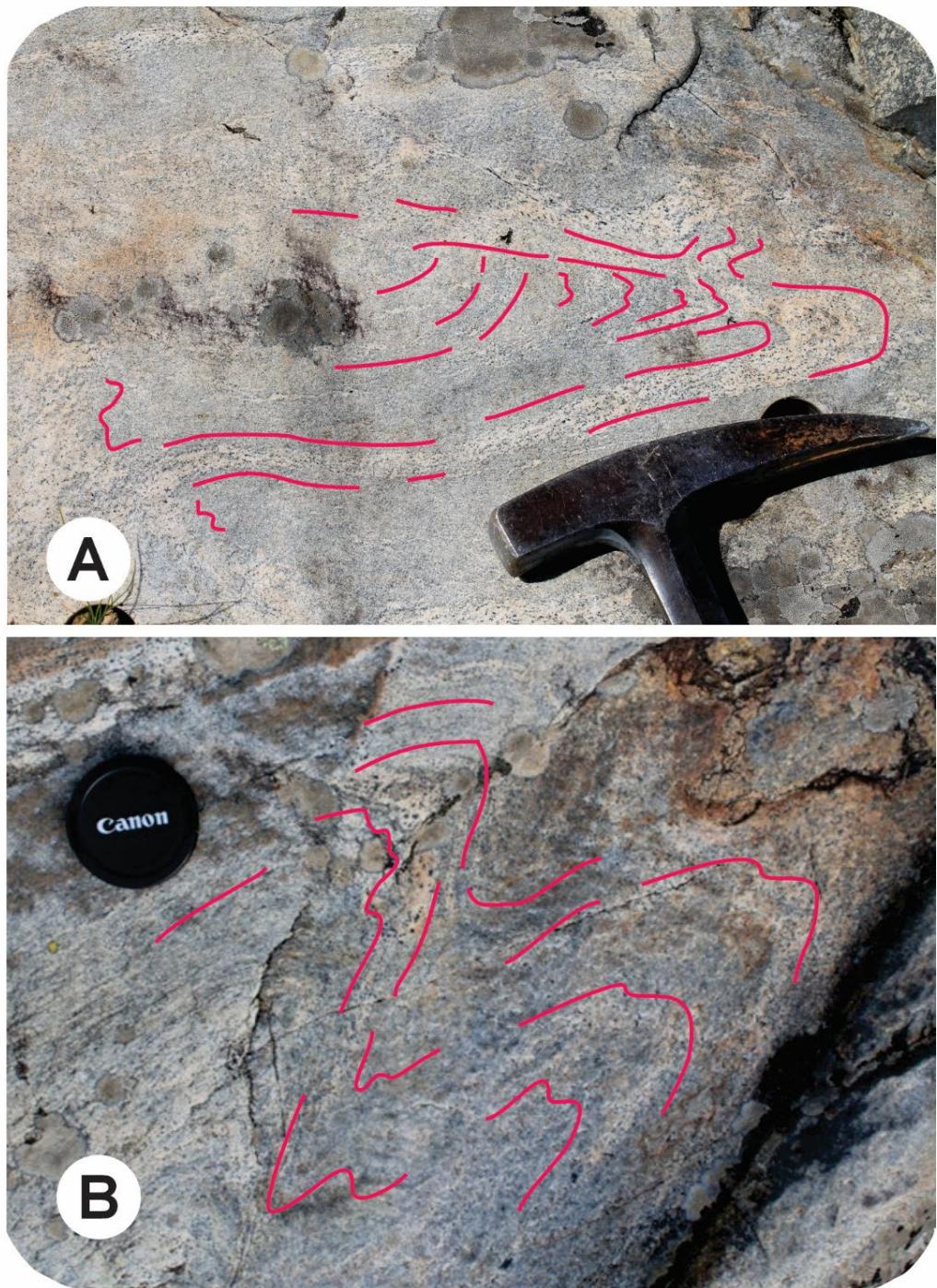


figura 69

(A) Paragem 9_Ponto de interesse 1 (polo da Mitra, ribeira de Valverde). Gnaisso-migmatito com bandas de leucossoma paralelos à foliação, discordantes e dobrados; (B) Paragem 9_Ponto de interesse 2 (polo da Mitra, ribeira de Valverde). Gnaisso-migmatito com bandas de leucossoma deformadas com desenvolvimento de dobras

PARAGEM 10 (PÓLO DA MITRA)

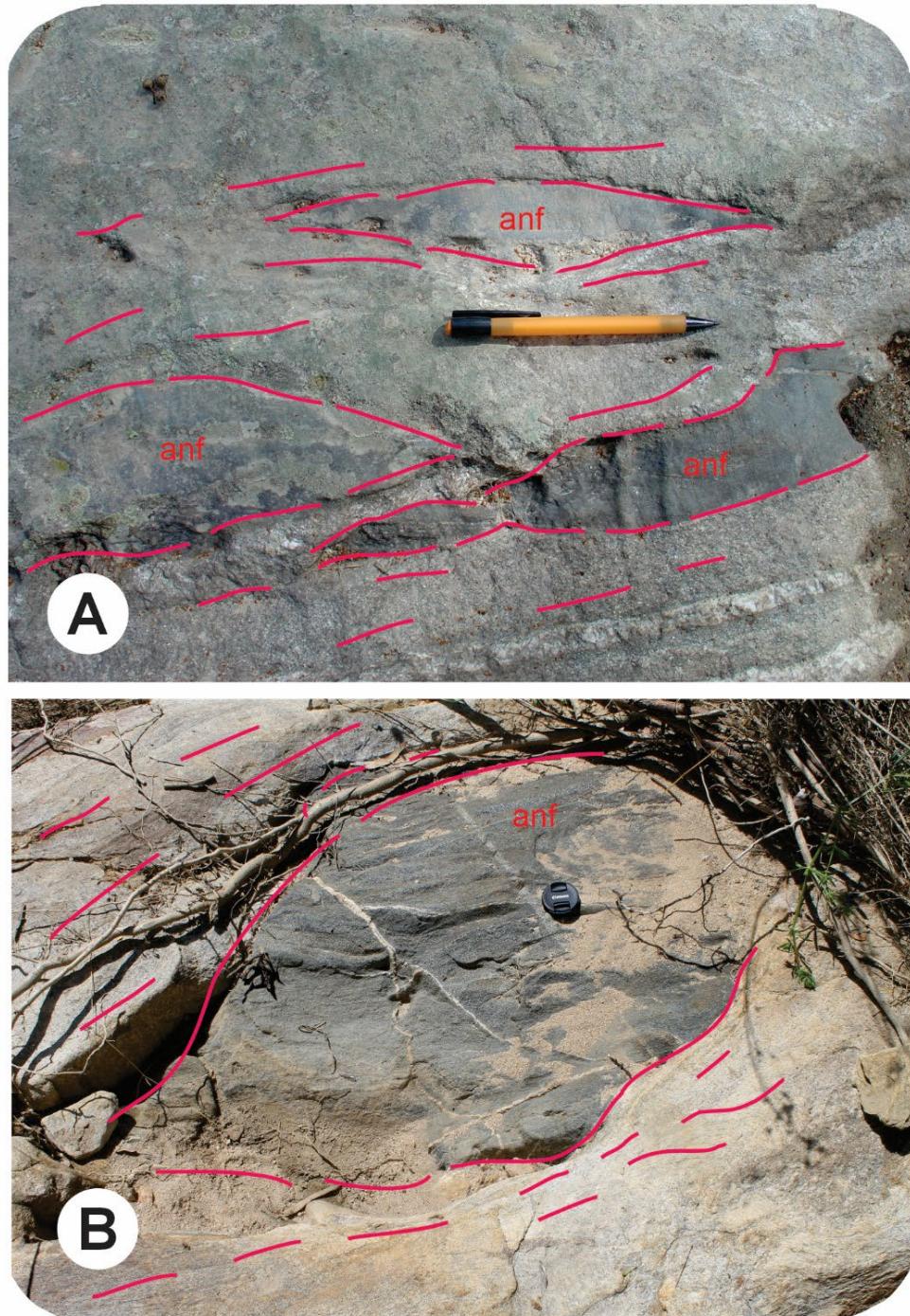


figura 70

(A) Paragem 10_Ponto de interesse 1 (polo da Mitra, ribeira de Valverde). Boudins de anfibolito de granularidade fina, alongados segundo a foliação do gnaisso-migmatito circundante, onde se reconhecem veios de leucossoma; (B) Paragem 10_Ponto de interesse 2 (polo da Mitra, ribeira de Valverde). Boudin de anfibolito grosseiro, com geometria elipsoidal e cortado por veios de leucossoma, rodeado pela foliação do gnaisso-migmatito circundante

7. ATIVIDADE DE ENSINO-APRENDIZAGEM SOBRE A GEODIVERSIDADE DA MURALHA DE ÉVORA

No âmbito da comemoração do Dia Mundial da Terra foi realizada no mês de abril de 2025 uma atividade interativa de ensino-aprendizagem sobre a geodiversidade das muralhas da cidade de Évora com a participação de alunos do 11º ano de escolaridade da Escola Secundária Severim de Faria (Évora).

A preparação dos conteúdos interativos que serviram de base para esta atividade de ensino-aprendizagem foi realizada através da versão gratuita da ferramenta informática *genially* (genially.com).

A plataforma online *genially* permitiu criar conteúdos interativos e animados de forma simples e intuitiva, os quais proporcionaram momentos de aprendizagem mais aliciantes e dinâmicos. Através de várias funcionalidades como botões interativos, pop-ups, animações e questionários, foi possível criar um geopercorso com 5 paragens nas muralhas da cidade de Évora, o qual estimulou a participação ativa dos alunos.

Ao longo do geopercorso pelas muralhas de Évora foram identificadas 5 paragens com diferentes pontos de interesse (máximo de três) onde os alunos, divididos em grupos, observaram diferentes tipos de rochas ígneas plutónicas e de rochas metamórficas, procedendo a descrição das texturas, da composição mineralógica, do índice de cor e, ainda, de estruturas primárias (foliação magmática) e secundárias (foliação tectónica e dobras).

Para acompanhar o geopercorso foi introduzido um mapa interativo da cidade de Évora com a localização das 5 paragens, e que foi sendo atualizado à medida que as paragens eram realizadas. A atividade de ensino-aprendizagem teve a duração estimada de 120 minutos, sempre com o acompanhamento dos monitores.

Quando os participantes iniciaram a aplicação tiveram contacto com uma breve introdução com esquemas e algum texto descritivo sobre onde, quando e porque é que se formaram as rochas ígneas plutónicas e rochas metamórficas de Évora.

Em cada uma das 5 paragens, foi apresentada uma breve descrição em texto, na forma de pop-ups, acompanhado de fotografias dos blocos de rocha da muralha de Évora que foram selecionadas para os participantes realizarem as observações.

Em cada paragem foram realizados questionários, com respostas optativas, que desafiaram os participantes a aplicar conhecimentos sobre a identificação de rochas ígneas plutónicas e metamórficas e, ainda sobre a interpretação dos processos geológicos que lhes deram origem.



figura 71

Atividade de ensino-aprendizagem sobre a geodiversidade da muralha de Évora, nas comemorações do Dia Mundial da Terra (abril 2025), disponibilizando conteúdos interativos e animados usando a ferramenta informática *genially*

De modo a tentar aumentar o entusiasmo na participação foi criada uma pequena competição saudável entre os grupos de participantes, através da contabilização das respostas certas ou erradas.

Com esta abordagem inovadora, os alunos contactaram diretamente com a geodiversidade da região de Évora, no meio em que se insere a sua Escola, e que está exposta na muralha desta cidade. Esta atividade de ensino-aprendizagem permitiu que os participantes aplicassem e testassem os conhecimentos adquiridos sobre as rochas ígneas plutónicas e rochas metamórficas (incluídos nos manuais escolares), e desenvolvessem as suas competências digitais, de observação crítica e de trabalho em equipa.

7.1. ATIVIDADE DE ENSINO-APRENDIZAGEM _INTRODUÇÃO



Sabias que...

A Muralha de Évora preserva uma história geológica com centenas de milhões de anos ?

Vem descobrir!

Powered by genially

Antes de mais...

Sabes onde estás?

À

Powered by genially

Uma viagem ao passado...

Reconstrução paleogeográfica do Carbonífero quando se formou o supercontinente Pangeia

Tempo geológico (Ma)

- Paleozoico
- Período Permiano
- Caronífero
- Devónico
- Silúrico
- Oostíssico
- Cambriano

Oceano Rhei praticamente fechado

346-335 Ma

Laurussia

Ibérica

Gondwana

Ordógeno - Variscos

Subducção de litosfera oceanica (Oceano Paleotethys)

Zona de sutura (Oceano Rhei)

Gondwana

Arco magmático continental

Subducção litosfera oceanica (Oceano Paleotethys)

Adesgamento da litosfera continental

B

Powered by genially

As rochas ígneas plutónicas e as rochas metamórficas expostas na muralha da cidade, formaram-se no interior da crosta continental do supercontinente Pangeia.

Classificação das rochas ígneas plutónicas

Quartzo

Feldspato Alcalino

Plagioclase

Granito

Grano-diorito

Tornolito

Quartzo diorito

Diorito Gabbro

Reduz a percentagem de plagioclase e aumenta a percentagem de quartzo

Reduz a percentagem de feldspato alcalino e aumenta a percentagem de quartzo

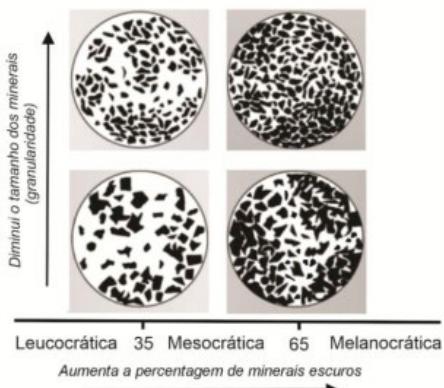
Aumenta a percentagem de plagioclase e diminui a do feldspato alcalino

A

Powered by genially

Classificação das rochas ígneas plutónicas

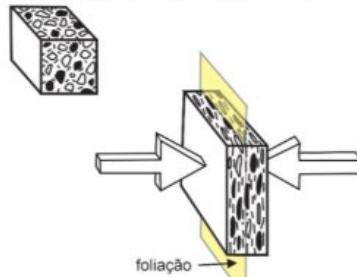
As **rochas ígneas plutónicas** também podem ser classificadas com base no **índice de cor**.



E a foliação?

As rochas graníticas podem ser sujeitas a **deformação dúctil**, que altera a sua **textura original**.

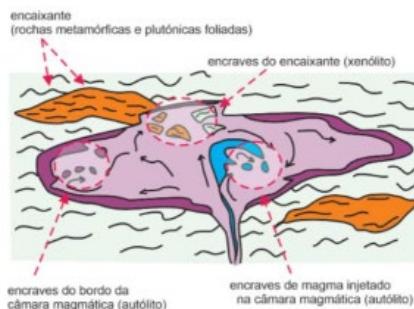
A rocha não deformada ductilmente (sem orientação preferencial dos minerais)



B rocha deformada ductilmente (com orientação preferencial dos minerais)

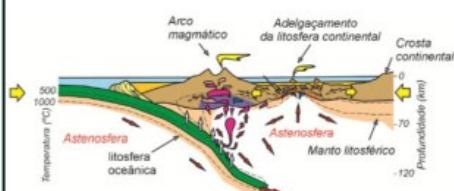
Encraves? O que são?

Os **encraves** presentes na rochas plutónicas podem ter essencialmente **três tipos** de origem.



Migmatitos

São **rochas metamórficas** que se formam em condições de **metamorfismo regional**.



Migmatitos

Vulcanismo e sedimentação à superfície da crosta continental

Crosta continental

Manto litosférico

Astenosfera

Plutonismo e metamorfismo regional de alta temperatura e baixa pressão no interior da crosta continental e do manto litosférico; as rochas metamórficas são sujeitas a fusão parcial e formam-se as rochas migmatíticas, com um bandão composicional definido pela alternância de bandas de leucossoma e bandas de melanossoma.

leucossoma dominante

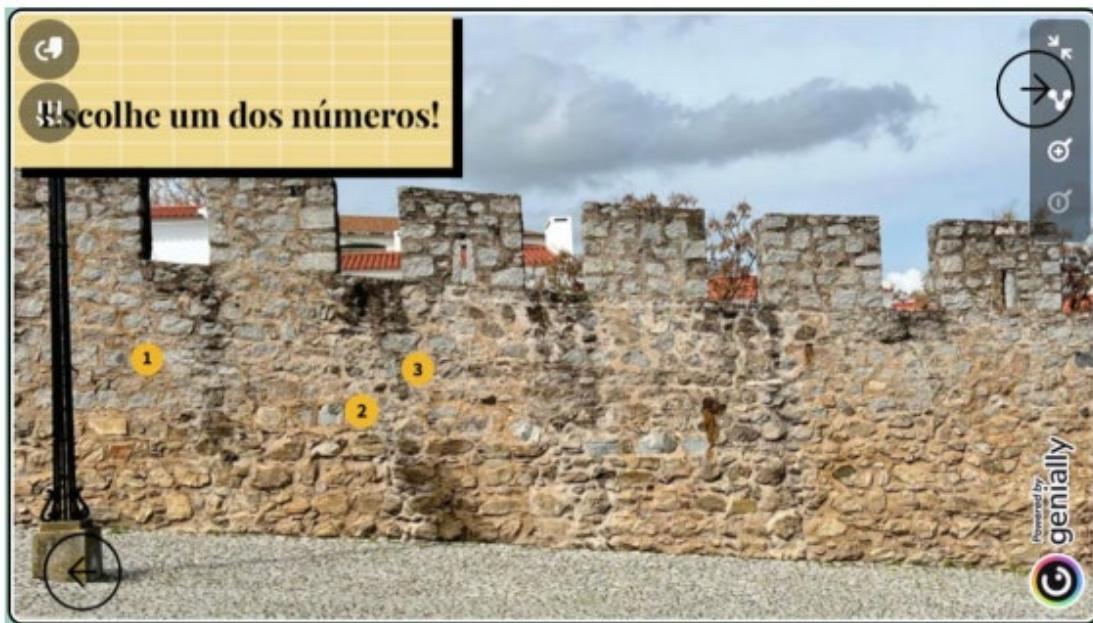
melanossoma dominante

Roda o teu telemóvel!

Agora que terminámos esta pequena introdução...

Vamos passar à prática ?

7.2. ATIVIDADE DE ENSINO-APRENDIZAGEM_PARAGEM 1



!colhe um dos números!

GRANODIORITO



Amostra com textura fanerítica grosseira. Apresenta um encrave máfico com forma elipsoidal e com fenocristais de feldspatos no seio de uma matriz fanerítica média a fina.

Powered by genially

!colhe um dos números!

Granito

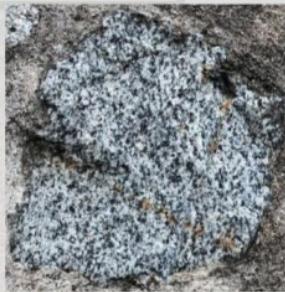


Amostra com textura fanerítica média a fina. Ao contrário do encrave da amostra anterior, este apresenta foliação e textura fanerítica grosseira.

Powered by genially

!colhe um dos números!

Tonalito



Também designado por quartzdiorite, apresenta textura fanerítica grosseira e foliação.

Powered by genially

Questão 1/3



Escolhe a opção mais correta

A amostra 1 apresenta textura fannerítica mais grosseira que a rocha granítica mesocrática encaixante que o rodeia

Na amostra 1, o encrave leucocrático com forma oval apresenta a mesma textura fannerítica que a rocha granítica melanocrática que o envolve

Na amostra 1, o encrave melanocrático em forma oval apresenta textura fannerítica mais fina que a rocha granítica mesocrática encaixante que o rodeia

Powered by genially

Enviado

Questão 2/3



Escolhe a opção mais correta

A amostra 2 apresenta textura fannerítica mais fina que a rocha leucocrática não deformada que o rodeia

Na amostra 2, o encrave de rocha mesocrática foliada apresenta textura fannerítica mais grosseira que a rocha leucocrática não deformada que o rodeia

Na amostra 2, o encrave de rocha leucocrática não foliada apresenta textura fannerítica mais grosseira que a rocha leucocrática não deformada

Questão 3/3



Escolhe a opção mais correta

A amostra 3 representa uma rocha granítica com textura fannerítica fina com foliação

A amostra 3 representa uma rocha granítica com textura fannerítica grosseira com foliação vertical

A amostra 3 representa uma rocha granítica com textura fannerítica grosseira com foliação horizontal

Powered by genially

Enviado

Stop 1 terminado!

Vamos ao próximo?



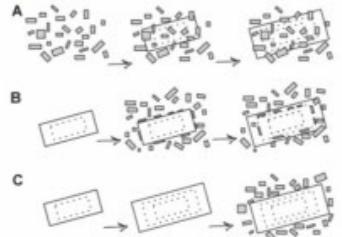
7.3. ATIVIDADE DE ENSINO-APRENDIZAGEM_PARAGEM 2

The image shows two screenshots of a digital activity. The left screenshot displays the title "GEODIVERSIDADE da Muralha de Évora" and "PARAGEM 2" with a "START" button. Below the title is a photograph of a stone wall. The right screenshot shows a yellow box with the text "Bem-Vindo de volta!" and a descriptive paragraph about observing different igneous and plutonic rocks with various textures and mineralogical compositions. Both screenshots include a "Powered by genially" logo at the bottom.





Questão 1/3



Escolhe a opção mais correta

tamanho presentes na matriz são posteriores ao fenocristal

O núcleo do fenocristal é anterior ao crescimento dos cristais de pequeno tamanho presentes na matriz. As inclusões de cristais de pequeno tamanho estão orientadas paralelamente às faces do núcleo do fenocristal

O fenocristal começa a crescer depois do crescimento dos cristais de pequeno tamanho presentes na matriz

Powered by genially



Questão 2/3



Escolhe a opção mais correta

A amostra 2 representa uma rocha gabro-diorítica, melanocrática, com textura fannerítica grosseira a média com foliação vertical

A amostra 2 representa uma rocha gabro-diorítica, mesocrática, com textura fannerítica fina não deformada

A amostra 2 representa uma rocha granítica, leucocrática, com textura

Enviado

Powered by genially



Questão 3/3



Escolhe a opção mais correta

dimensões: o quartzo (hialino, acinzentado a esbranquiçado), o feldspato (esbranquiçado e creme), a granada (preta) e a turmalina (avermelhada)

A amostra 3 representa uma rocha granítica com textura pegmatítica, onde se observam cristais de grandes dimensões: o quartzo (hialino, acinzentado a esbranquiçado), o feldspato (esbranquiçado e creme), a granada (avermelhada) e a turmalina (preta).

Enviado

Powered by genially



Stop 2 terminado!

Vamos ao próximo?



Powered by genially



7.4. ATIVIDADE DE ENSINO-APRENDIZAGEM_PARAGEM 3

The image shows two screens from a mobile application. The left screen is titled "GEODIVERSIDADE da Muralha de Évora" and "PARAGEM 3". It features a "START" button and a photograph of a stone wall. The right screen says "Vamos a mais uma paragem?" and describes the third stop as a place to observe different igneous plutonic rocks and metamorphic carbonated rocks. Both screens have a "Powered by genially" logo at the bottom.

GEODIVERSIDADE
da Muralha de Évora

PARAGEM 3

START

Vamos a mais uma paragem?

Nesta terceira paragem vais poder observar diferentes **rochas ígneas plutónicas** mas também vais poder observar rochas **metamórficas** carbonatadas.

The image shows a mobile application screen with a stone wall background. At the top, it says "Escolhe um dos números!" with a magnifying glass icon. Three numbers (1, 2, 3) are marked with yellow circles on the wall. The right side of the screen has navigation icons and a "Powered by genially" logo.

Escolhe um dos números!

1 2 3

Escolhe um dos números!

!!!

Pegmatito granítico



Esta amostra é de uma rocha granítica com textura pegmatítica. A amostra apresenta cristais de grandes dimensões de quartzo hialino, feldspato, mica e turmalina.

Powered by genially

Escolhe um dos números!

!!!

Mármore



Esta amostra representa uma rocha metamórfica, com bandas, onde se observam cristais de calcite de diferentes dimensões.

Powered by genially

Escolhe um dos números!

!!!

Granodiorito com dique



Esta amostra representa uma rocha granodiorítica com textura fanerítica média-grosseira em contacto com um dique de granito de gão fino, que é mais recente.

Powered by genially

Questão 1/3



Escolhe a opção mais correta:

A amostra 1 representa uma rocha granítica com textura pegmatítica, onde se observam cristais de grandes dimensões. Distinguem-se o quartzo (hialino, acinzentado a esbranquiçado), o feldspato (esbranquiçado e creme), a mica branca e a turmalina (preta).

A amostra 1 representa uma rocha gabro-diorítica com textura pegmatítica, onde se observam cristais de grandes dimensões: o quartzo (hialino, acinzentado a esbranquiçado), o feldspato

Powered by genially



Enviado

Questão 2/3



Escolhe a opção mais correta:

A amostra 2 representa uma rocha metamórfica, com bandas, onde se observam cristais de diferentes dimensões. Esta amostra de mármore faz efervesценция com ácido clorídrico porque a reação química faz com que o carbonato de cálcio liberte dióxido de carbono.

A amostra 2 representa uma rocha

Powered by genially



Questão 3/3



Escolhe a opção mais correta

A amostra 3 representa uma rocha granodiorítica com textura fanerítica média-grosseira em contacto com um dique de rocha granítica, que é mais recente, onde se observa uma brusca diminuição do tamanho dos cristais, que são de grande dimensão no bordo e significativamente mais pequenos no centro do dique.

A amostra 3 representa uma rocha granodiorítica com textura fanerítica fina em contacto com um dique de

Powered by genially



Stop 3 terminado!

Vamos ao próximo?



Powered by genially



7.5. ATIVIDADE DE ENSINO-APRENDIZAGEM_PARAGEM 4

GEODIVERSIDADE
da Muralha de Évora

PARAGEM 4

START

Powered by genially

Quase a terminar...

Nesta quarta paragem vais poder observar um **bloco arredondado** de grandes dimensões: um **granodiorito** com **encraves**!

Powered by genially



Questão 1/3

Observa o bloco de rocha e escolhe a opção correta:

estão rodeados por uma rocha granítica com textura fannerítica fina e sem orientação principal dos seus minerais constituintes.

Os encraves têm forma oval, por vezes muito alongada, e estão rodeados por uma rocha granítica com textura fannerítica média-grosseira e com orientação principal dos seus minerais constituintes.

Os encraves têm forma oval, por

Powered by genially



Enviado



Questão 2/3

Observa o bloco de rocha e escolhe a opção correta:

A direção do eixo maior dos encraves mais alongados, está paralela à orientação preferencial dos minerais maficos constituintes da rocha granítica que os rodeia.

A direção do eixo maior dos encraves mais alongados, não está paralela à orientação preferencial

Enviado

Powered by genially



Questão 3/3

Observa o bloco de rocha e escolhe a opção correta:

A direção do eixo maior dos encraves mais alongados é N180°.

A direção do eixo maior dos encraves mais alongados é N40°.

✓ A direção do eixo maior dos encraves mais alongados é N290°.

Powered by genially



Enviado



7.6. ATIVIDADE DE ENSINO-APRENDIZAGEM_PARAGEM 5

The image shows two screens from a mobile application. The left screen is titled 'GEODIVERSIDADE da Muralha de Évora' and 'PARAGEM 5'. It features a 'START' button and a photograph of a stone wall. The right screen is titled 'Por fim...' and contains text about observing metamorphic and granitic rocks. Both screens have a 'Powered by genially' logo at the bottom.

GEODIVERSIDADE
da Muralha de Évora

PARAGEM 5

START

Powered by genially

Por fim...

Nesta última paragem vais poder observar **rochas metamórficas** e também **rochas graníticas**.

Powered by genially

The image shows a mobile application screen with a stone wall background. A yellow bar at the top says 'Escolhe um dos números!'. Three numbers (1, 2, 3) are placed on the wall. The number 1 is at the bottom right, 2 is in the middle left, and 3 is in the middle right. There are navigation icons at the top and bottom right. A 'Powered by genially' logo is at the bottom right.

Escolhe um dos números!

1

2

3

Powered by genially

Escolhe um dos números!

Migmatito



Esta amostra de Migmatito apresenta **foliação** e **bandado composicional**, possível de identificar através da alternância do **leucossoma** e do **melanossoma**. A amostra é cortada por um **dique granítico** de textura fanerítica fina a média.

genially

Escolhe um dos números!

Migmatito



Esta amostra de Migmatito apresenta veios de leucossoma com espessura milimétrica, intercalados no melanossoma dominante. Ambos apresentam deformação, onde é possível observar dobras muito apertadas com flancos paralelos ou fazendo ângulos pequenos com a foliação.

genially

Escolhe um dos números!

Migmatito

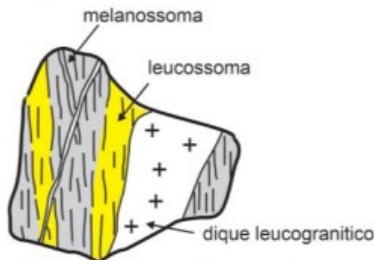


Esta amostra apresenta um **migmatito** com **bandado composicional** (bandas de **leucossoma** e **melanossoma**), dobrado e cortado por um **dique** de rocha granítica.

genially

Questão 1/3

Esquema representativo da amostra 1:



Escolhe a opção mais correta

A amostra 1 representa um migmatito com foliação e bandado composicional vertical definido pela alternância de bandas, de espessura centímetrica, de leucossoma, que se assemelham a uma rocha granítica foliada (gneisse), intercaladas com bandas de melanossoma, similares a um micaxisto. O bandado/foliação do migmatito está cortado por um dique de rocha granítica leucocrática com textura fanerítica fina-média.

Powered by genially



Enviado

Questão 2/3

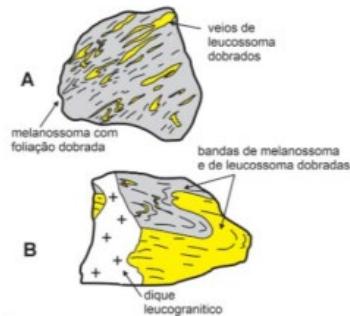


Escolhe a opção mais correta

Muitas apertadas com flancos perpendiculares ou fazendo um grande ângulo com a foliação.

A amostra 2 de migmatito apresenta veios, de espessura milimétrica, de leucossoma que conjuntamente com o melanossoma dominante, estão deformados. Observam-se dobras muito apertadas com flancos paralelos ou fazendo um pequeno ângulo com a foliação.

Questão 3/3



Observa com atenção a ilustração, que representa as amostras 2 e 3 da paragem 5, e escolhe a opção correta:

A primeira etapa da história geológica está relacionada com a formação do bandado composicional do migmatito (metamorfismo), a segunda etapa com o dobramento do bandado composicional do migmatito (deformação) e, a terceira etapa com a intrusão da rocha granítica

Powered by genially



Stop 5 terminado!

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bétard, F., Peulvast, J.-P., (2019). Geodiversity Hotspots: Concept, Method and Cartographic Application for Geoconservation Purposes at a Regional Scale. *Environmental Management* (2019) 63, 822-834.
- Brilha, J., (2005). Património Geológico e Geoconservação: A Conservação da Natureza na sua vertente geológica. *Palimage Editores*, 190p.
- Brilha, J., Pereira, P., (2011). Património Geológico: Geossítios a visitar em Portugal. *Viana & Dias, Lda.*, Universidade do Minho, p.
- Brilha, J., Gray, M., Pereira, D.I., Pereira, P., (2018). Geodiversity: an integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environ Sci Pol* 86, 19-28.
- Carvalhosa, A.B.; Galopim de Carvalho, A. M.; Matos Alves, C. A.; Pina, H. L., 1969, Carta Geológica de Portugal, Notícia explicativa da folha 40-A, Évora, escala 1:50,000, *Serviços Geológicos de Portugal*, 26p.
- Castro, A., (2015). Petrografía de Rocas Ígneas y Metamórficas. *Paraninfo*, 260p.
- da Silva, 2016
- Gray, M., (2008) Geodiversity: developing the paradigm. *Proc Geol Assoc* 119, 287-298.
- Gray M., Gordon J.E., Brown E.J., (2013) Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. *Proc Geol Assoc* 124, 659–673
- Gray, M. (2019). Geodiversity, geoheritage and geoconservation for society. *Int J Geoheritage Parks* 7, 226-236.
- Le Maitre, R.W. (2002). Igneous Rocks. A classification and Glossary of Terms (Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, 236 p., <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511535581>
- Marques da Silva, C., (2016). Fossils, smartphones, geodiversity, internet and outdoor activities: a technological geoeducational bundle. In: Vasconcelos, C (ed), *Geoscience Education Indoor and Outdoor, Science Education*, Springer Verlag, 133-156.
- Marques da Silva, C., (2019). Geodiversity and Sense of Place: Local Identity Geological Elements in Portuguese Municipal Heraldry. *Geoheritage* 11, 946-960.
- Moita, P.; Santos, J.F.; Pereira, M.F., (2009). Layered granitoids: Interaction between continental crust recycling processes and mantle-derived magmatism: Examples from the Évora Massif (Ossa-Morena Zone, southwest Iberia, Portugal): *Lithos*, 111, 3, 125–141, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.02.009>.
- Moita, P.; Santos, J.F.; Pereira, M.F.; Costa, M.M.; Corfu, F., (2015). The quartz-dioritic Hospitais intrusion (SW Iberian Massif) and its mafic microgranular enclaves: Evidence for mineral clustering: *Lithos*, 224– 225, 78–100, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.02.012>.
- Pereira, M.F.; Chichorro, M.; Williams, I.S.; Silva, J.B., (2008). Zircon U-Pb geochronology of paragneisses and biotite granites from the SW Iberian Massif (Portugal): Evidence for a palaeogeographical link between the Ossa-Morena Ediacaran basins and the West African craton, In: Ennih, N., Liégeois, J.-P., (Eds.), *The Boundaries of the West African Craton, The Geological Society of London Special Publication* 297, 385–408, <https://doi.org/10.1144/SP297.18>.
- Pereira, M.F.; Chichorro, M.; Williams, I.S.; Silva, J.B.; Fernández, C.; Díaz-Azpíroz, M.; Apraiz, A.; Castro, A., (2009). Variscan intra-orogenic extensional tectonics in the Ossa-Morena Zone (Évora-Aracena-Lora del Río metamorphic belt, SW Iberian Massif): SHRIMP zircon U-Th-Pb geochronology, In: Murphy, J.B., Keppie, J.D., Hynes, A.J., (Eds.), *Ancient Orogens and Modern Analogues, The Geological Society of London Special Publication* 327, 215–237, <https://doi.org/10.1144/SP327.11>.

Pereira, M.F.; Fuenlabrada, J.M.; Rodríguez, C.; Castro, A., (2022), Changing Carboniferous Arc Magmatism in the Ossa-Morena Zone (Southwest Iberia): Implications for the Variscan Belt. *Minerals*, 12, 597. <https://doi.org/10.3390/min12050597>.

Rodríguez, C.; Pereira, M.F.; Castro, A.; Gutiérrez-Alonso, G.; Fernández, C., (2021). Variscan intracrustal recycling by melting of Carboniferous arc-like igneous protoliths (Évora Massif, Iberian Variscan belt): Geological Society of America Bulletin, <https://doi.org/10.1130/B36111.1>.

Sawyer, E.W., (2008). Atlas of Migmatites. The Canadian Mineralogist Special Publication, p.371

Serrano, E., Ruiz-Flaño, P., (2007). Geodiversity and applied concept. *Geographica Helvetica*, Jg. 62 2007/Heft 3

Sharples, C., (1993). A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for geoconservation purposes. A report to: *The Forestry Commission, Tasmania*, 31p.

Sharples, C., (1995). Geoconservation in forest management: principles and procedures. *Tasforests* 7, 37-50.

Streckeisen, A., (1976). To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*. 12, 1-33.

Thomas, M.F., (2012). A geomorphological approach to geodiversity- Its applications to geoconservation and geotourism. *Quaestiones Geographicae* 31(1), 81-89.

Wolniewicz, P. (2022). Classification and Quantification of Urban Geodiversity and Its Intersection with Cultural Heritage. *Geoheritage* 14, 63.