

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

Neste capítulo aborda-se a deformação evidenciada na região de Abrantes. Tendo em consideração os objectivos do trabalho. Este estudo incide exclusivamente nas deformações pré-mesozóicas, não tendo havido por isso qualquer tentativa de fazer a caracterização das deformações alpinas, caso as hajam. Com base na interferência das estruturas observadas às várias escalas, bem como nos aspectos metamórficos, foi possível individualizar duas fases de deformação dúctil a que se sobrepõem duas mais frágeis, que se passam a descrevem.

8.1. Primeira fase de deformação varisca (D_1); a génese da macrodobra em bainha?

A primeira fase de deformação varisca (doravante designada de D_1) na região de Abrantes apresenta características geométricas e cinemáticas singulares em toda a zona de cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba.

No contexto geral da deformação do Maciço Ibérico, a D_1 regional, constitui o principal evento de deformação. Contudo, na área em estudo, a segunda fase de deformação varisca (daqui para a frente denominada de D_2) é bastante intensa chegando a obliterar, quase completamente a acção da D_1 , principalmente no que diz respeito à sua cinemática. Porém a D_1 aparece bem preservada, quer no seio do granito de Maiorga (mapa estrutural de pormenor em ANEXO C), descrito no capítulo 7 como sendo um granito sin-tectónico, quer nos sectores onde a D_2 é menos intensa.

Para além do anteriormente referido, é possível observar a presença de uma xistosidade associada à D_1 (designada seguidamente por S_1) muito bem marcada, presente em todas as unidades vulcano-sedimentares definidas (*vide* capítulo 7), que é a única estrutura penetrativa a todas as escalas. Esta xistosidade S_1 foi posteriormente afectada pela D_2 , que como foi mencionado atrás obliterar a cinemática da fase anterior.

De forma a sintetizar esta fase de deformação, optou-se por descrever separadamente as estruturas relacionadas com a D_1 nos complexos vulcano-sedimentares das estruturas presentes no granito de Maiorga.

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

Seguidamente apresentar-se-á as características geométricas e cinemáticas visíveis no granito de Maiorga associadas à D_1 .

8.1.1. Granito de Maiorga

8.1.1.1 Análise geométrica

O Granito de Maiorga apresenta claras evidências de uma fase de deformação D_1 , com características geométricas e cinemáticas próprias. Esta fase, como já foi referido anteriormente, apresenta características distintas das descritas para os restantes sectores da zona de cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba, sendo o seu entendimento fulcral para a compreensão desta zona de cisalhamento.

O granito em causa, apresenta uma textura quase gnaissica, com intercalações entre material essencialmente constituído por filossilicatos (biotite e moscovite) e material de natureza quartzo-feldspática (fig. 8.1 A e C). Não raramente, é possível observar a existência de texturas oceladas, sendo os ocelos constituídos por feldspatos (fig. 8.1 C).

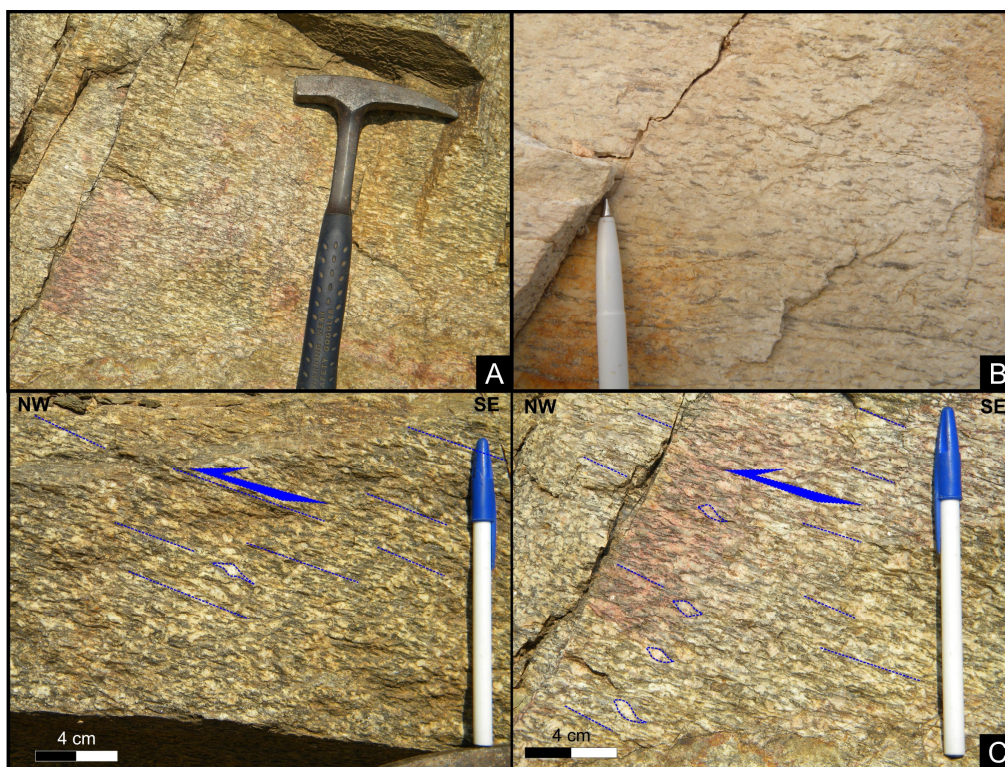


Fig. 8.1 – Características texturais do granito de Maiorga: **A** – bandado gnaissico com textura ocelada, evidenciado pela intercalação de material constituído por filossilicatos e material quartzo-feldspático; **B** – textura milonítica com quartzo em fitas recristalizado; **C** – textura ocelada, com critérios cinemáticos que evidenciam transporte tangencial para o quadrante NW.

Este bandado gnaissico presente no granito apresenta-se levemente inclinado para SE, apresentando uma orientação próxima do NNE-SSW ($N25^{\circ}E$, $30^{\circ}E$; fig. 8.2 B). Associado a este

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

bandado é possível observar uma lineação mineral intensa, bastante bem marcada nos grãos de quartzo que constitui o granito. Esta lineação mineral com atitude média 20°, S42°E (fig. 8.2 A), em conjunto com as estruturas planares anteriormente descritas, definem assim um *fabric* S-L (fig. 8.3 B), que caracteriza este granito sin-tectónico.

Contudo, pontualmente o *fabric* descrito dá lugar a um *fabric* do tipo L (fig. 8.3 A) bem marcado. Este *fabric* caracteriza-se agora pela ausência da alternância entre os minerais filossicatados com o material quartzo-feldspático, e como tal, à ausência do bandado gnaissico. Este bandado dá então lugar a uma lineação mineral particularmente visível no quartzo, que surge muito alongado. Apesar da diversidade de *fabrics*, do ponto de vista geométrico existe uniformidade no comportamento da lineação mineral, que se mantém mergulhante para SSE.

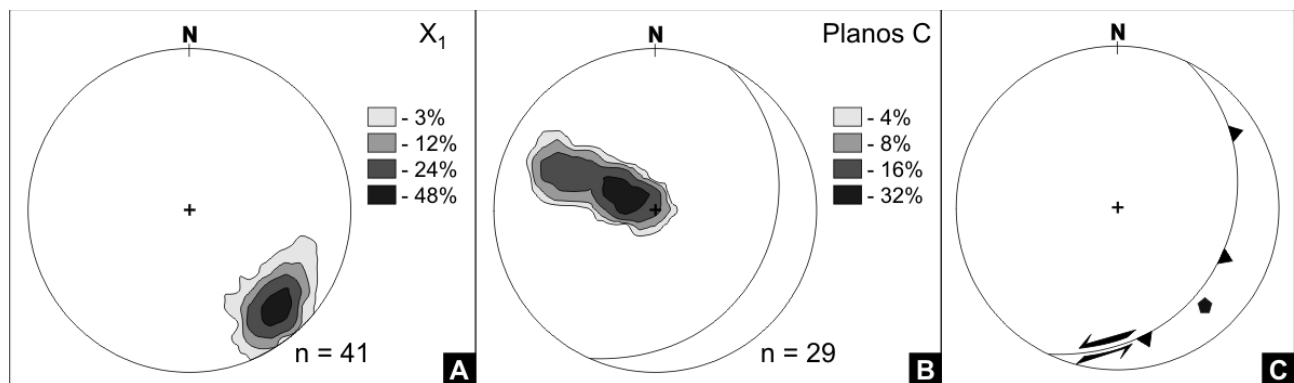


Fig. 8.2 – Projecções estereográficas das estruturas D₁ do granito de Maiorga (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior): **A** – Diagrama de densidade de pontos relativo às lineações de alongamento mineral (atitude média 20°, S42°E); **B** – Diagrama de densidade de pontos relativo aos pólos dos planos de cisalhamento presentes no granito de Maiorga (atitude média N25°E, 30°E); **C** – Projecção dos dados geométricos anteriormente referidos com a respectiva cinemática, que será abordada no ponto 8.1.1.2.

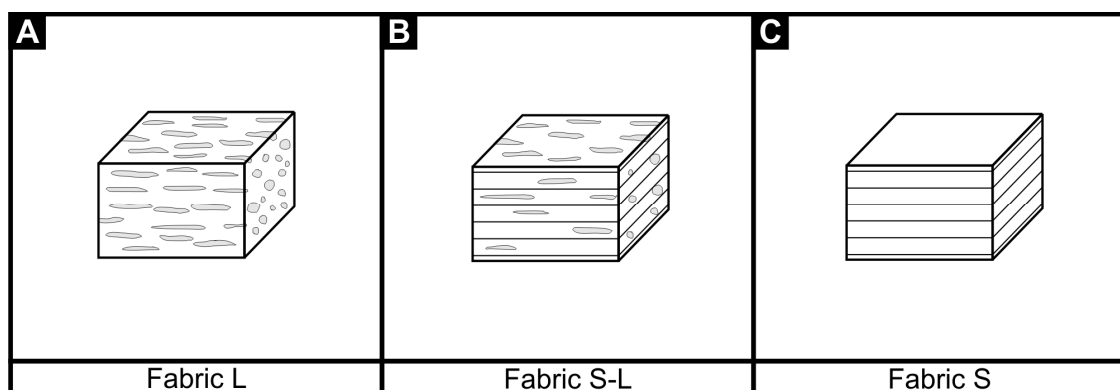


Fig. 8.3 – Representação esquemática de tectonitos do tipo S, L e S-L: **A** – tectonitos do tipo L são caracterizados por apresentar um *fabric* dominado por lineações; **B** – um tectonito do tipo S-L caracteriza-se pela presença de uma foliação e uma lineação igualmente penetrativas; **C** – um tectonito tipo S é caracterizado por uma foliação muito penetrativa e a pela ausência de lineações (adaptado de Davis & Reynolds, 1996).

Este *fabric* L surge espacialmente associado a uma zona de cisalhamento, caracterizada por um *fabric* S-L, com espessura métrica a decimétrica que afecta o granito, e que altera significativamente a sua textura, dando-lhe aspecto de um filonito granítico. É possível observar

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

neste filonito relíquias de feldspato (fig. 8.4 C), no seio de um material de cor acastanhada bastante deformado (fig. 8.4 C4). O que sucede é que a milonitização aumenta de forma progressiva à medida que nos aproximamos do cisalhamento, sendo a mesma muito intensa junto ao mesmo, fazendo com que o *fabric* S-L típico do granito dê lugar a um *fabric* L. Esta zona de cisalhamento apresenta diferenças substanciais relativamente à geometria do bandado do granito anteriormente definido. O cisalhamento apresenta uma direcção NW-SE, muito embora o seu pendor se mantenha baixo, inclinando neste caso para o quadrante NE (fig. 8.4D; N40°W, 31°NE). Associado a este cisalhamento surge uma lineação milonítica bem definida nas bordaduras miloníticas do acidente de atitude 20°, S44°E (fig. 8.4 D), sendo o mesmo muito semelhante ao observado no bandado gnaissico presente na generalidade do granito (fig. 8.2 A), o que sugere contemporaneidade entre ambas as estruturas.

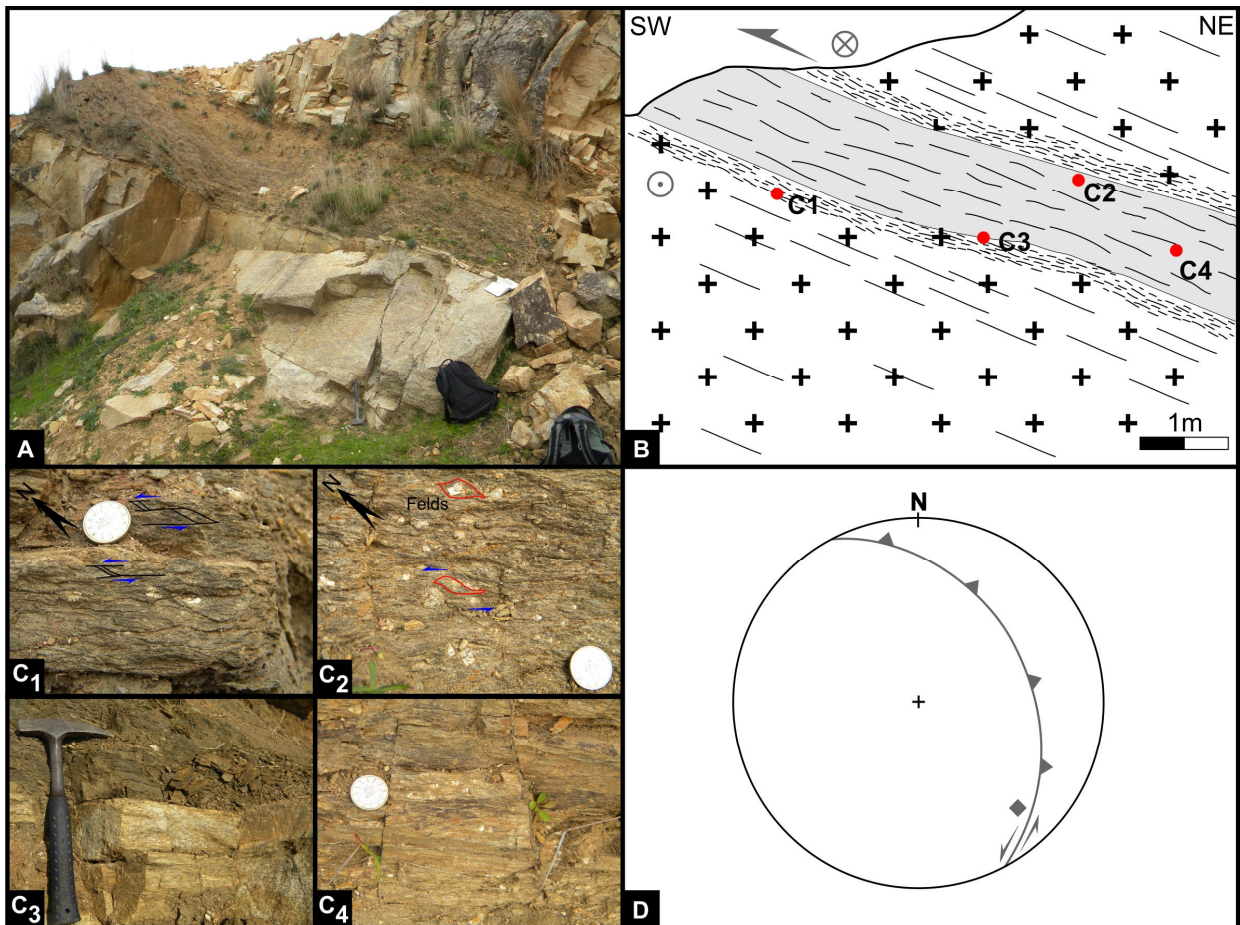


Fig. 8.4 – Zona de cisalhamento presente no granito: **A** e **B** – fotografia e respectiva interpretação de um segmento da respectiva zona; **C**₁, **C**₂ e **C**₄ – aspectos do filonito granítico com presença de critérios cinemáticos mostrando o regime de cisalhamento sinistrógiro (bandas C-C' e sigmóides em relíquias de feldspatos); **C**₃ – aspecto da transição entre o milonito granítico e o filonito; **D** – diagrama mostrando a geometria e cinemática da zona de cisalhamento em causa, que será abordada no ponto 8.1.1.2.

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

8.1.1.2 Análise cinemática

No que respeita à análise cinemática da D_1 no granito de Maiorga, importa desde logo salientar a associação entre a foliação gnaissica e a lineação mineral apresentadas anteriormente (figs. 8.2 A e B). Esta associação estrutural evidencia a presença de uma componente de cisalhamento tangencial que afecta a generalidade do granito com direcção de transporte NW-SE associada a uma pequena componente de desligamento. A presença de uma textura ocelada, com ocelos de feldspatos macroscópicos, denota a presença de transporte tangencial para o quadrante NW (figs. 8.1 C1 e C2). Apoiando os dados macroscópicos, surgem a nível microscópico nos planos contendo filossilicatos, *tectonic mica-fish* denotando o mesmo sentido de transporte (fig.8.5 D). Assim sendo esta componente de transporte para NW associa-se a uma componente menor de cisalhamento de cinemática sinistrógira. Nesta cinemática geral a zona de cisalhamento referida anteriormente (fig. 8.4 A) apresenta um comportamento compatível, podendo ser interpretada essencialmente como uma rampa lateral onde a componente de movimentação transcorrente sinistrógira é dominante (fig. 84D).

Esta componente de transporte tangencial com transporte para NW contrasta de forma acentuada com os restantes sectores da zona de cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba, caracterizada no sector de Portalegre por uma estrutura em flor quilométrica, com uma zona axial verticalizada associada a uma componente de cisalhamento esquerdo dominante, que lateralmente passa a apresentar transporte tangencial para SW e NE, respectivamente nos bordos SW e NE da estrutura (*e.g.* Pereira, 1999; Ribeiro *et al*, 2007 e referências inclusas).

A nível microscópico, observar o bandado gnaissico bem desenvolvido, contornando os cristais de feldspato de grandes dimensões (fig. 8.5 C), denotando também a este nível a textura ocelada do granito em causa. Para além do anteriormente referido, é possível observar a nível microscópico a presença de uma intensa deformação cristalina quer nos cristais de quartzo (fig. 8.5 B) quer nos cristais de feldspato (Fig. 8.5 A).

O comportamento do quartzo à deformação é ainda mal compreendido, devido ao papel que a água desenvolve na deformação (Passchier & Trouw, 2005). A extinção ondulante e a recristalização deste mineral podem ocorrer em condições de temperatura abaixo dos 300°C, o que torna a análise da deformação em quartzo complexa (Passchier & Trouw, 2005). Contudo, a intensa recristalização do quartzo, associado por vezes a um intenso achatamento dos cristais, a presença de fitas de quartzo abundantes, com extinção ondulante do quartzo recristalizado, a quase total ausência de grãos de quartzo não recristalizado e o contorno lobado dos grãos recristalizados, fazem prever que as condições de temperatura durante o processo de deformação tenham sido maiores (possivelmente

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

superiores a 400-500°C; Passchier & Trouw, 2005). As marcas de fluxo e o elevado estiramento exibido por este mineral deixam prever também uma deformação intensa, tendo o granito cristalizado, muito possivelmente, durante o processo de deformação.

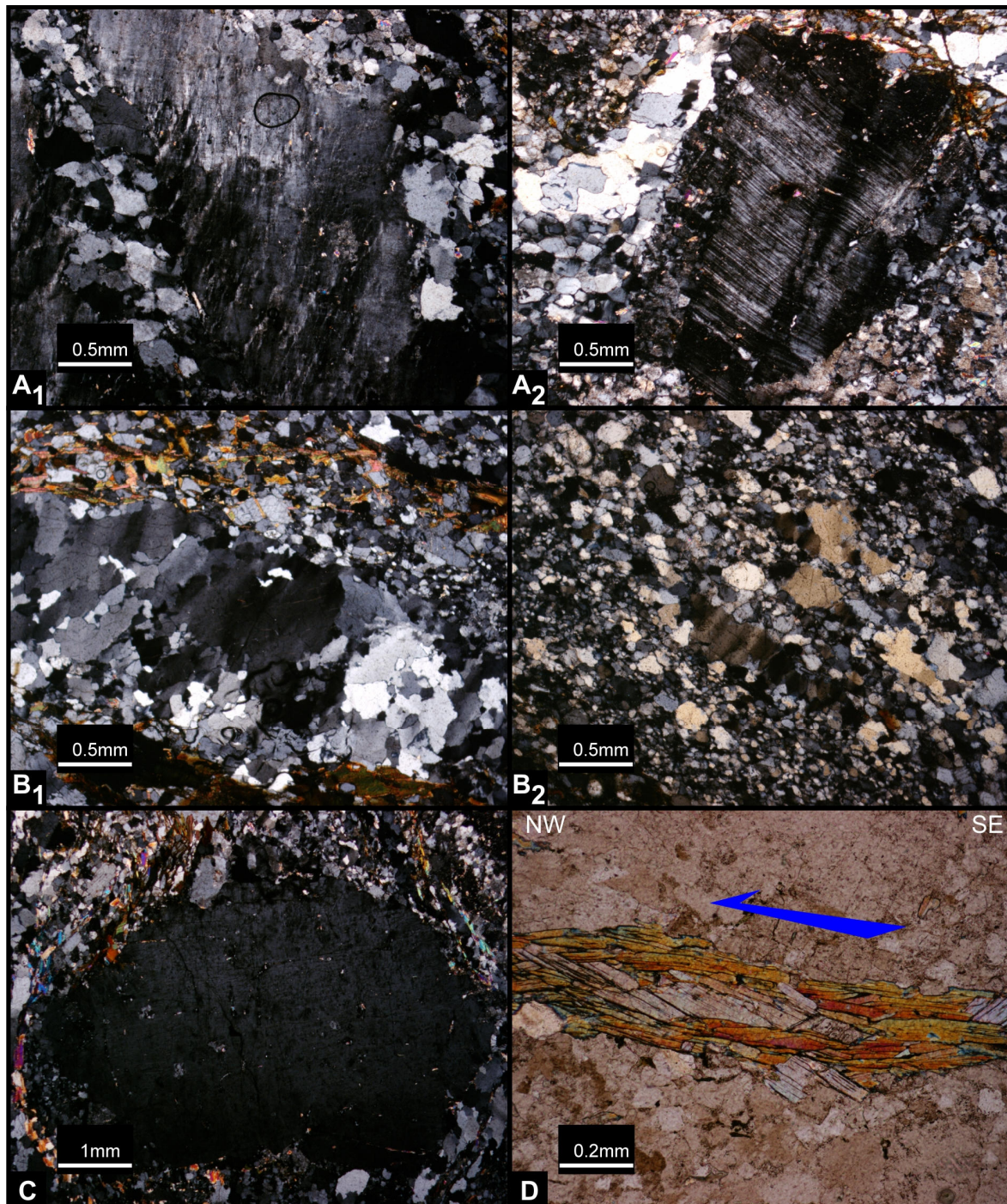


Fig. 8.5 – Aspecto microestruturais do Granito de Maiorga: **A** – Extinção ondulante em feldspatos com recristalização de feldspato de pequenas dimensões nos bordos do feldspato de grandes dimensões, e cristal de feldspato afectado por uma banda *kink* (A₁) (nicóis cruzados); **B** – quartzo dinamicamente recristalizado com extinção ondulante e fitas de quartzo (nicóis cruzados); **C** – cristal de feldspato contornado pela foliação gnaissica desenvolvida no granito (nicóis cruzados); **D** – *tectonic mica-fish* com cinemática de transporte para NW (nicóis a 45°).

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

No caso dos feldspatos, os testes laboratoriais e a observação de feldspatos deformados naturalmente têm mostrado que a sua deformação depende fortemente das condições metamórficas (Passchier & Trouw, 2005). Os autores anteriormente referidos indicam que em condições de baixo grau metamórfico (inferior a 400°C) a deformação se dá essencialmente por cataclase, o que não é o caso no Granito de Maiorga. Com efeito, os cristais de feldspato apresentam-se intensamente deformados, sendo evidente a extinção ondulante e a presença de bandas de deformação *kink* afectando-os (fig. 8.5 A). Os cristais de feldspato exibem também alguma recristalização nos bordos dos cristais de maiores dimensões, com formação de pequenos cristais da mesma natureza mineralógica (fig. 8.5 A e C). Tais características indicam condições de deformação com temperaturas que poderiam rondar o grau intermédio (450-600° C; Passchier & Trouw, 2005).

No que respeita ao acidente associado à intensa milonitização nas bordaduras do mesmo (fig. 8.4A), a sua geometria planar associada à lineação mineral presente revela um regime essencialmente de desligamento. Como foi referido, na proximidade do acidente o *fabric* S-L característico no Granito de Maiorga dá origem a um *fabric* L muito bem marcado (fig. 8.6); este *fabric* L reflecte o intenso estiramento sofrido pelo granito nas proximidades do acidente.

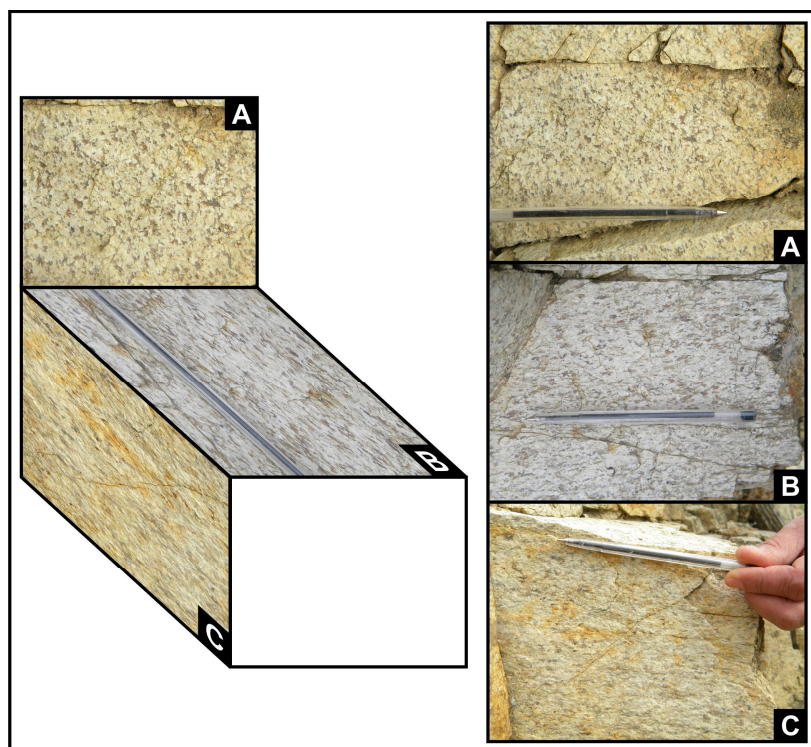


Fig. 8.6 – *Fabric* L associado a uma intensa milonitização presente no granito de Maiorga nas proximidades do acidente sinistrógiro caracterizado na fig. 8.4 A.

Os tectonitos presentes no granito de Maiorga mostram elevadas condições de plasticidade e fluidez alcançadas facilmente durante a intrusão do granito, sugerindo que esta será contemporânea

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

da deformação. Isto justificaria os aspectos texturais do granito, que apresenta um bandado gnaissico cinematicamente activo com transporte para NW, sempre associado a uma lineação de estiramento mineral bastante evidente no quartzo.

No seio do acidente, que apresenta uma foliação intensa, a presença de grãos relíquia de feldspato mostram-nos a presença de um regime sinistrógiro associado ao acidente (fig. 8.4 C₁ e C₂). Para além dos grãos relíquia com formato sigmóide é possível observar também bandas C-C' esquerdas no seio do filonito. Este regime esquerdo é acompanhado de uma ténue componente de cavalgamento (fig. 8.4 A, B e D).

A presença de cisalhamentos de cinemática tangencial de orientação NE-SW, com transporte para NW, associada a cisalhamentos de cinemática esquerda de orientação NNW-SSE, não é incompatível do ponto de vista cinemático, como já foi referido. Estas estruturas na realidade parecem mostrar um regime construtivo de orientação grosso modo NW-SE associado a esta fase de deformação.

8.1.2. Complexos Vulcano-Sedimentares

8.1.2.1 Análise geométrica

Para além do bandado gnaissico presente no granito de Maiorga, a primeira fase de deformação é responsável pelo aparecimento de uma xistosidade penetrativa (daqui para a frente denominada de S₁) bem visível nas unidades vulcano-sedimentares atribuídas ao Neoproterozóico e Paleozóico inferior, muitas vezes associado a uma lineação de alongamento mineral.

As estruturas associadas à D₁ nestas unidades apresentam comportamentos e características distintas, muito embora sejam passíveis de serem incluídas numa só fase de deformação. Estas unidades apresentam geralmente uma intensa deformação pela acção da D₂, que será descrita posteriormente, o que dificulta a caracterização das estruturas de primeira fase, pois nem sempre a interferência entre estas estruturas está patente. Contudo, pontualmente, as estruturas associadas a esta fase de deformação encontram-se preservadas. A deformação, e em particular o estilo de dobramento D₁, permitem individualizar em três sectores: um sector central onde se inclui a Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes, um sector Este que inclui todas as unidades que se encontram a Este da anteriormente referida e um Sector Oeste, que inclui as unidades a Oeste atribuídas ao Paleozóico inferior.

A Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes (que representa o sector central) apresenta, aparentemente, um maior grau metamórfico (fácies anfibolítica) que as unidades adjacentes. Aqui

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

xistosidade S_1 é aqui caracterizada pela intercalação de anfíbulas e feldspatos, como aliás já foi referido no capítulo anterior (*vide* cap. 7 para revisão). A esta xistosidade associam-se frequentemente filonetes de quartzo de dimensões miliméticas, intraxistentos que parecem ser sin-deformação. As estruturas anteriores à S_1 Varisca são completamente transpostas e obliteradas, sendo que as dobras D_1 se encontram associadas aos filonetes de quartzo contemporâneos desta fase (fig. 8.7).

Nesta unidade, os dobramentos D_1 apresentam geometrias completamente distintas das observadas na generalidade das restantes unidades. São dobras intrafoliais com geometria em bainha e uma forma tubular muito estirada, com eixos sub-horizontais (fig. 8.7). A estas dobras associa-se uma intensa lineação mineral, evidenciada principalmente no quartzo intrafolial. Os eixos das dobras em bainha e a lineação mineral são paralelos (8.9B e 8.10C).

O *fabric* plano-linear característico desta unidade apresenta uma segunda fase muito intensa (fig. 8.8 A e B), que será descrita posteriormente no capítulo 8.2, e que oblitera parcialmente a estruturação primordial, pois redobra isoclinalmente a xistosidade S_1 (fig. 8.8 B e 8.9 A).

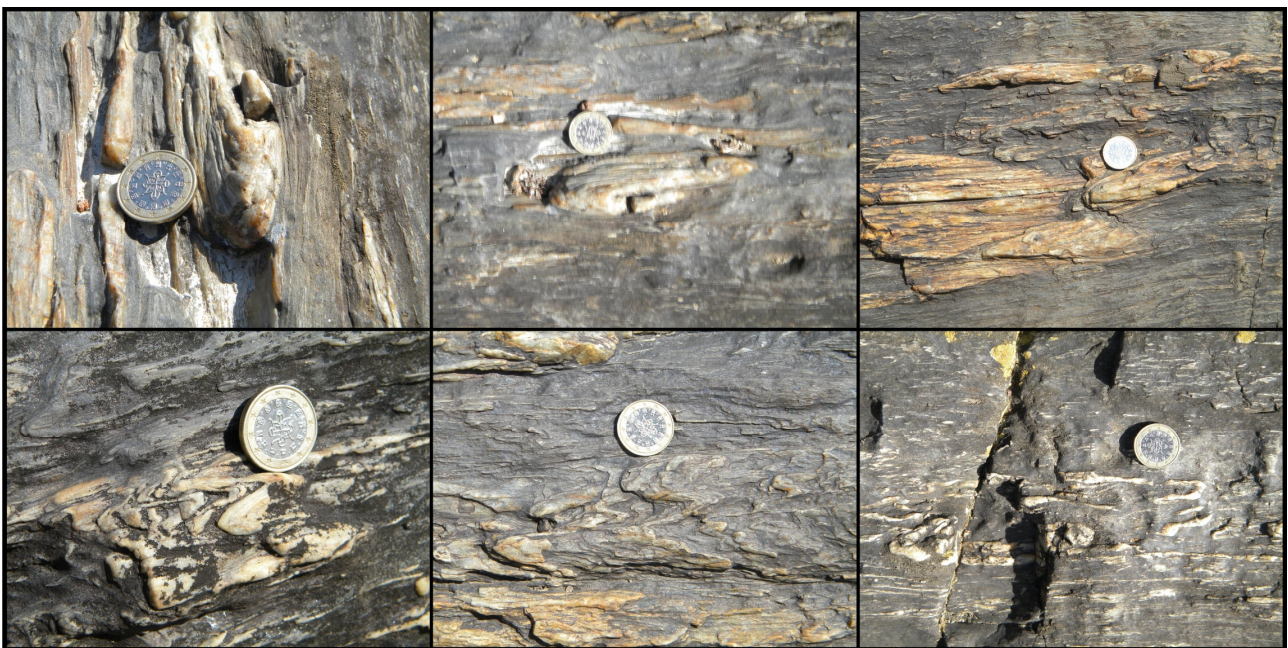


Fig. 8.7 – Exemplos de dobras em bainha existentes na Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes. De referir ainda a presença de uma intensa lineação de estiramento mineral associado.

Todas as relações anteriormente referidas são passíveis de ser observadas num afloramento representativo (fig. 8.8). Este afloramento (presente na margem esquerda do rio Tejo, junto ao Açude de Abrantes) evidencia a contemporaneidade entre a xistosidade, o dobramento e a lineação de alongamento mineral que se associa (fig. 8.8 C). Aqui é possível observar com clareza a xistosidade S_1 , actuada pela segunda fase de deformação, redobrando-a isoclinalmente (fig.8.8 A, B,

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

C3). O quartzo intraxistendo apresenta-se muito estirado, sendo bastante evidente a lineação de alongamento mineral (fig. 8.8D).

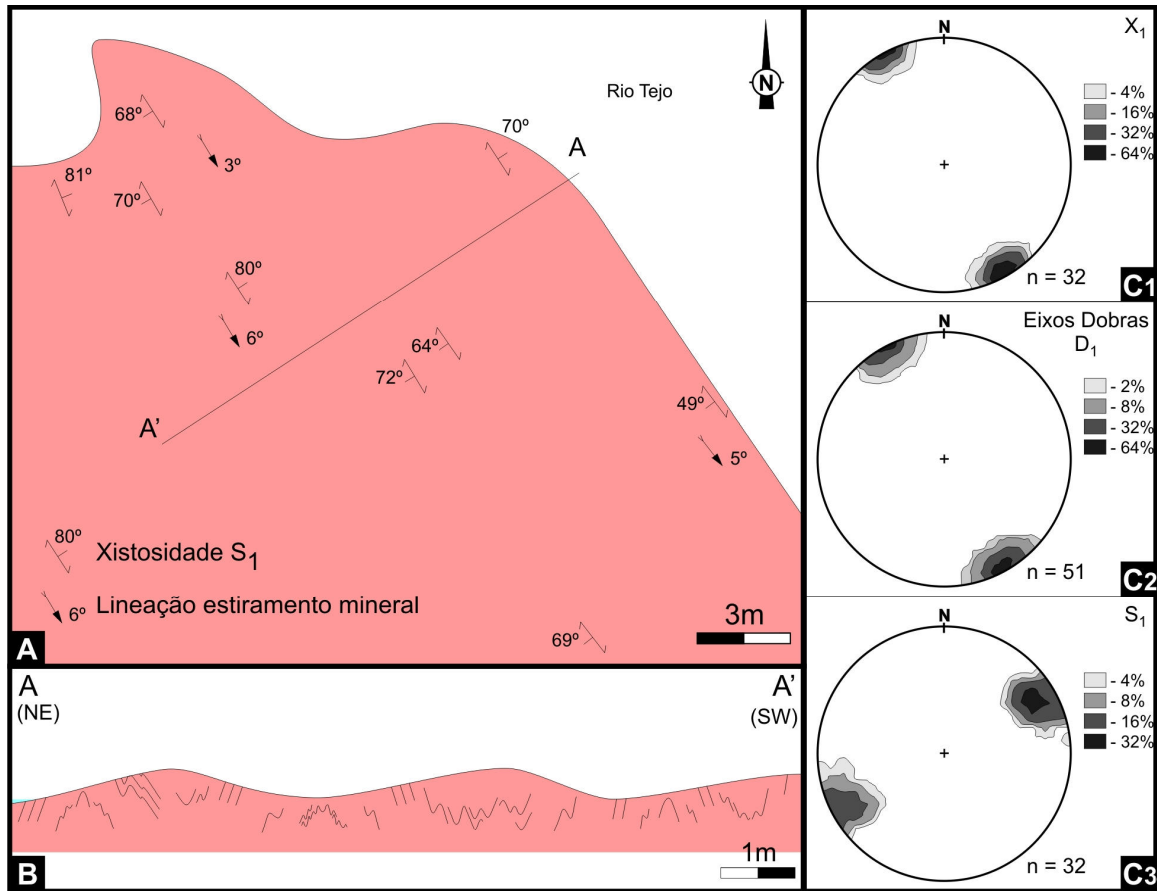


Fig. 8.8 – Estrutura da Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes: **A** – planta esquemática de um afloramento presente na margem esquerda do rio, pondo em evidência a estrutura da região; **B** – corte estrutural esquemático mostrando a acção da segunda fase de deformação sobre a xistosidade S_1 ; **C** – diagramas de densidade de pontos (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior) relativos a: (1) lineação de estiramento mineral (atitude média 3° , $S29^\circ E$), (2) eixos de dobras em bainha (atitude média 2° , $S29^\circ E$), (3) pólos de planos de xistosidade S_1 (atitude média $S27^\circ E$, $87^\circ W$).

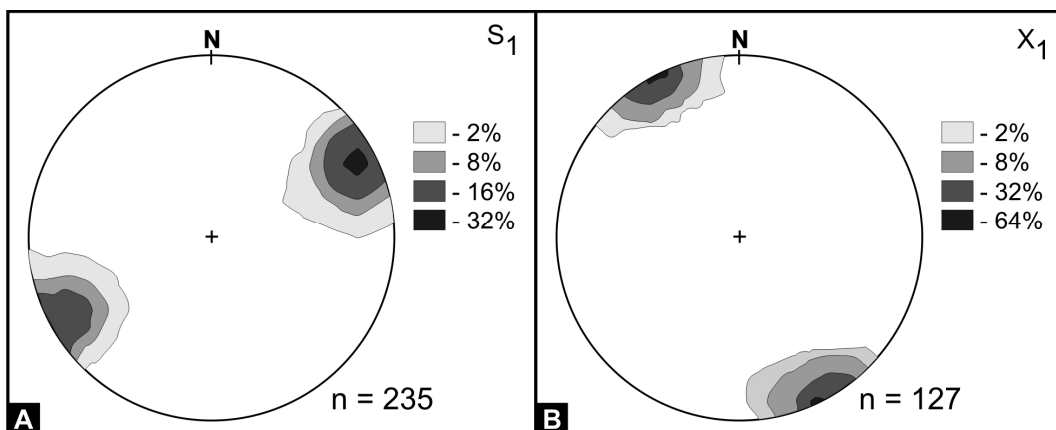


Fig. 8.9 – **A** – Diagrama de densidade de pontos relativo aos pólos dos planos de xistosidade S_1 na Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior; atitude média $S28^\circ E$, $88^\circ SW$); **B** – Diagrama de densidade de pontos relativo às lineações de alongamento mineral (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior; atitude média 0° , $S28^\circ E$);

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

Como referido anteriormente, as dobras em bainha características deste sector central apresentam eixos sub-horizontais, em torno dos 1° , N30°W; exibindo uma uniformidade geométrica elevada (fig. 8.10C). O mesmo acontece com a lineação de estiramento mineral, que apresenta uma atitude em tudo similar à anteriormente referida (0° , S28°E; fig. 8.9B). Este facto abona também a favor da sua contemporaneidade.

No sector Oeste, as dobras em bainha tornam-se inexistentes, surgindo no seu lugar uma série de dobras assimétricas que surgem desde a macro à microescala. Estas dobras são abundantes em todas as unidades atribuídas ao Paleozóico inferior, sendo que as dobras à escala cartográfica, quando em antiforma, apresentam não raramente núcleos constituídos por unidades que são atribuídas ao Neoproterozóico.

Também aqui se desenvolve uma xistosidade S_1 bem marcada em todas as unidades vulcano-sedimentares pelíticas. A Unidade Vulcano-Sedimentar Carbonatada de São Miguel do Rio Torto (daqui para a frente designada apenas de unidade carbonatada para efeitos práticos) apresenta, por sua vez, características ímpares que serão descritas posteriormente.

As dobras D_1 no sector Oeste são dobras assimétricas, com desenvolvimento de flancos longos e curtos, com vergência geométrica para o quadrante Sudoeste. Estas dobras são em retomadas pela segunda fase, surgindo pontualmente com a sua geometria típica onde a acção da segunda fase é menor, ou então à escala macroscópica (ver carta geológica no ANEXO A e cortes esquemáticos no ANEXO B), onde originam a repetição das unidades definidas. As dobras em geral apresentam eixos pouco inclinados para NNW (geralmente menos de 20° ; fig. 8.10 A e B), revelando pendores superiores às dobras presentes na unidade central, onde os eixos são sub-horizontais (fig. 8.8 C2 e 8.10 C). Apesar dos eixos mergulharem tipicamente para o quadrante NW, por vezes é possível observar eixos de dobras mergulhantes para o quadrante oposto. Este comportamento também é passível de ser observado à macroescala.

No que se refere à unidade carbonatada, que se localiza na sua totalidade no sector Oeste, esta apresenta, na generalidade dos casos, apenas uma estrutura planar bem marcada, exceptuando nas zonas de charneira das dobras, onde é possível observar por vezes o desenvolvimento de uma clivagem de plano axial das dobras. Nos flancos curtos das dobras, a xistosidade S_1 transpõe completamente a estrutura planar anterior (S_0), dando lugar apenas a uma estrutura planar (S_0/S_1). Por sua vez, quando surgem flancos longos a xistosidade por vezes aparece marcada, quer nos níveis xistentos intercalados, quer de forma ténue nos carbonatos.

Nesta mesma unidade surge uma lineação intensa, que apresenta características dúbias. Esta lineação parece ser na maioria dos casos uma lineação de alongamento mineral. Contudo, por vezes

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

assemelha-se bastante a uma lineação de intersecção (L_n). No caso da lineação de intersecção, esta será uma L_1 resultante da intersecção entre a estratificação (S_0) e a xistosidade S_1 . Assim sendo, esta unidade é também uma unidade caracterizada por um *fabric* plano-linear.

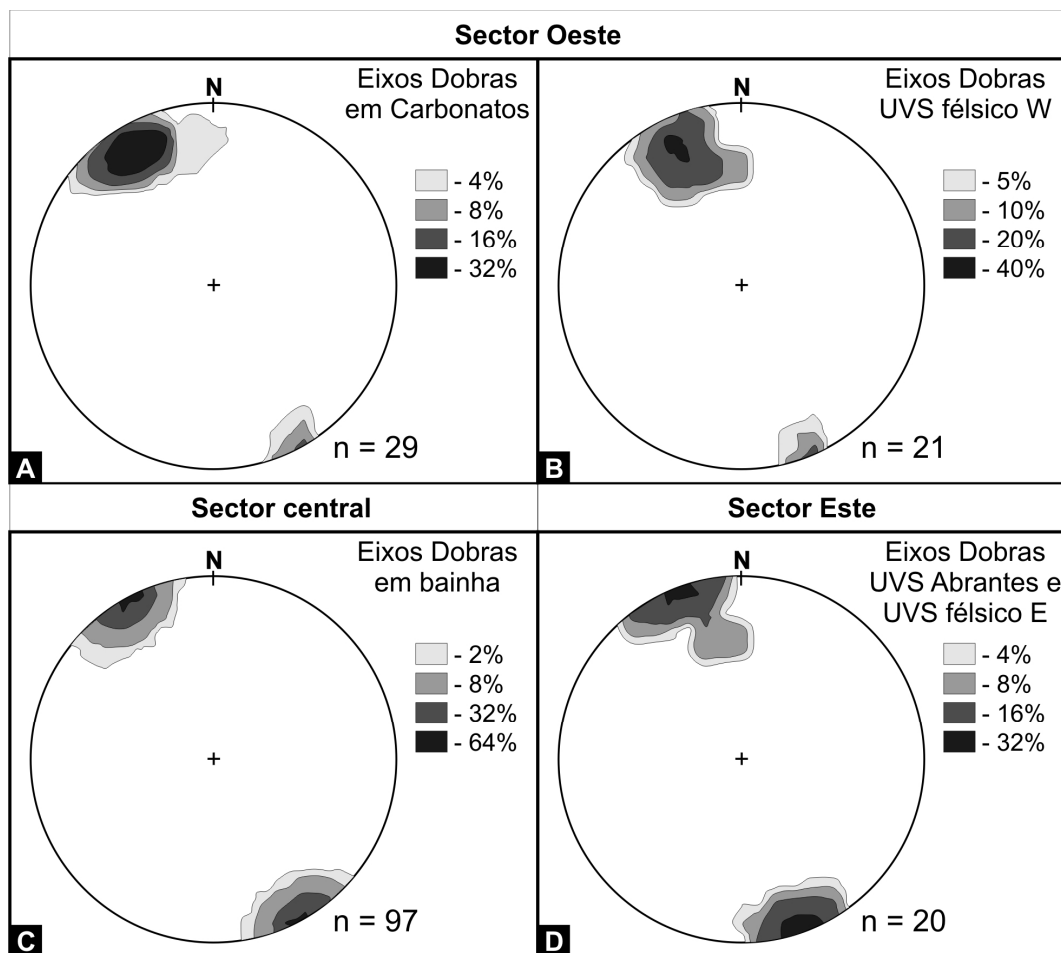


Fig. 8.10 – Diagramas de densidade de pontos relativos aos eixos de dobras nos diversos sectores (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior): **A** – dobras assimétricas presentes na unidade Carbonatada no sector Oeste (atitude média 15°, N30°W); **B** – dobras assimétricas presentes na Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica no sector Oeste (atitude média 19°, N23°W); **C** – dobras em bainha presentes no sector central, no seio da Unidade Anfíbolítica do Açude de Abrantes (atitude média 1°, N30°W); **D** – dobras assimétricas presentes nas unidades pertencentes ao sector Este (atitude média 5°, N19°W).

Ao comparar as atitudes das lineações anteriormente referidas (fig. 8.11 D), denota-se o intenso paralelismo entre si, podendo as lineações de alongamento mineral e de intersecção serem atribuídas à mesma fase, o que revela também a contemporaneidade entre a lineação mineral e a xistosidade S_1 .

Para além do anteriormente referido, estas lineações associam-se a dobras mesoscópicas (fig. 8.11 e 8.12). Os eixos das dobras quando passíveis de medir apresentam também elas um paralelismo bastante evidente com as estruturas lineares anteriormente referidas (fig. 8.10 A). Todas estas estruturas são atribuídas à D_1 varisca.

**Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba
no sector de Abrantes**

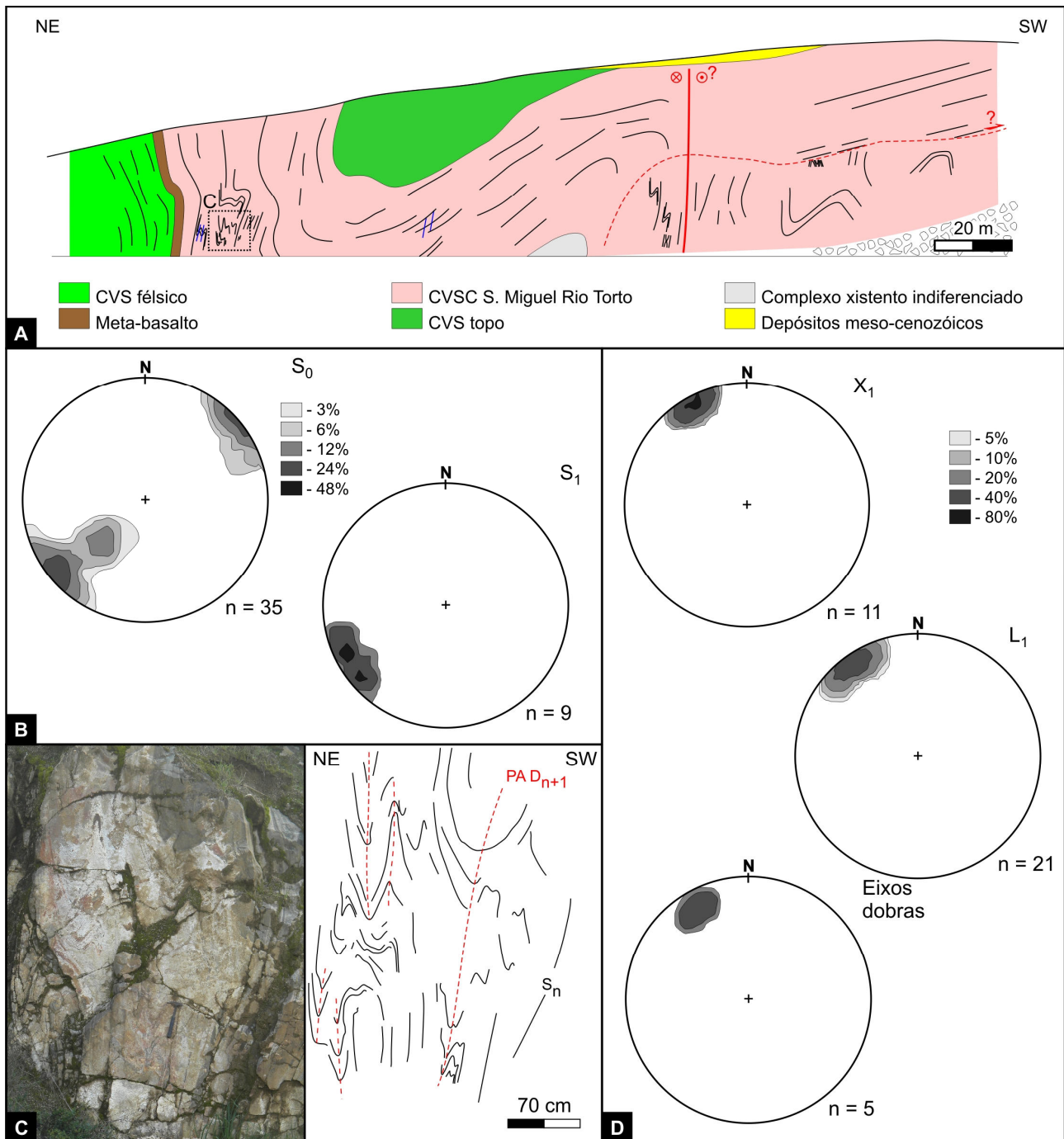


Fig. 8.11 – **A** – Corte geológico esquemático da *Pedreira do Mendes*, revelando a presença de dobras assimétricas de primeira fase com vergência geométrica para o quadrante SW (as linhas negras representam S_0 (S_1 em alguns locais) e as azuis S_1); **B** – diagramas de densidade de pontos (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior) relativos aos pólos dos planos de estratificação – transpostos pela xistosidade S_1 – (S_0 ; atitude média N40°W, 78°E) e à xistosidade (S_1 ; atitude média N31°W, 79°E); **C** – Dobra de flanco curto presente na *Pedreira do Mendes* e respectivo esquema interpretativo; **D** – diagramas de densidade de pontos (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior) relativos à lineação de estiramento mineral (X_1 ; atitude média 7°, N28°W), à lineação de intersecção entre a estratificação e a xistosidade S_1 (L_1 ; atitude média 9°, N35°W) e aos eixos de dobras de primeira fase (atitude média 17°, N29°W).

Na maioria dos casos, as dobras mesoscópicas observadas são dobras menores típicas de flanco curto, anunciando a presença de dobras à escala cartográfica. Essas dobras são bem visíveis na *pedreira do Mendes*, onde as dobras de flanco curto se desenvolvem largamente, ao contrário das dobras de flanco longo que não foram passíveis de observar (fig. 8.11 A e C). Esta *pedreira*, pelas

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

boas condições de afloramento resultante da exploração de carbonatos para brita, é um dos afloramentos chave para a compreensão desta fase de deformação.

Como referido anteriormente, na pedreira do Mendes é possível observar a presença de dobras à escala cartográfica, com uma assimetria bastante evidente, mostrando vergência geométrica para o quadrante SW que aqui se consegue inferir que corresponde à vergência real da estrutura tendo em consideração a polaridade da sucessão dada pela justaposição entre as várias unidades litoestratigráficas (fig. 8.11 A). No flanco curto, é possível observar dobras assimétricas, apertadas e com planos axiais verticais (fig. 8.11 C). Neste flanco é passível de observar um intenso paralelismo entre as estruturas lineares associadas a esta fase de deformação, havendo um grande paralelismo entre a lineação de intersecção, a lineação de estiramento mineral e os eixos das dobras (fig. 8.11 D), muito embora os eixos das dobras apresentem pendores ligeiramente mais elevados.

Nos flancos curtos exibidos na pedreira (fig. 8.11 A) é também clara a presença de uma transposição completa da estrutura inicial pela xistosidade, sendo possível na maioria dos casos a observação apenas de uma estrutura planar. Contudo, nas dobras de flanco curto, é possível observar na zona de charneira o desenvolvimento de uma xistosidade S_1 , que é paralela à atitude geral do flanco em causa que se encontra invertido. Ao observarmos a atitude média da xistosidade S_1 ($N31^\circ W, 79^\circ E$) esta é também corroborante com uma vergência para o quadrante SW anteriormente referida, e que é típica do sector W.

É frequente na unidade carbonatada a cedência do flanco curto sob a forma de acidentes sub-paralelos aos planos axiais das dobras (fig. 8.12). Estes acidentes são o resultado da deformação progressiva resultante do processo de dobramento.

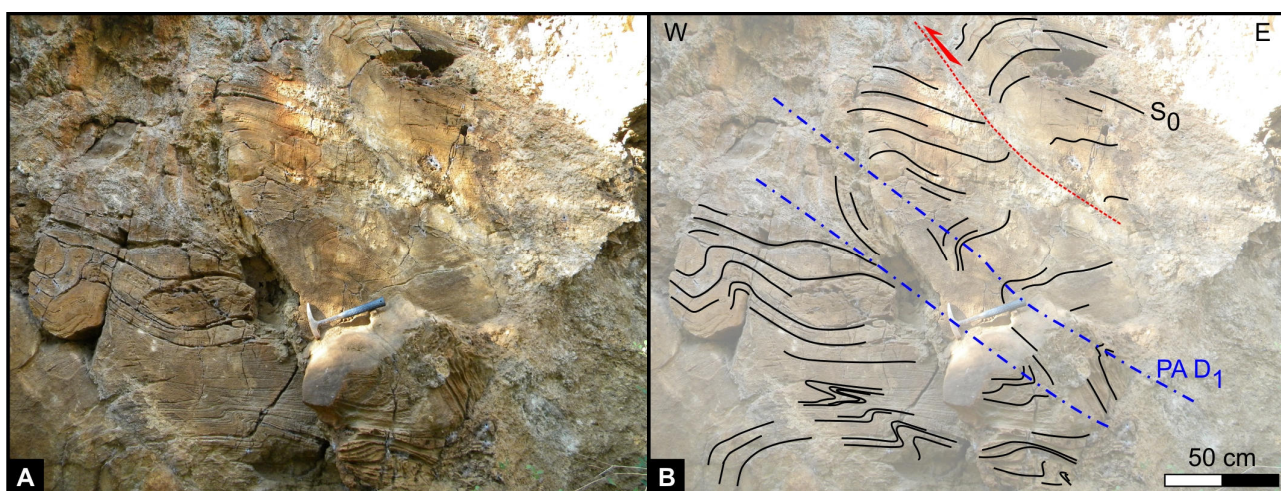


Fig. 8.12 – Dobras assimétricas de primeira fase com vergência geométrica para o quadrante W, na parede de uma pedreira artesanal de carbonatos: (A) fotografia e (B) respectivo esquema interpretativo.

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

No sector a Este, as dobras cilíndricas assimétricas mantêm-se como dobramento típico de primeira fase. Contudo, as dobras em causa apresentam diferenças significativas quanto à sua geometria geral e daí o ser possível a sua individualização. Neste sector, constituído pela Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes (atribuída ao Neoproterozóico) e a Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica (atribuída ao Câmbrico), as dobras assimétricas exibem vergência geométrica para o quadrante Este, contrastando com o observado no sector Oeste.

As dobras associadas à D_1 neste sector apresentam geralmente morfologia típica de dobras de flanco longo, contrariamente ao visível no sector Oeste, estando associada a uma xistosidade de plano axial bastante bem marcada (fig. 8.13). A xistosidade neste sector é bastante penetrativa, de tal forma que, não são comuns os locais onde é possível observar dobras associadas a esta fase de deformação. As dobras apresentam eixos em geral sub-horizontais (5° , $N19^\circ W$; fig. 8.10 D), aliás como é comum em todos os sectores, muito embora o sector a Oeste apresente pendores geralmente superiores, embora nesse caso, como será referido quando se analisar a segunda fase de deformação, essa maior inclinação possa resultar da actuação das fases subseqüente.

A xistosidade de primeira fase é caracterizada, na unidade neoproterozóica, por apresentar uma direcção próxima de NNW-SSE, inclinando tipicamente para o quadrante W ($S16^\circ E$, $79^\circ W$; fig. 8.14 A), o que está de acordo com a vergência geométrica já referida; contudo, pontualmente esta xistosidade apresenta inclinações opostas. Esta variação da inclinação da xistosidade é resultado do dobramento associado à actuação da segunda fase de deformação, que apesar de ser menos intensa nestas unidades, continua presente (fig. 8.14 A). A esta xistosidade S_1 associa-se uma lineação de estiramento mineral de atitude em tudo semelhante à observada nos sectores Oeste e Central (7° , $S22^\circ E$; fig. 8.14 B).

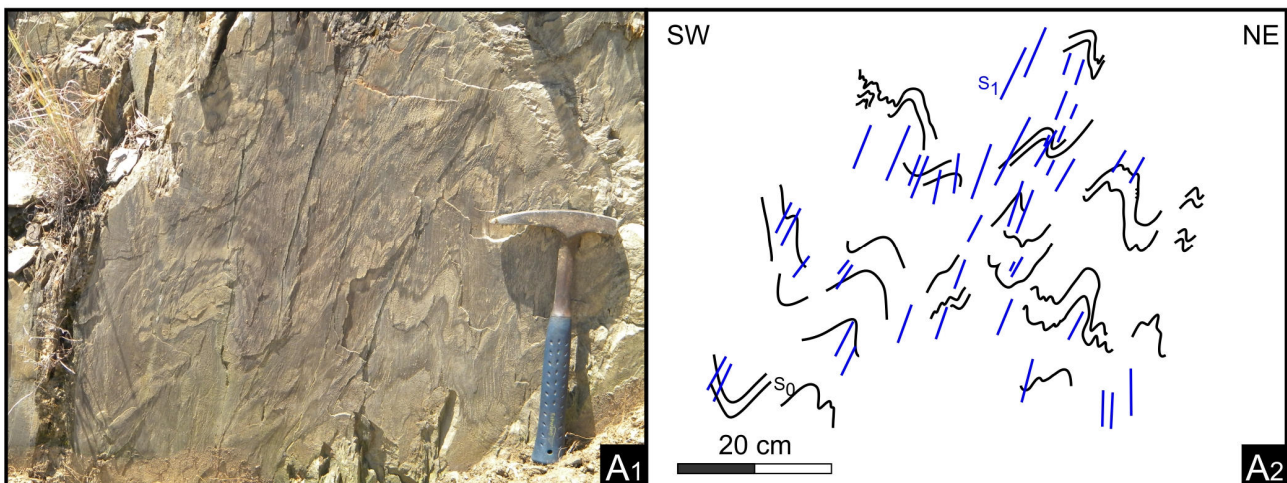


Fig. 8.13 – Dobras assimétricas de primeira fase com vergência geométrica para o quadrante NE: (A1) fotografia e (A2) respectivo esquema interpretativo.

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

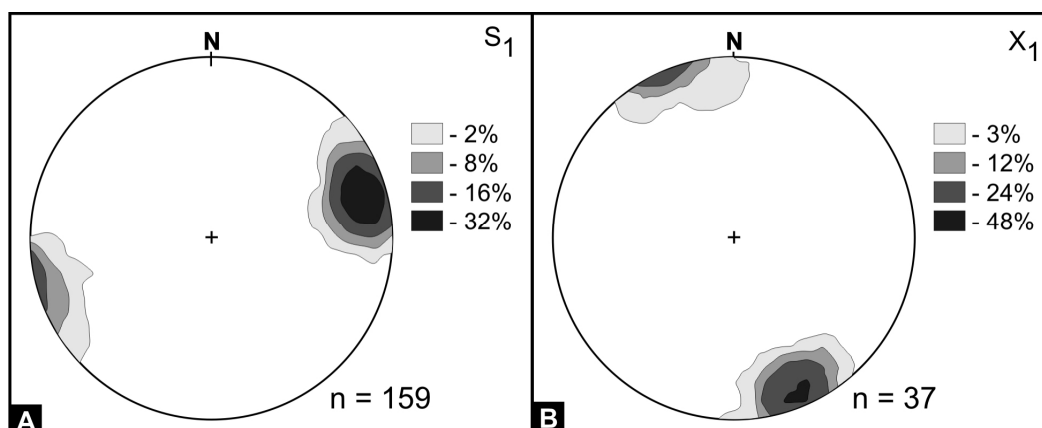


Fig. 8.14 – A – Diagrama de densidade de pontos relativo aos pólos dos planos de xistosidade S_1 na Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior; atitude média $S16^\circ E, 79^\circ W$); B – Diagrama de densidade de pontos relativo às lineações de alongamento mineral na mesma unidade (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior; atitude média $7^\circ, S22^\circ E$).

Também na unidade atribuída ao Câmbrico, estas relações são evidentes. As dobras atribuídas à D_1 , presentes nesta unidade apresentam geometria semelhante à anteriormente descrita. Mais se acrescenta, devido ao baixo grau metamórfico exibido nesta unidade, é possível inclusive ver pontualmente relações geométricas entre a estrutura planar inicial (S_0) e a xistosidade S_1 . A estratificação apresenta uma direcção semelhante à xistosidade (embora seja possível ver uma ligeira rotação na direcção média), revelando contudo inclinações distintas, embora no mesmo sentido, sendo que a xistosidade apresenta maiores pendores que a estratificação (S_0 $S21^\circ E, 54^\circ W$ e S_1 $S23^\circ E, 70^\circ W$; fig. 8.15 A e B).

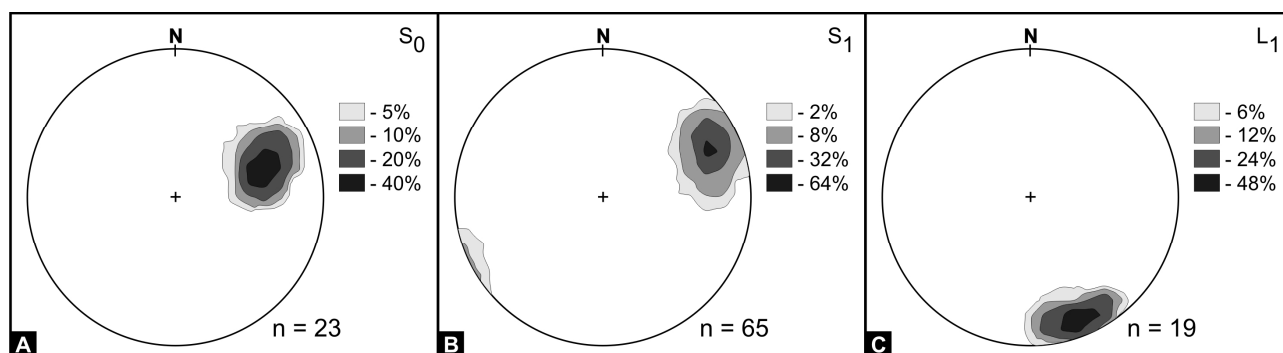


Fig. 8.15 – Diagrama de densidade de pontos relativos à Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félisica no bordo Este da área (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior): A – pólos dos planos de estratificação (atitude média $S21^\circ E, 54^\circ W$); B – pólos dos planos de xistosidade S_1 (atitude média $S23^\circ E, 70^\circ W$); C – lineação de intersecção $S_0 \wedge S_1$ (atitude média $12^\circ, S21^\circ E$).

Da intersecção entre estas duas estruturas planares surge uma lineação. A lineação de intersecção L_1 apresenta a seguinte atitude média $12^\circ, S21^\circ E$. Este valor contrasta com a inclinação dos eixos das dobras atribuídas a esta fase e que surgem no sector Este ($5^\circ, N19^\circ W$; fig. 8.10 D). Com base nas observações de campo, onde não foi identificada evidência de transecção durante a

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

D_1 , esta diferença de cerca de 10° entre as inclinações dos eixos das dobras e da lineação de intersecção L_1 , não deverá ser significativa, resultando apenas do número de dados medidos ser escasso (20 e 19 respectivamente), o que não permite a obtenção de valores representativos da atitude regional de ambas as estruturas.

8.1.2.2 Análise cinemática

No presente subcapítulo pretende-se compatibilizar do ponto de vista cinemático a presença de dobras com vergências em sentidos opostos nos sectores limítrofes, associado a um sector central caracterizado pelo desenvolvimento de dobras em bainha.

As dobras em bainha são estruturas típicas de zonas de cisalhamento em regime dúctil. Estas são resultado da intensa e progressiva deformação aí desenvolvida (*e.g.* Alsop & Holdsworth, 1999; 2006), sendo que alguns autores defendem que tais estruturas se encontram exclusivamente associadas a zonas de cisalhamento (Twiss & Moores, 1992; Davis & Reynolds, 1996). Alguns autores referem que estas dobras resultantes da deformação progressiva em regime não-coaxial podem ser indicadores da intensidade de deformação; dobras em bainha de curvatura suave são resultado de baixa deformação, sendo que o aumento da tensão cisalhante acentua a curvatura das mesmas (Cobbold & Quinquis, 1980; Ramsay, 1980 *in* Alsop & Holdsworth, 2006). Assim sendo, a presença de dobras em bainhas tubulares, altamente estiradas, com claro predomínio dos eixos subparalelos em detrimento das zonas centrais onde ocorre a curvatura máxima dos eixos, são resultado da intensa deformação sofrida pelo sector central durante a primeira fase de deformação varisca. Desta intensa deformação no sector central resulta também o incremento do grau metamórfico relativamente ao grau apresentado nos sectores Oeste e Este. Tal é também corroborante com a intensa lineação mineral observada, que é o resultado do intenso estiramento provocado pela acção de um forte cisalhamento no sector central. Os critérios inexistentes nos complexos xistentos associados ao sector axial podem ter sido obliterados pela acção da segunda fase de deformação, uma vez que a acção da segunda fase se faz sentir de forma intensa neste sector central.

A contemporaneidade entre a xistosidade S_1 , as dobras em bainha tubulares, a lineação de estiramento intensa, evidencia contudo a presença de uma zona de cisalhamento com uma importância à escala regional afectando esta região.

O sector Oeste como já foi referido, caracteriza-se por apresentar dobras assimétricas, com vergência global para o quadrante SW. Contudo, esta vergência associa-se a uma lineação de estiramento em tudo semelhante a nível geométrico com a apresentada no sector central. Este

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

dobramento associa-se a uma lineação de estiramento não ortogonal, mas sim subparalela aos eixos das dobras. O dobramento apresenta-se frequentemente associado a acidentes resultantes da deformação progressiva. Estes acidentes apresentam geralmente vergência geométrica também para o quadrante SW, possibilitando a continuação do encurtamento resultante do processo de dobramento. Estes acidentes são particularmente comuns nos flancos curtos das dobras macroscópicas e mesoscópicas. Tal vergência para Oeste é também ela corroborante com a xistosidade S_1 observada, que, como já foi referido, inclina tipicamente para o quadrante Este. Isso é passível de ser observado de forma clara na pedreira do Mendes, onde as dobras assimétricas se desenvolvem apresentando vergência geométrica clara para o quadrante Oeste (fig. 8.11 A e B). Esta vergência geométrica observada, é na realidade também uma vergência real, uma vez que a polaridade das unidades aqui presentes, com as unidades mais recentes no núcleo dos sinformas e as mais antigas no núcleo dos antiformas, no mostram uma polaridade normal da sucessão.

Na margem direita do Rio Tejo, surge também uma outra estrutura, que embora tenha sido reactivado pela D_2 , apresenta critérios de polaridade estratigráfica que nos indica a presença de dobramentos associados à D_1 , com grande semelhança à observada na pedreira do Mendes (ver carta geológica no ANEXO A e corte A-B no ANEXO B), evidenciando também vergência para Oeste. Esta estrutura é um sinforma sinclinal. Este sinforma apresenta nos seus flancos a unidade carbonatada e no núcleo do mesmo, um complexo vulcano-sedimentar, aparentemente distinto do que se encontra na base da unidade carbonatada, e que se situa a topo da unidade carbonatada. A unidade em causa é a Unidade Vulcano-Sedimentar Intermédio a Bimodal. Este sinforma apresenta todo ele uma lineação de estiramento mineral intenso, aparentando ser subparalelo nos dois flancos da dobra (8.16 A e B), contudo com alguma variação; esta variação pode ser interpretada como resultado da acção da segunda fase de deformação, que como iremos ver o capítulo 8.2 é muito intensa neste sector.

A xistosidade S_1 (que transpõe a estrutura primordial inicial) no flanco Este encontra-se inclinada maioritariamente para Este, o que de resto também acontece no flanco Oeste na proximidade com complexo vulcano-sedimentar que se encontra no núcleo do sinforma (ver mapa de pormenor presente no ANEXO D). Contudo, o flanco Oeste apresenta um sector onde a xistosidade (transpondo a estratificação) passa a inclinar para o Oeste, revelando a presença de uma dobra em antiforma, imediatamente a Oeste do sinforma. Estes dobramentos são também eles atribuídos à primeira fase de deformação, sendo a sua reorientação e dobramento interpretado como resultado da actuação da segunda fase de deformação.

No sector Este, as dobras D_1 apresentam vergência geométrica no mesmo sentido. A relação entre a xistosidade S_1 e a estratificação, presente na Unidade vulcano-sedimentar atribuída ao câmbrico,

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

evidencia um critério que nos expõe a presença de uma dobra maior, sendo este o flanco longo da mesma. Tal geometria é também ela compatível com a geometria com a exibida pelas dobras menores típicas deste sector, e que surgem não só nas unidade atribuída ao Câmbrico, como também na unidade atribuída ao Neoproterozóico. Parece haver aqui então critérios claros que mostram o desenvolvimento de dobras vergentes para o quadrante Este.

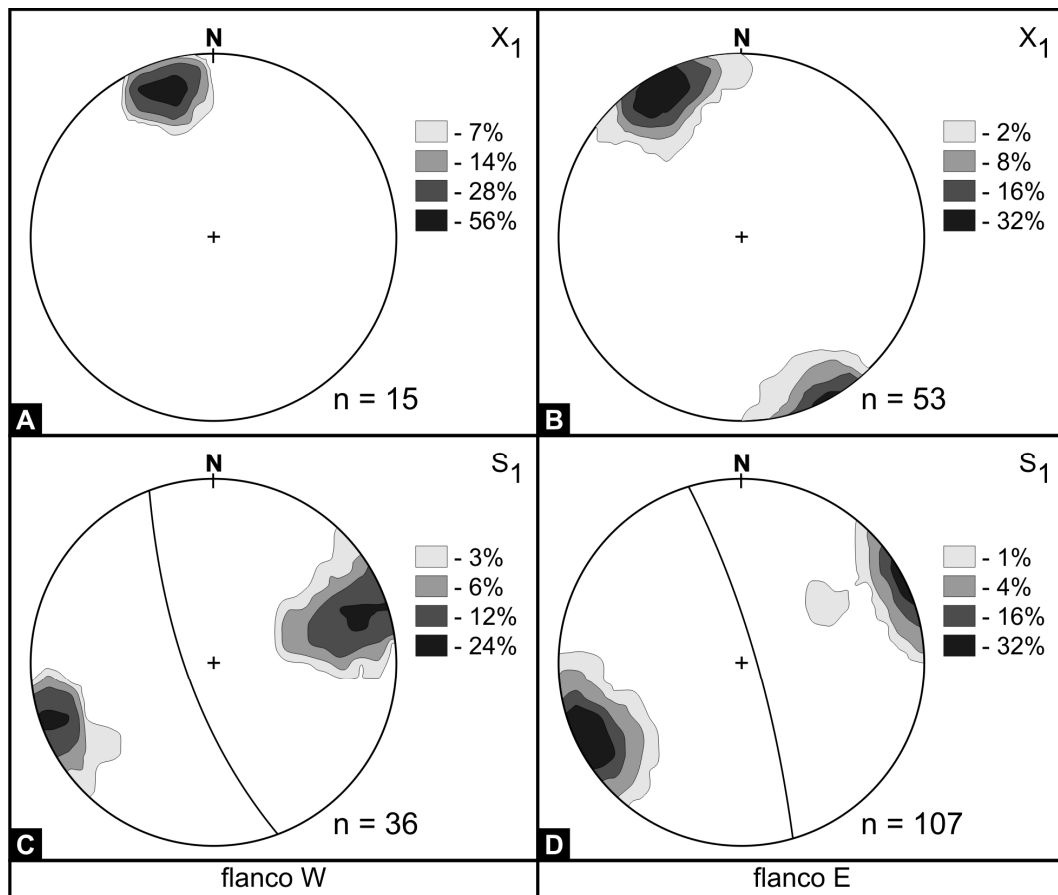


Fig. 8.16 – Diagramas de densidade de pontos relativos às estruturas de primeira fase em ambos os flancos (na unidade Carbonatada) do sinforma D₁ evidente na margem direita do rio Tejo (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior): **A** – lineações de alongamento mineral para o flanco Oeste (atitude média 17°, N18°W); **B** – lineações de alongamento mineral para o flanco Este (atitude média 9°, N28°W); **C** – pólos dos planos de xistosidade S₁ no flanco Oeste (S20°W, 78°W); **D** – pólos dos planos de xistosidade S₁ no flanco Este (N26°W, 83°E)

8.1.3 Unidade de Micaxistos Granatíferos do Tramagal

A Unidade dos Micaxistos Granatíferos do Tramagal é tratada aqui isoladamente, pelas incertezas inerentes à sua evolução durante a D₁ Varisca na região de Abrantes. Com efeito, esta unidade atribuída ao Neoproterozóico encontra-se separada das restantes unidades atribuídas ao Câmbrico por um acidente, que a coloca directamente em contacto com a unidade carbonatada atribuída ao Câmbrico. Este acidente de cinemática desconhecida, é também ele um acidente D₁, uma vez que se encontra dobrado pela actuação da zona de cisalhamento associada à segunda fase

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

de deformação, conforme será descrito no capítulo 8.2. É ainda de realçar que a unidade em causa se apresenta intensamente deformada pela segunda fase de deformação Varisca, sendo o estudo da sua evolução durante a D_1 bastante dificultando por tal facto.

Esta unidade apresenta um grau metamórfico Varisco, aparentemente superior ao grau metamórfico evidenciado nas unidades câmbrias (muito embora falem estudos de pormenor de metamorfismo), o que levanta dúvidas acerca da sua evolução conjunta com as restantes unidades. Contudo, pontualmente surgem dobras assimétricas, com vergência geométrica para o quadrante Oeste (8.17), que aparentam semelhanças com as dobras D_1 . Estas dobras apresentam eixos pouco inclinados (inferior a 20°) para N - NNW e clivagem de plano axial pouco penetrativa, de atitude média $N10^\circ W, 55^\circ W$. A vergência para SW é em tudo semelhante à observada nas unidades vulcano-sedimentares atribuídas ao Câmbrio localizadas no sector Oeste. Contudo, a estrutura planar dobrada existentes na unidade dos micaxistos, parece desde logo uma xistosidade S_n .

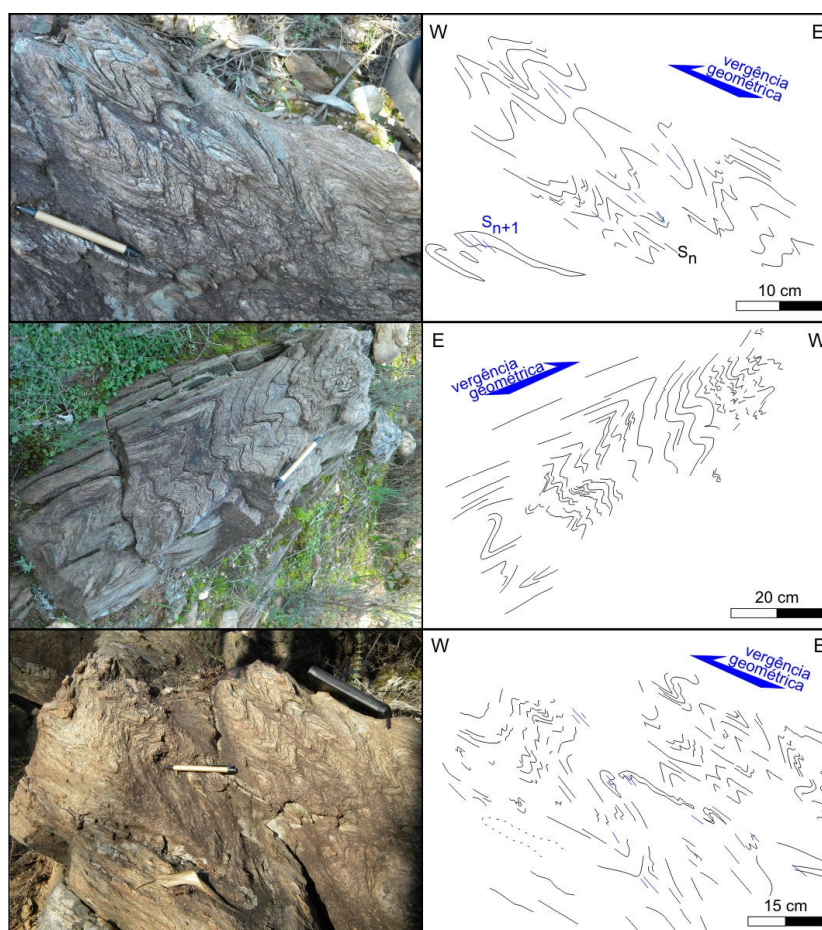


Fig. 8.17 – Dobras com vergência geométrica para o quadrante W, evidenciando comportamento desarmónico, presentes na Unidade de Micaxistos Granatíferos do Tramagal.

Se considerarmos esta vergência como sendo referente ao primeiro episódio de deformação dúctil Varisco, isto significaria que tais micaxistos teriam tido um episódio tectono-térmico anterior ao episódio Varisco (Cadomiano?). Se considerarmos uma evolução conjunta desta unidade com as

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

restantes unidades, então o acidente em causa poderia representar um acidente de cinemática tangencial, com transporte para W, o que seria passível de compatibilizar com a restante deformação da D₁ observada nas unidades câmblicas.

Tais premissas são contudo de difícil análise, tendo em conta a intensa deformação sofrida por esta unidade no decorrer da segunda fase de deformação Varisca actuante na região, como será discutido mais à frente.

8.1.4. Análise dinâmica da D₁ Varisca

A análise da D₁ Varisca no sector de Abrantes deixa sobressair a presença de dois sectores denotando uma oposição ao nível das vergências das estruturas associadas a esta fase, separado pela presença de um sector axial onde se desenvolve uma zona de deformação intensa e progressiva associada à presença de uma zona de cisalhamento (fig. 8.18 A).

Este tipo de estruturação é passível de ser explicado pelos dois modelos propostos para a região (fig. 8.18 B):

- o modelo da estrutura em flor (fig. 8.18 B1), em prolongamento da estruturação típica da zona de cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba no sector de Portalegre, em regime transpressivo esquerdo, com a zona axial a desenvolver um *fabric* plano-linear verticalizado e os flancos a exibirem vergências opostas, resultando numa partição da deformação, com o cisalhamento simples concentrado na região axial e o cisalhamento puro nos bordos (*e.g.* Pereira, 1999; Pereira & Silva, 2006; Ribeiro *et al*, 2007);
- modelo da dobra em bainha quilométrica (8.18 B2), onde o ramo vergente para NE contacta com o ramo vergente para SW, delineando uma dobra em bainha à escala quilométrica com nariz para NW e cisalhamento tangencial com desenvolvimento de uma foliação deitada, com topo no mesmo sentido (Ribeiro *et al*, 2009).

A instalação em regime sin-tectónico do granito de Maiorga é também ele compatível com a presença de dois tipos de interpretações cinemáticas distintas tendo em conta a sua estruturação interna. Este tipo de estruturação pode desenvolver-se em regime transpressivo esquerdo, sendo os cisalhamentos tangenciais com transporte para NW, estruturas escalonadas (*en echelon*) compressivas no seio do granito, resultantes da acção do cisalhamento esquerdo (fig. 8.19 A), mas também em regime de cisalhamento tangencial com transporte sintético com os planos de cisalhamento menor (fig. 8.19 B).

O padrão global de afloramento, resultante em grande parte da acção da primeira fase de deformação Varisca, revela a presença de um núcleo de unidades de idade Neoproterozóica, os quais são ladeadas por unidades atribuídas ao Câmbrico, revelando desde logo alguma simetria.

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

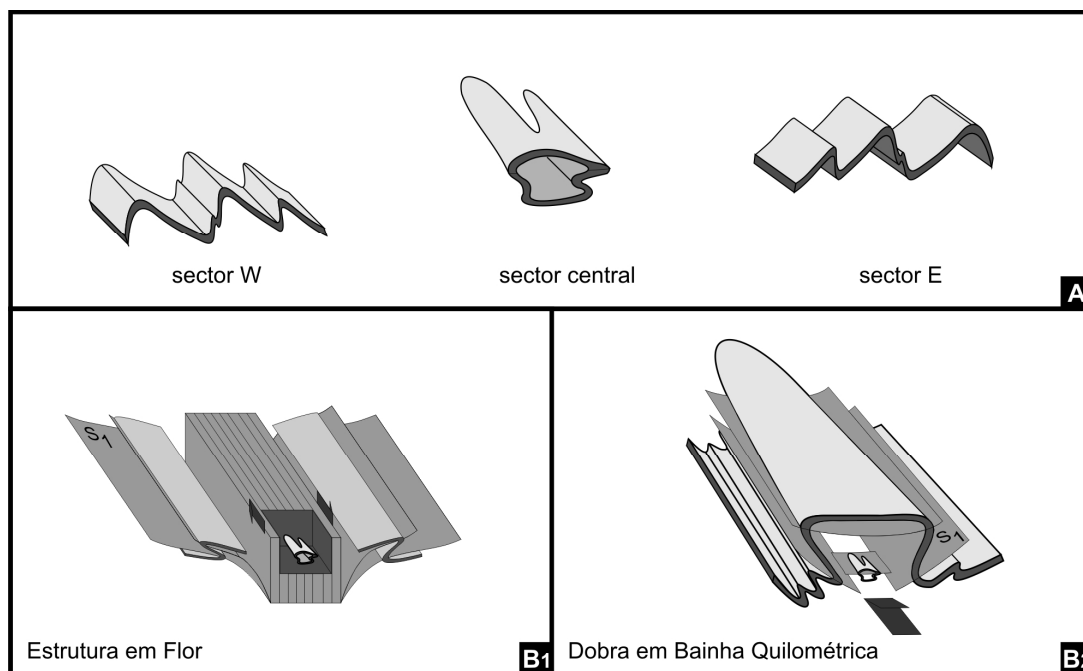


Fig. 8.18 – **A** – Geometria esquemática das dobras de primeira fase nos complexos vulcano-sedimentares Neoproterozóicos e Paleozóicos nos diversos sectores; **B** – Hipóteses teóricas para a formação de dobras com as diferentes geometrias resumidas em A durante a mesma fase de deformação: (B₁) estrutura em flor, (B₂) dobra em bainha quilométrica.

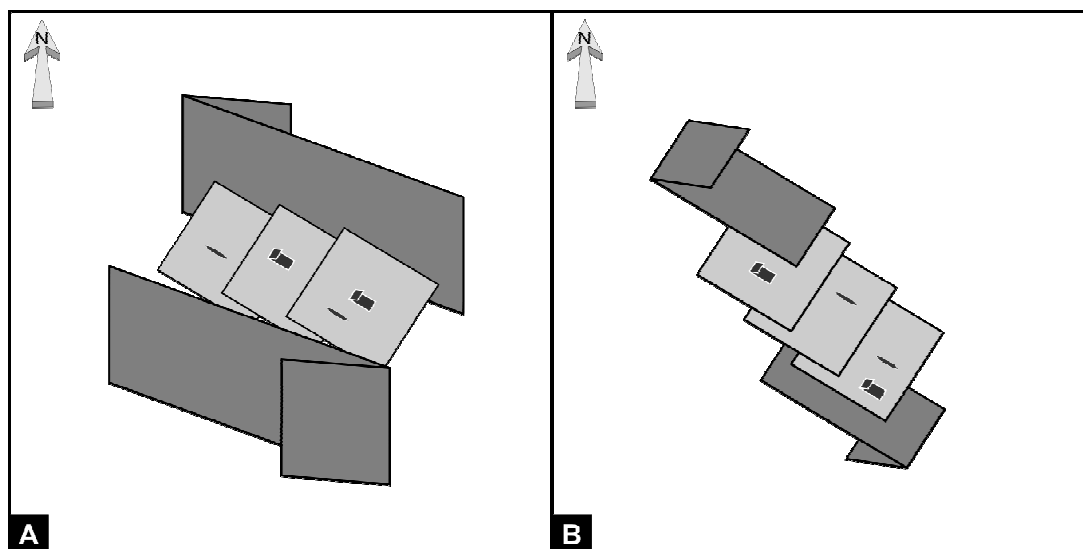


Fig. 8.19 – Modelos cinemáticos passíveis para a instalação do granito sin-tectónico de Maiorga: **A** – regime de cisalhamento esquerdo com formação de planos de cisalhamento *en echelon* com cinemática tangencial com transporte para NW; **B** – regime de cisalhamento tangencial global com transporte para NW, com formação de planos de cisalhamento menores sintéticos com o cisalhamento principal.

Apesar do anteriormente referido e independentemente dos modelos em causa, parece consensual que esta fase de deformação se poderá conjugar com a actividade da zona de cisalhamento Tomar-Badajoz-Córdoba, que afecta as unidades pertencentes à Zona de Ossa-Morena. Contudo, as implicações geodinâmicas resultantes da escolha do modelo de dobra em bainha ou da estrutura em flor para a região de Abrantes, terá profunda importância no que se refere

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

à evolução desta zona de cisalhamento e da zona de cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo, que em termos espaciais se localiza a Oeste da área em estudo.

8.2. Segunda fase de deformação varisca (D_2); a acção da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo

As estruturas associadas à D_1 Varisca são claramente afectadas por uma fase de deformação posterior que oblitera, pelo menos parcialmente, as estruturas atribuídas a esta fase de deformação. Esta obliteração parcial das estruturas D_1 , dificulta a interpretação desta fase de deformação, principalmente no que se refere à sua cinemática.

As estruturas D_2 são bastante abundantes em toda a região, desenvolvendo-se de forma penetrativa. Contudo as estruturas associadas a esta fase de deformação surgem com especial incidência nos sectores mais a Oeste da área estudada. Seguidamente descrever-se-á separadamente a geometria e cinemática desta fase de deformação.

8.2.1. Estruturação geral nos sectores externos à zona de cisalhamento Carvalhões-Portela

8.2.1.1 Análise geométrica

Toda a região em estudo se encontra afectada por uma deformação, que apesar de penetrativa em toda a área, parece ser mais intensa à medida que caminhamos para Oeste, sendo mais forte na Unidade de Micaxistos Granatíferos do Tramagal e mais fraca na Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica localizada no extremo Este da área. Na unidade dos micaxistos a xistosidade S_n apresenta-se dobrada por uma segunda fase de deformação; esta xistosidade D_n , apesar de alguma variação, tem tendência para mergulhar para o quadrante Este apresentando direcções próximas do N-S (fig. 8.20 A; $N7^\circ W$, $65^\circ E$). Contudo, este dobramento é mais intenso à medida que nos vamos aproximando do bordo Esta desta unidade, onde a xistosidade S_1 apresenta uma direcção semelhante à observada nos sectores a Oeste, aparecendo em geral muito mais verticalizada, exibindo pendores em geral superiores a 80° , inclinando quer para Oeste quer para Este (fig. 8.20 B); este dobramento apresenta eixos sub-horizontalizados, apresentando-se em geral muito fechados. Atestando este facto surge, uma extrema constância da lineação de alongamento mineral associada a D_n visível nesta unidade (fig. 8.20 C); isto parece evidenciar a homoaxialidade entre a D_1 e a D_2 pelo menos neste sector.

A primeira fase de deformação nesta unidade é caracterizada por um *fabric* plano-linear, por vezes muito intenso, muito embora a sua origem e evolução seja um assunto não resolvido (*vide* cap. 8.13). Esta foliação S_n faz-se acompanhar por vezes de uma lineação de alongamento mineral bem marcava (designada de X_1 , pois é anterior à D_2 regional; fig. 8.20 C). Este alongamento e

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

intensa lineação mineral aparece associada a dobras em bainha (8.21 B e C), tal qual como observado na Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes.

A associação destas estruturas lineares e planares surge apenas na proximidade do limite Este desta unidade, sendo que neste local a acção da D_2 varisca é muito intensa (fig. 8.21). Neste local em particular do ponto de vista da deformação D_2 , a xistosidade S_n aparece intensamente dobrada com pendores geralmente muito elevados quer para o quadrante Oeste, quer para o Este (fig. 8.21 A) mas sempre com uma orientação em torno do $N15^\circ W$ a $N0^\circ$. O dobramento associado à acção da D_2 no local em causa, e à semelhança do que acontece na restante unidade, apresenta eixos de dobras muito pouco inclinados, o que evidencia homoaxialidade entre as fases. As estruturas lineares D_n como é o caso da lineação de estiramento mineral, apresenta-se em geral também ela muito pouco inclinada, ostentando quase sempre valores de inclinação inferiores a 20° , mergulhando para NNW ou SSE (fig. 8.21). À semelhança do que acontece com a lineação previamente descrita, os eixos das dobras S_n apresentam também uma grande constância na sua orientação e valor de mergulho baixos.

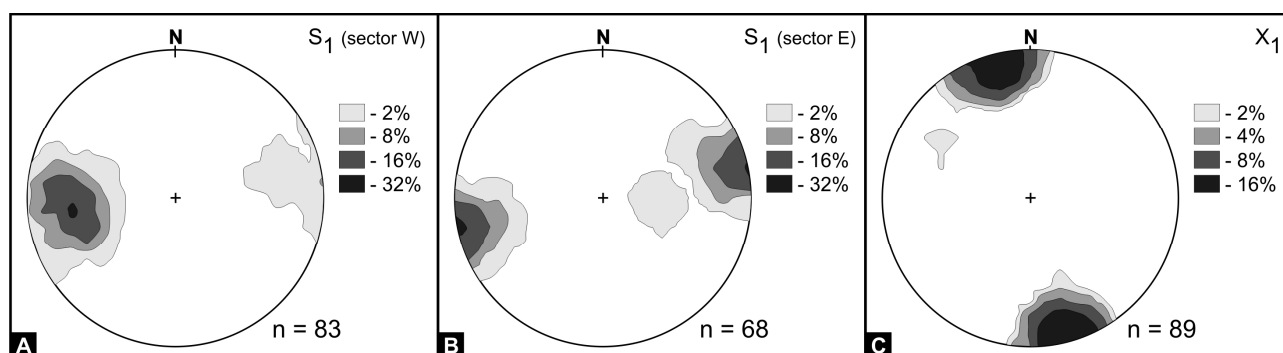


Fig. 8.20 – Diagramas de densidade de pontos relativos à Unidade de Micaxistos Granatíferos do Tramagal (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior): A – pólos dos planos de xistosidade S_1 no sector Oeste da unidade (atitude média $N7^\circ W$, $65^\circ E$); B – pólos dos planos de xistosidade S_1 no sector Este da unidade (atitude média $S13^\circ E$, $86^\circ W$); C – lineação de estiramento mineral (atitude média 0° , $N16^\circ W$).

Neste local, a xistosidade S_n é afectada de forma clara por um *fabric* C-C' (fig. 8.21 F) ou mais pontualmente por um *fabric* do tipo C-S (fig. 8.21 E). Estes tipos de *fabrics* planares são relativamente comuns em zonas de cisalhamento, podendo ser bastante importantes na análise cinemática das mesmas (Blenkinsop & Treloar, 1995). Contudo, neste capítulo pretende-se apenas descrever geometricamente as estruturas.

O dobramento associado à D_2 é em geral fechado a isoclinal, sem contudo revelar uma xistosidade penetrativa. Contudo, alguns dos planos de xistosidade anteriores, parecem ser cinematicamente activos durante esta segunda fase, e daí a criação dos *fabrics* planares anteriormente referidos. Estes *fabrics* planares são relativamente comuns em toda a unidade, aliás é a unidade onde surgem de forma mais comum. Os planos C e C' são contemporâneos da D_2

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

afectando claramente a xistosidade S_n anterior. Ambas as estruturas são estruturas verticalizadas, conferindo à estrutura anterior um aspecto sigmóidal quando vista em planta. Assim sendo, pode considerar-se desde já que esta fase ocorre num regime não coaxial associado a uma componente de cisalhamento.

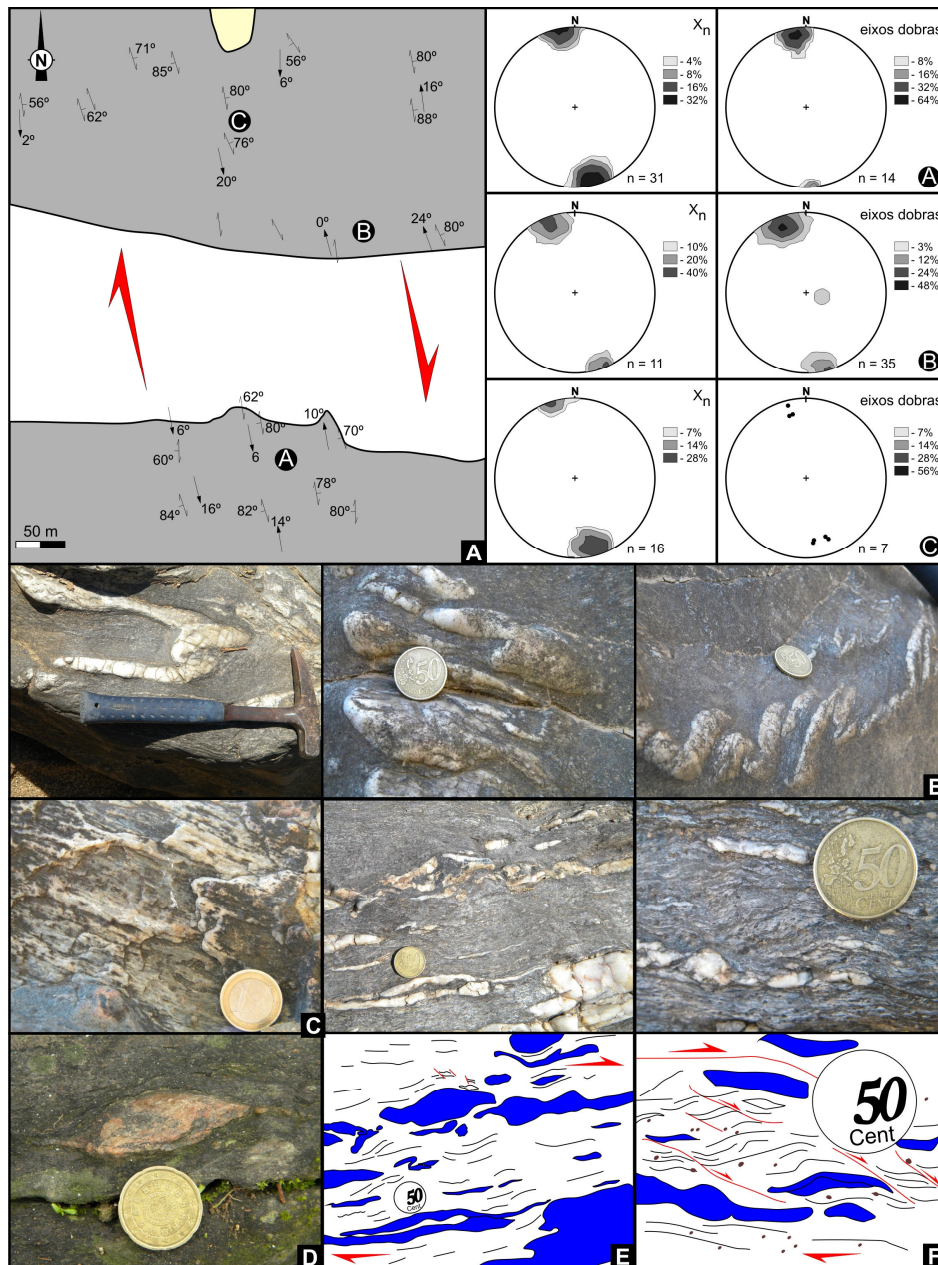


Fig. 8.21 – Zona de cisalhamento direita afectando a estruturação D_n na Unidade dos Micaxistos Granatíferos do Tramagal: **A** – planta de um pequeno sector (localizado geograficamente em ANEXO D) da Unidade dos Micaxistos Granatíferos do Tramagal evidenciando o dobramento da xistosidade S_n . Apresenta-se também os diagramas de densidade de pontos relativos às estruturas lineares presentes (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior – zona A: X_n 5°, S13°E, eixos de dobras 11°, N9°W; zona B: X_n 9°, N20°W, eixos de dobras 10°, N17°W; zona C: X_n 11°, S15°E, eixos de dobras 6°, S13°E); **B** – exemplos de dobras em bainha D_{n+1} presentes no seio de cisalhamento em causa; **C** – lineação de estiramento mineral bastantes bem marcada em filonete de quartzo; **D** – sigmóide de quartzo, mostrando o regime de cisalhamento direito actuaentes; **E** – foliação S_n afectada por uma segunda fase de deformação, com critérios cinemáticos direitos diversos, como são exemplo o desenvolvimento de dobras assimétricas e sigmóides em quartzo, **F** – desenvolvimento de *fabric's* C-C', de cinemática direita, afectando filonetes de quartzo assim como a xistosidade S_n .

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

Este tipo de *fabric's* (C-C' e C-S) planares são muito comuns em zonas de cisalhamento dúcteis, sendo que os planos C a desenvolverem-se sub-paralelamente à zona de cisalhamento principal (Twiss & Moores, 1992). A progressão da deformação dá origem em geral a planos C' que apresentam cinemáticas sintéticas dos planos C (Twiss & Moores, 1992).

As unidades imediatamente a Este da Unidade de Micaxistos Granatíferos do Tramagal apresentam uma estruturação D_1 primordial, sendo a D_2 bastante menos intensa. A presença de dobras D_1 à macroescala, influenciam de forma clara a estruturação D_2 , criando não só padrões de interferência na zona de cisalhamento de Carvalhões-Portela (que será descrita posteriormente) mas também um reajuste das estruturas D_1 .

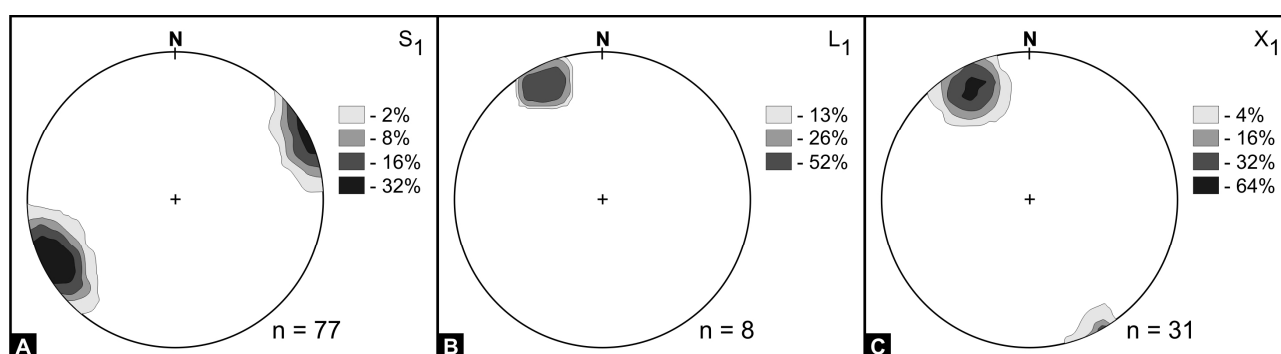


Fig. 8.22 – Diagramas de densidade de pontos relativos à Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica no bordo Oeste da área (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior): A – pólos dos planos de xistosidade S_1 (atitude média $N27^\circ W$, $83^\circ E$); B – lineação de intersecção S_0^S1 (atitude média 15° , $N25^\circ W$); C – lineação de estiramento mineral (atitude média 15° , $N28^\circ W$).

Ao contrário do que acontece no bordo Este da área em estudo, o bordo Oeste apresenta-se em geral muito mais verticalizado. Isto é bastante visível por exemplo se compararmos a Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica, que aflora em ambos os bordos da área. A estrutura D_1 no bordo Este apresenta-se menos inclinada e com uma menor deformação que o bordo Oeste. Tal facto pode ter duas explicações: durante a D_1 tal já sucedia, sendo que no bordo Oeste apresentaria desde logo uma xistosidade mais inclinada que o bordo Este, ou a acção da D_2 que é mais intensa a Oeste levaria a uma reactivação das estruturas D_1 . Os dados de campo parecem indicar que poderá ser uma questão mista. Com efeito, embora o sector Oeste apresente uma série de dobras à macroescala associadas à D_1 Varisca, o que parece não suceder no bordo Este, na pedreira do Mendes é possível observar que estas dobras seriam aparentemente mais abertas do que se encontram actualmente, o que sugere que a D_2 poderá reaproveitar a estrutura inicial, retomando parcialmente as mesmas, e acentuando o encurtamento realizado durante a D_1 . Tal facto é visível na Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica presente no domínio Oeste. A xistosidade S_1 , encontra-se intensamente dobrada, apresentando-se geralmente muito verticalizada ($N27^\circ W$, $83^\circ E$)

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

o que mostra que são dobramentos fechados a isoclinais, sem contudo obliterar as dobras D_1 . Esta retoma das estruturas D_1 , parece contudo não alterar significativamente a orientação das estruturas lineares associada às mesmas, uma vez que as mesmas continuam a apresentar grande uniformidade geométrica (8.22 B e C).

Este reajuste parece contudo mais intenso no domínio Norte que no Sul. Na estrada nacional que liga a povoação de Rossio a Sul do Tejo com o Tramagal, surge uma pedreira artesanal de Carbonatos de dimensões consideráveis, que seria correspondente a nível estrutural da pedreira do Mendes. Esta pedreira apresenta um dobramento com planos axiais verticalizados, não sendo possível a identificação de flancos longos nas dobras à escala cartográfica (fig. 8.23). Tal facto pode dever-se ao reaproveitamento das estruturas D_1 durante a D_2 no sector mais a Oeste.

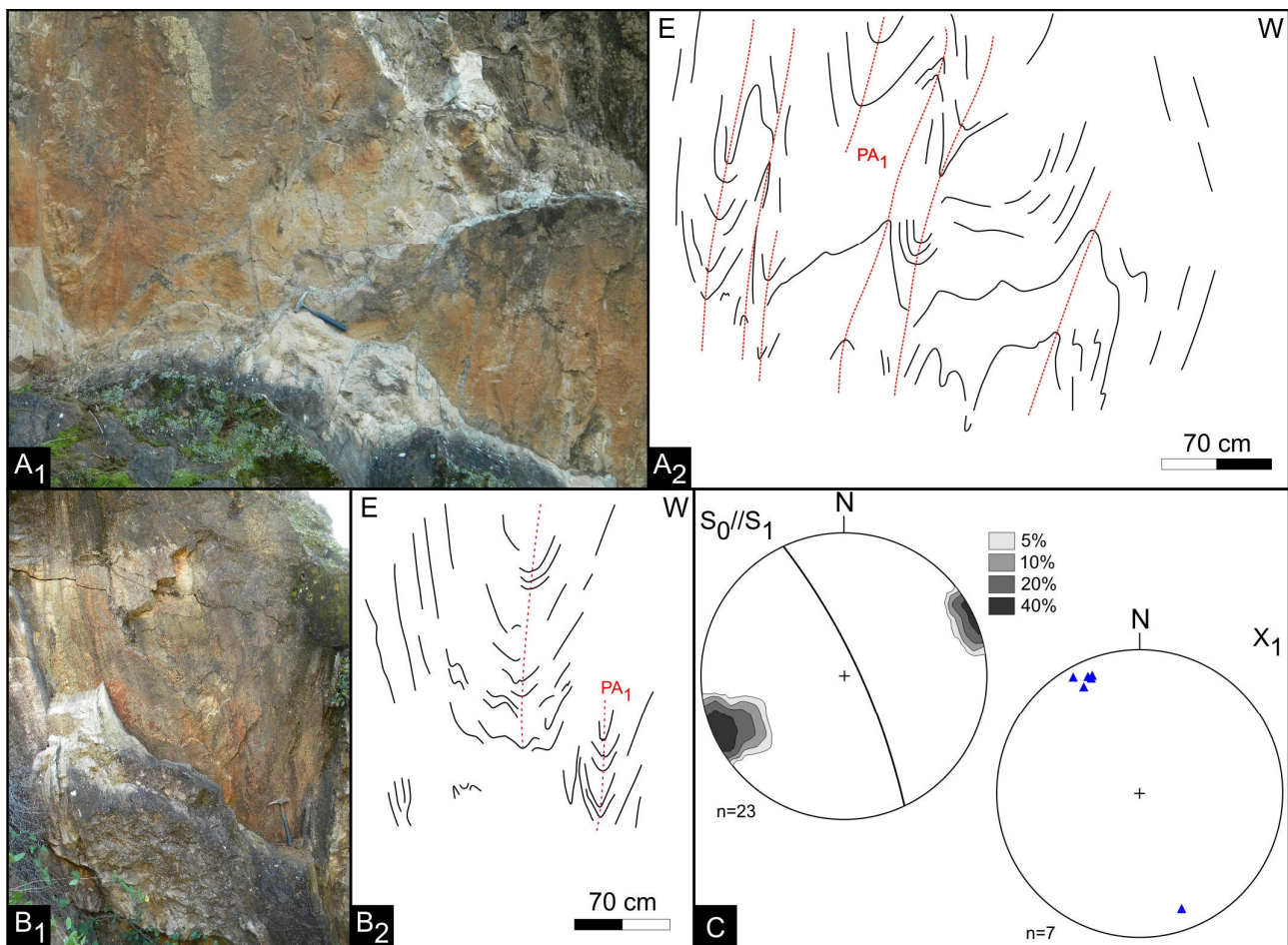


Fig. 8.23 – Dobras menores assimétricas, de flanco curto, mostrando vergência geométrica para o quadrante W: **A** – fotografia (1) e respectivo esquema interpretativo (2); **B** – fotografia (1) e respectivo esquema interpretativo (2); **C** – diagramas de densidade de pontos (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior) relativos aos pólos da estratificação – transpostos pela xistosidade S_1 – (S_0/S_1 ; atitude média $N25^\circ W$, $82^\circ E$) e à lineação de estiramento mineral (X_1 ; atitude média 9° , $N24^\circ W$).

A componente de achatamento nesta região parece ser então um dos mecanismos fundamentais para a geração deste dobramento de segunda fase. Estes dados são também eles corroborantes com o observado nos sectores a Este do sector anteriormente referido. Na Unidade Anfibolítica do

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

Açude de Abrantes, isso parece ser também válido, uma vez que regularmente é possível observar a presença de dobras de eixo sub-horizontal redobrando a xistosidade D_1 anfibolítica característica desta unidade (fig. 8.24). Isto é passível de ser observado não só a nível macroscópico, como também a nível microscópico. Esta componente de achatamento associada à segunda fase de deformação, poderia explicar assim a uniformidade da orientação das estruturas lineares D_1 .

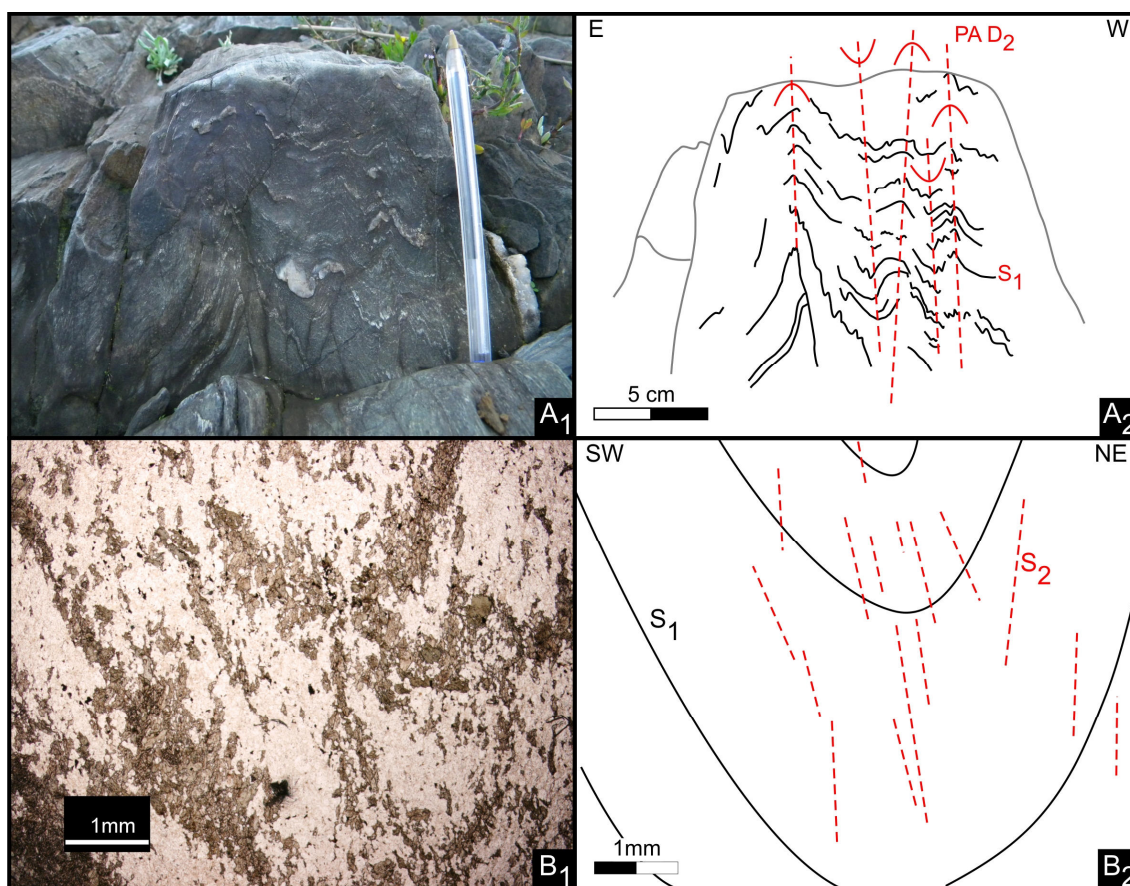


Fig. 8.24 – Acção da segunda fase de deformação varisca na Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes, com desenvolvimento de um dobramento fechado ortorrômico: A – xistosidade S_1 e quartzo a si associado mostrando o desenvolvimento de dobras fechadas e respectiva interpretação; B – dobra D_2 evidenciada pelo dobramento da xistosidade S_1 denotada pelo alinhamento de bandas anfibolíticas intercaladas com bandas quartzo-feldspáticas, com desenvolvimento de uma clivagem incipiente S_2 e respectiva interpretação.

Apesar do aparecimento de estruturas que evidenciam a presença de uma deformação dúctil essencialmente com características de transferência direita (fig. 8.21 E e F) associada a esta fase de deformação, surgem também estruturas que apresentam um comportamento cinemático e geométrico semelhante, mas que parecem evidenciar um regime de deformação frágil-dúctil.

É caso disso, o aparecimento de uma crenulação (fig. 8.25), associada na maioria dos casos a uma geração de quartzo contemporânea e com comportamento geralmente de desligamento (fig. 8.25 e 8.26). A lineação de crenulação é geralmente pouco inclinada, mergulhando tipicamente para SSE (em torno dos 15° , $S18^\circ E$; fig. 8.25 E e F).

**Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba
no sector de Abrantes**

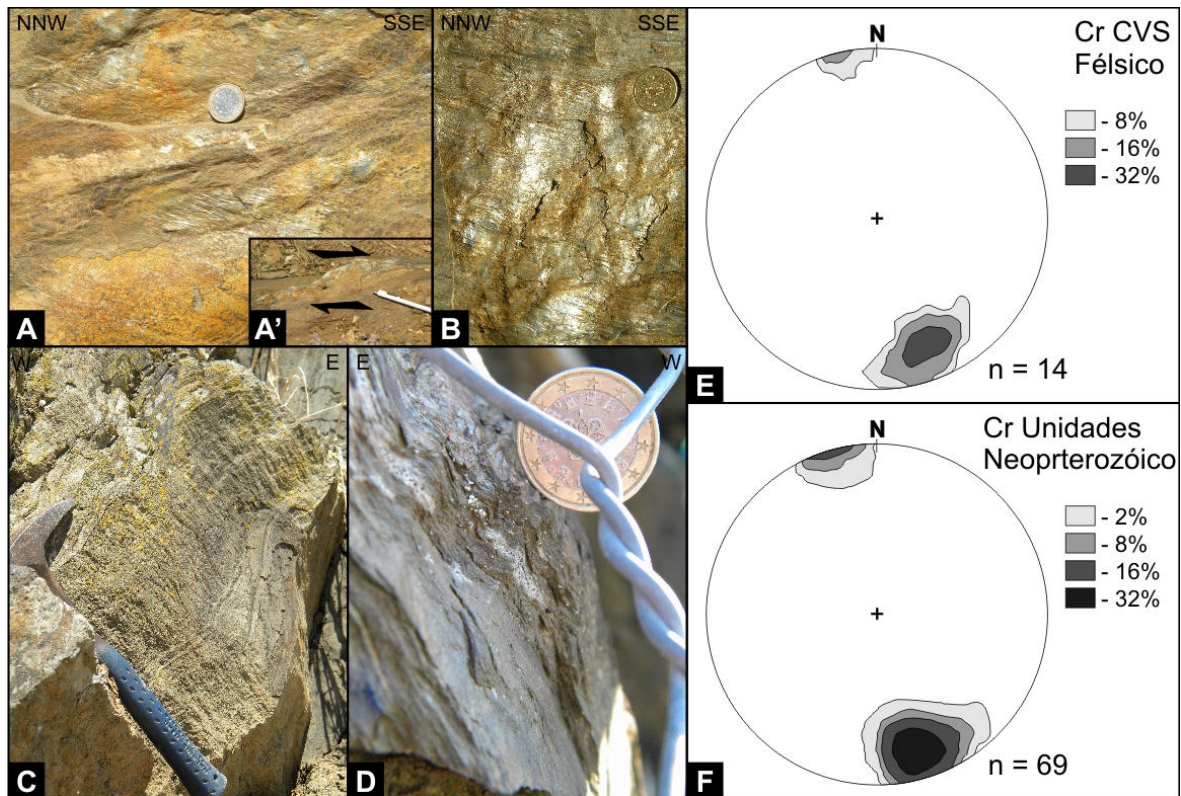


Fig. 8.25 – lineação de crenulação desenvolvida durante a D_2 nas unidades de idade neoproterozóica e câmbria: **A** – desenvolvimento de uma crenulação associada a critérios de cisalhamento direito (A'); **B** – crenulação evidente em micaxistos pertencentes à Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes; **C** – desenvolvimento de dobras milimétricas afectando a xistosidade S_1 , e dos quais resultam do desenvolvimento da clivagem de crenulação; **D** – Corte transversal mostrando o desenvolvimento de dobras milimétricas associadas à crenulação; **E** – diagrama de densidade de pontos relativos à lineação de crenulação desenvolvida na Unidade Vulcano-Sedimentar Félsica (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior) com atitude média 14° , $S18^\circ E$; **F** – diagrama de densidade de pontos relativos à lineação de crenulação desenvolvida nas unidades atribuídas ao neoproterozóico (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior) com atitude média 15° , $S18^\circ E$

Por vezes, esta lineação de crenulação, associada a pequenos acidentes do tipo desligamento, relaciona-se espacialmente a dobras de segunda fase (fig. 8.26), colocando-se então a hipótese do regime de deformação associado à D_2 , ser resultado de um regime transitório entre o regime dúctil e o dúctil-frágil, o que também poderia explicar a presença apenas pontual de uma xistosidade associada a esta fase de deformação

Abonando a favor do anteriormente referido, surge de forma pontual a presença de uma clivagem de fractura bastante intensa que afecta a xistosidade S_1 (fig. 8.27). Esta clivagem de fractura surge espacialmente associada a uma estrutura planar de maior envergadura que será descrita isoladamente no capítulo 8.3 referente às estruturas tardias.

Esta clivagem de fractura apresenta uma atitude média $N31^\circ W$, $62^\circ E$, estando também ela associada a uma geração de quartzo, e que apresenta evidencias de ser cinematicamente activa, apresentando estrias sub-horizontais. Esta apresenta similaridades com a atitude dos planos axiais da clivagem de crenulação anteriormente descrita (fig. 8.25C).

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

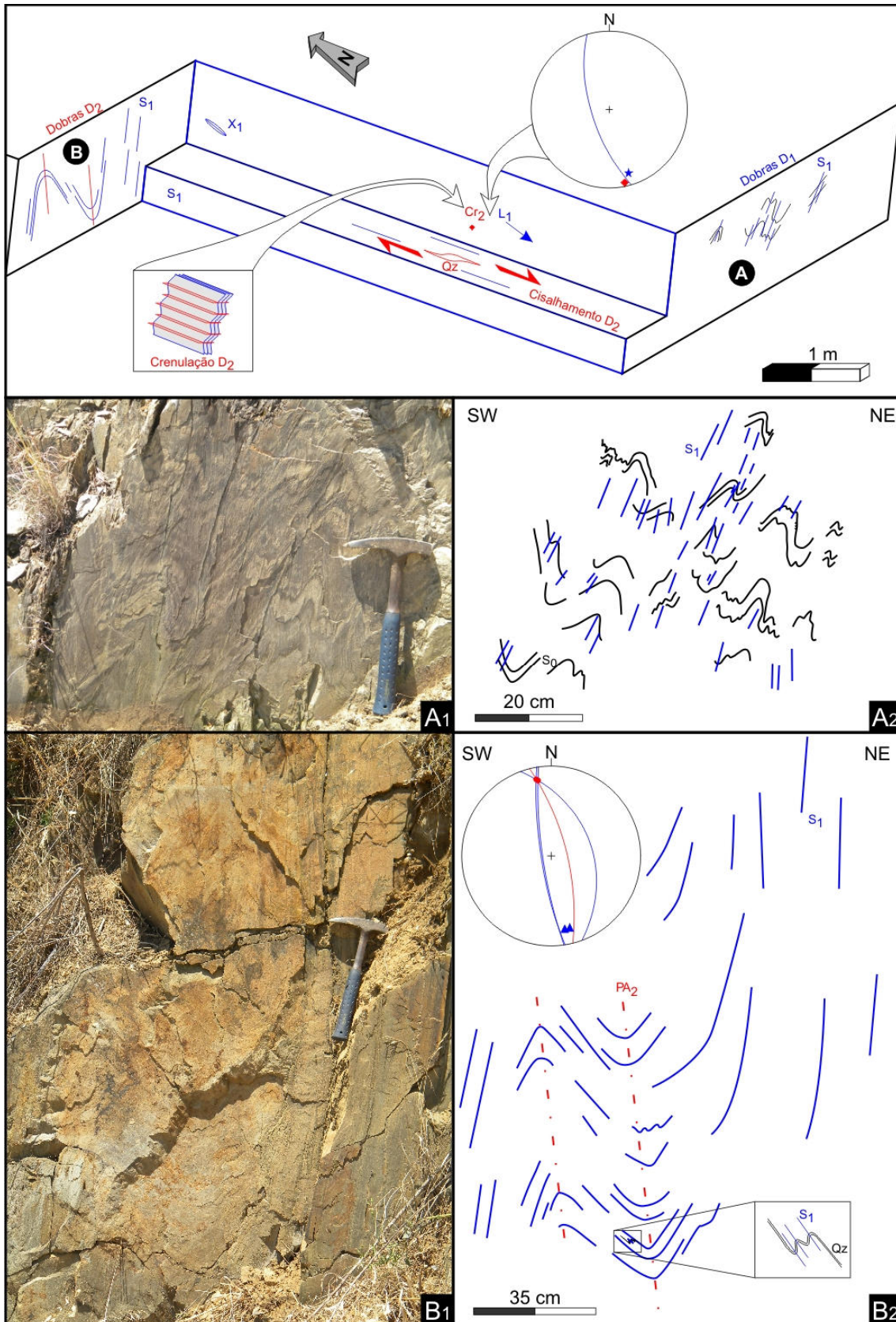


Fig. 8.26 – Esquema interpretativo mostrando relações espaciais claras entre o dobramento D₂, a lineação de crenulação e a presença de cisalhamentos direitos associados a esta fase de deformação, afectando estruturas D₁: **A** – Dobra D₁ assimétrica mostrando o estilo de dobramento associada a esta fase, bem como o desenvolvimento de uma xistosidade S₁ de plano axial das dobras; **B** – Dobras D₂ com uma geometria muito apertada afectando a xistosidade S₁, que por sua vez dobra um veio de quartzo dobrado com S₁ de plano axial.

**Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba
no sector de Abrantes**

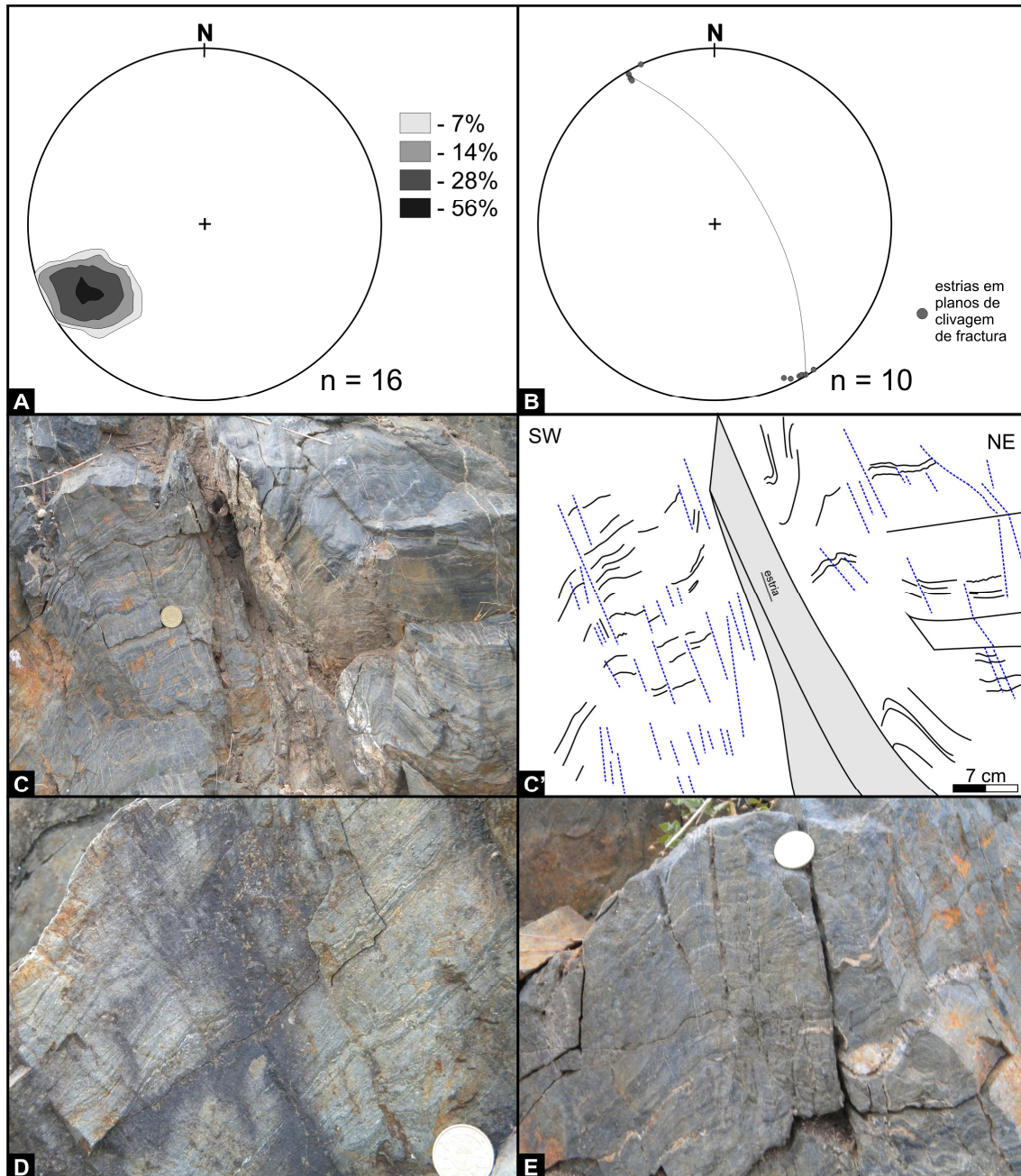


Fig. 8.27 – Clivagem de fractura pontual resultante da actuação em regime frágil-dúctil da componente de cisalhamento direito: **A** – diagrama de densidade de pontos relativos aos pólos da clivagem de fractura (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior) com atitude média N31°W, 62°E; **B** – diagrama assinalando a atitude das estrias medidas em planos de clivagem de fractura, evidenciando a atitude média do plano de clivagem de fractura (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior); **C** – fotografia mostrando o desenvolvimento de um plano de clivagem de fractura cinematicamente activo, com desenvolvimento de uma clivagem de fractura e quartzo associado, com respectiva interpretação (C’); **D** e **E** – imagens representativas da actuação da clivagem de fractura sobre as estruturas planares anteriores, com formação de pequenas ondulações no plano de xistosidade S_1 .

8.2.2.2 Análise cinemática

No que respeita a análise da cinemática global associada a esta fase de deformação, como foi referido anteriormente, esta fase apresenta-se frequentemente associada a *fabrics* planares do tipo C-S e C-C’. Estes *fabrics* planares apresentam-se na maioria dos casos como bons indicadores cinemáticos (Twiss & Moores, 1992; Blenkinsop & Treloar, 1995). A acção dos planos de

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

cisalhamento, neste caso verticais, sobre a xistosidade S_1 ou sobre outro qualquer indicador cinemático associado a esta fase (e.g. filonete de quartzo; fig. 8.28), ou mesmo anterior, vai deflecti-la, na maioria dos com uma forma sigmóidal, permitindo assim a análise cinemática da estrutura (Twiss & Moores, 1992). Com a progressão da deformação associada ao cisalhamento, a xistosidade anterior tende a paralelizar aos planos de cisalhamento, tornando-os muitas vezes indistinguíveis. Surgem nesse momento, por vezes, novas estruturas planares designadas de bandas C' , que se caracterizam por apresentar cinemática sintética com a do cisalhamento principal, fazendo com o mesmo um baixo ângulo (fig. 8.28).

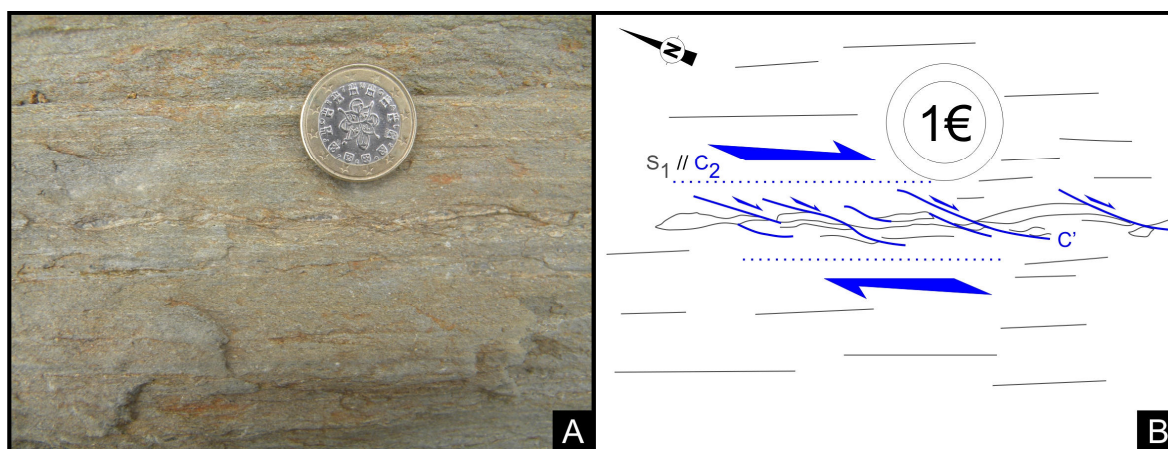


Fig. 8.28 – Presença de bandas C_2 paralelas à xistosidade S_1 na vizinhança do limite entre a Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes e a Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes, com desenvolvimento de banda C' que afectam a xistosidade S_1 , denotando uma cinemática direita clara.

A presença de estruturas deste género é bastante comum em toda a área (fig. 8.29), embora desenvolvendo-se com especial importância nos sectores mais a Oeste, onde chega a tornar-se a estrutura principal; com efeito, toda a Unidade de Micaxistos com granada é caracterizada pelo aparecimento penetrativo de um *fabric* planar C-C', característico de uma intensa deformação associada a uma deformação progressiva de carácter não coaxial. Todas estas estruturas estão associadas a uma cinemática direita sendo comum a deflexão da xistosidade S_n , formas sigmóidais que evidenciam uma cinemática direita muito clara. Contudo, não só destas estruturas se pode retirar a cinemática direita da D_2 . Toda esta unidade apresenta filonetes de quartzo altamente deformados com forma sigmóidal e que deixam de ter continuidade lateral (fig. 8.29 A, B e C). A presença destes critérios, tornam válidos também, a assimetria das dobras em quartzo de primeira fase, que muitas vezes se apresentam pela sua assimetria como um critério cinemático, embora não tão fiável como as anteriores. Alguns filonetes de quartzo apresentam-se *boudinados* assimetricamente (estas estruturas são designadas por Passchier & Trouw, 2005 como *boudins* em “*shearbands*”), revelando também eles uma cinemática direita clara.

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba
no sector de Abrantes

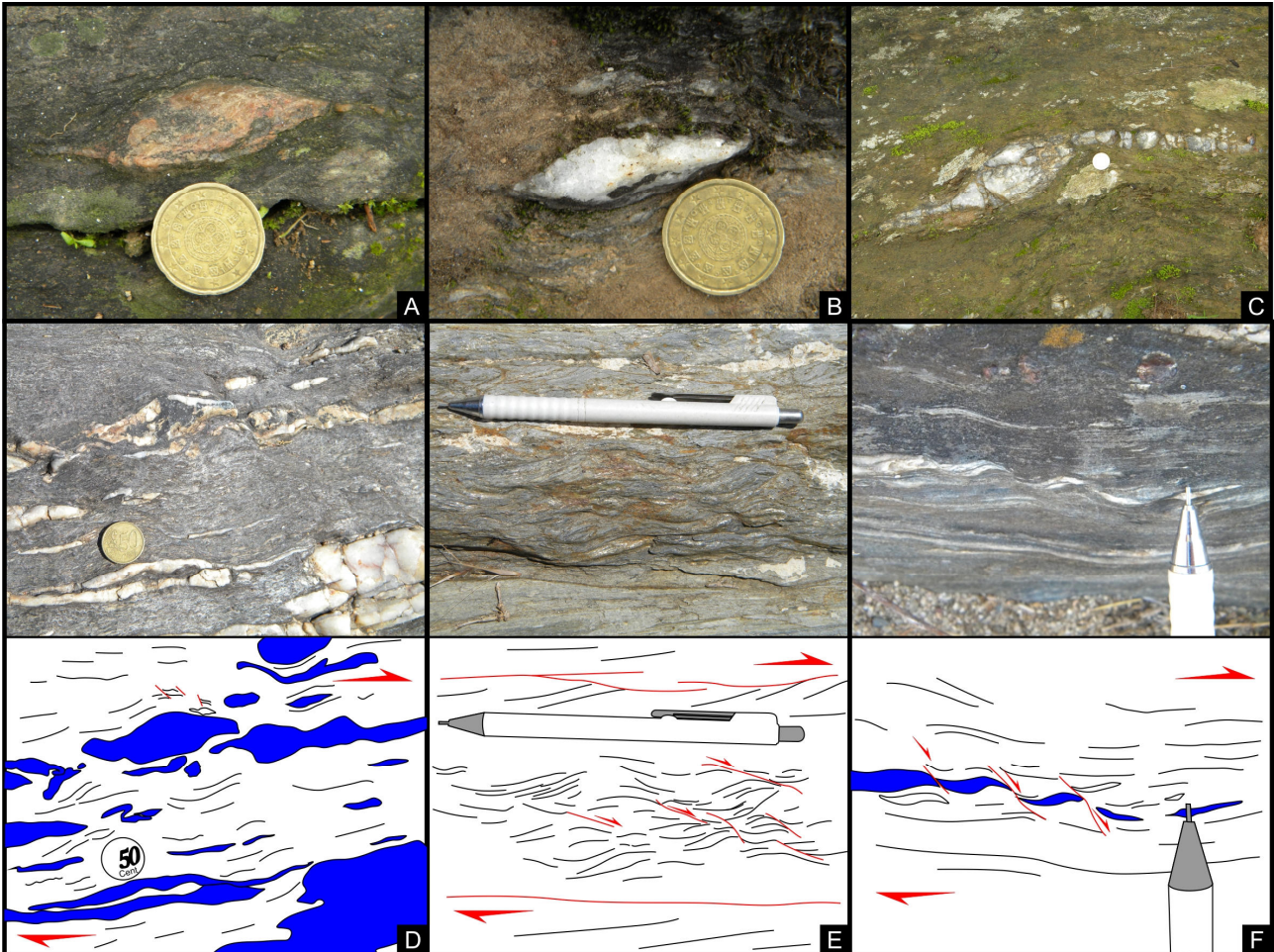


Fig. 8.29 – Critérios macroscópicos que atestam a cinemática direita típica da D_2 Varisca na região de Abrantes: **A**, **B** e **C** – Objectos sigmóidais, evidenciados pela deformação de quartzo associada à D_1 Varisca; **D** – foliação S_n na Unidade dos Micaxistos Granatíferos do Tramagal afectada por uma segunda fase de deformação, originando dobras assimétricas e sigmóides em quartzo; **E** – desenvolvimento de bandas C-C' em micaxistos biotíticos com granada na Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes; **F** – desenvolvimento de *fabric's* C-C', afectando filonete milimétrico de quartzo associado à D_1 Varisca na região, dando origem a *boudins* em “*shearbands*”.

Outro dos critérios macroscópicos claro em termos de se deduzir a cinemática da D_2 nesta unidade é a presença de estruturas rotacionais.; é comum em toda a unidade o aparecimento deste mineral resultante do processo metamórfico anterior. Estas granadas vão comportar-se como um corpo rígido, adquirindo vorticidade, típica de deformação em regime não coaxial, resultante do processo de deformação progressiva (Borges, 2010 e referências inclusas). Estes porfiroblastos de granadas, rodeados de uma matriz micácea, e portanto mais plástica, vão adquirir então uma vorticidade pela sua rigidez, tornando-os em objectos do tipo δ . Esta rotação das granadas, com cinemática direita associada, não só é visível a nível macroscópico, como de forma clara a nível microscópico (fig. 8.30). A granada apresenta-se na maioria dos casos rolada, sendo rara a observação de granadas euédricas, sendo o metamorfismo que lhe deu origem, anterior à fase de deformação que lhe conferiu a vorticidade. Estes objectos rígidos apresentam cristalização de

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

biotite nos seus bordos, formando sombras de pressão, uma vez que o material é exógeno relativamente ao grão (Borges, 2010 e referências inclusas; fig. 8.30).

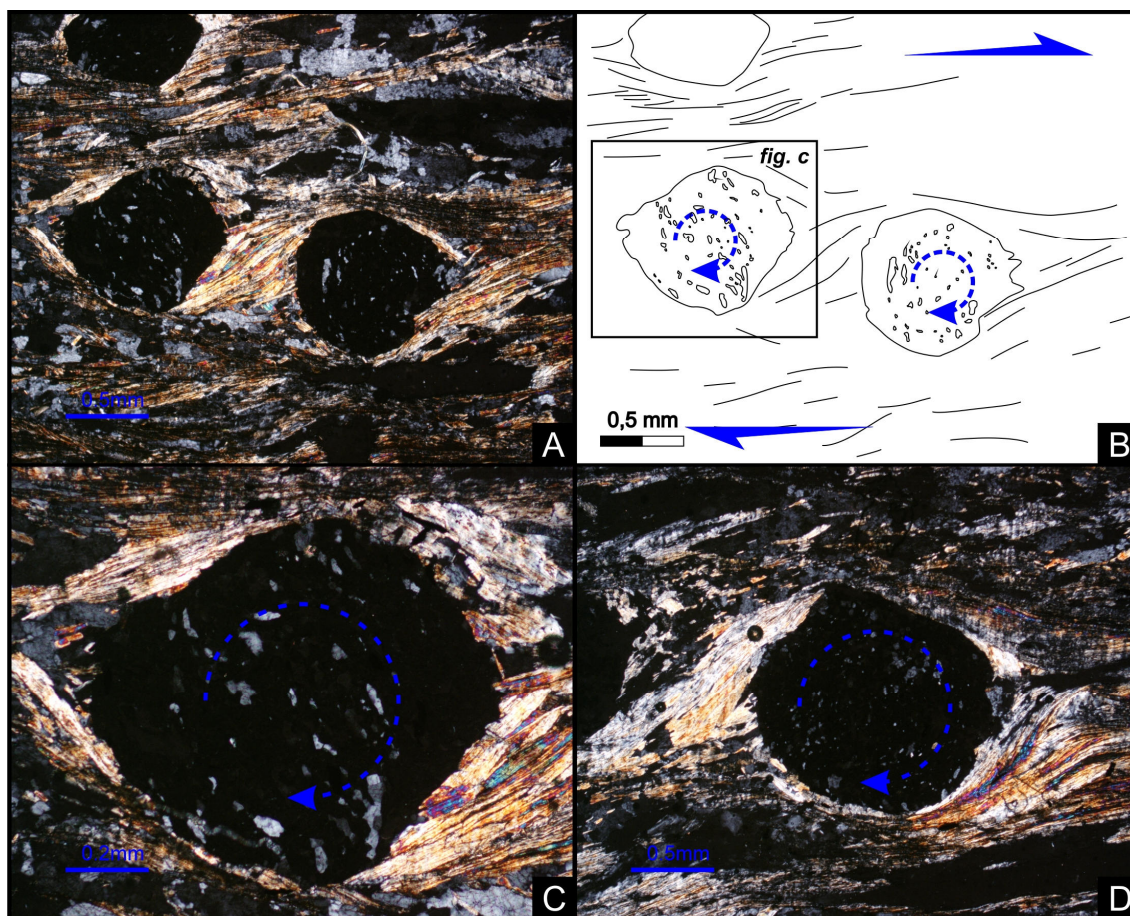


Fig. 8.30 – Estrutura do tipo delta desenvolvidas nas granadas pertencentes à Unidade de Micaxistos Granatíferos do Tramagal: **A** – granada mostrando uma rotação sintética dos ponteiros do relógio, com cristalização de biotite associado ao processo de rotação e respectiva interpretação (**B**); **C** e **D** – rotação dextra de porfiroblastos de granada evidenciando a cinemática direita associada a esta deformação, denotando-se em **C** a presença de quartzo no seio da granada que parecem mostrar também eles uma cinemática direita associada à rotação.

Na figura 8.30B e C, surgem porfiroblastos de granada que exibindo textura em bola de neve, caracterizado pela presença de uma foliação interna com aspecto helicoidal, denunciando a rotação rígida do grão (Borges, 2010 e referências inclusas). Esta textura em bola de neve é indicadora de vorticidade associada ao processo metamórfico que lhe dá origem, podendo ser utilizada como um critério cinemático (Borges, 2010 e referências inclusas).

Assim sendo, esta observação confere a esta unidade aquilo que poderá ser uma história mais complexa antecipada anteriormente na descrição da D₁ varisca na região, sendo que o metamorfismo exibido pode estar relacionado com um regime cinemático e dinâmico aparentemente distinto das restantes unidades.

Também na Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes, junto ao seu limite com a Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes, surgem critérios cinemáticos direitos claros macroscópicos e

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

microscópicos (fig. 8.31 e 8.29 E). Esta unidade apresenta também um *fabric* planar caracterizado pelo aparecimento de bandas C-C' e C-S, com critérios cinemáticos claramente direitos. Também aqui é possível observar no micaxistos granatíferos pertencentes a esta unidade a rotação dos grãos de granada, aqui apresentando cataclase intensa associada à deformação sofrida. A presença de cataclase na granada não nos fornece indicações importantes, pois a granada apresenta este tipo de comportamento até temperaturas que rondam os 600°C (Passchier & Trouw, 2005 e referências inclusas).

Os critérios dúcteis dentro desta unidade surgem na sua totalidade junto ao contacto entre as duas unidades anteriormente referidas, podendo revelar a activação deste contacto por uma zona de cisalhamento direita, aliás como acontece no contacto entre algumas das unidades.

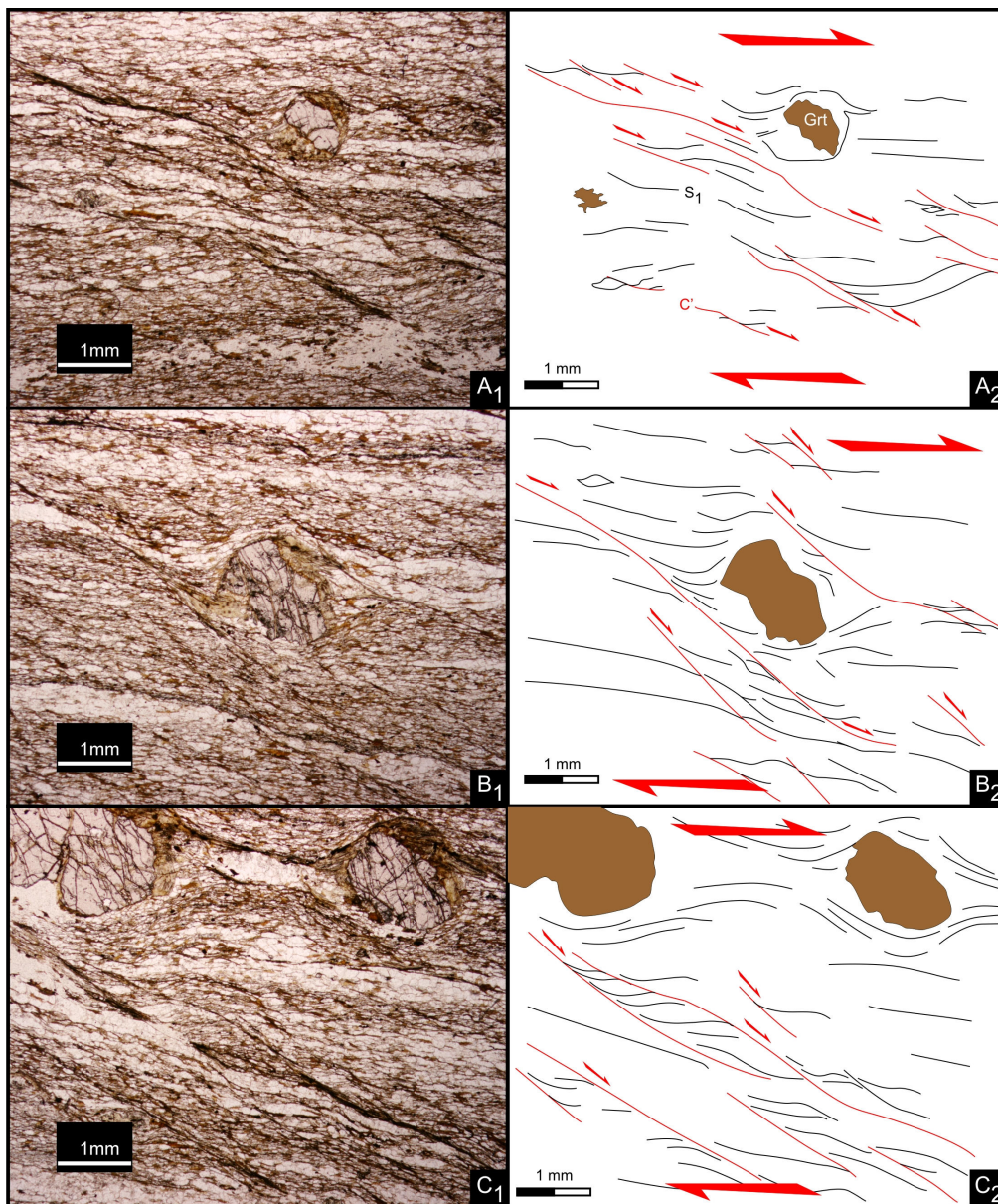


Fig. 8.31 – Desenvolvimento de um *fabric* C-C' associado à segunda fase de deformação, afectando de forma clara a xistosidade S₁ presente nos micaxistos biotíticos com granada pertencentes à Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes, associado a uma componente de cisalhamento direito.

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

No que respeita à clivagem de crenulação, esta associa-se também a um regime de deformação associado à presença de cisalhamentos direitos (fig. 8.25A e 8.26), estes parecem estar associados a episódios em regime de transição dúctil-frágil. Estes cisalhamentos apresentam-se na generalidade dos casos associado a uma geração de quartzo tardia. É comum o aparecimento de estruturas sigmoidais em quartzo, ou por deflexão da própria xistosidade S_1 , que mostram de forma clara a cinemática direita destes cisalhamentos, que são na maioria dos casos discretos.

No que respeita à clivagem de fractura desenvolvida nas proximidades dos acidentes com características frágeis, a sua associação espacial ao mesmo, assim como a existência de uma cinemática direita a si associada, faz antever a actuação de uma zona de cisalhamento principal, que apresenta deformação desde as fases mais dúcteis, até às fases mais frágeis.

8.2.2. A zona de cisalhamento Carvalhães-Portela

A zona de cisalhamento Carvalhães-Portela (ver mapa estrutural em ANEXO D) apresenta-se como uma das principais estruturas no contexto geodinâmico geral da segunda fase de deformação Varisca para a região de Abrantes. Nesta zona de cisalhamento é possível com clareza observar e datar relativamente as duas principais fases de deformação identificadas na região e, consequentemente, as estruturas a elas associadas.

A acção desta zona de cisalhamento D_2 vai criar um padrão de interferência de dobramento $D_1 \wedge D_2$, bastante claro a nível cartográfico. Este padrão de interferência é resultante da sobreposição das duas fases de deformação dúctil presentes na região. As geometrias e cinemáticas distintas destas duas fases vão resultar num padrão complexo de deformação caracterizado pela presença de dobras D_1 com planos axiais fortemente ondulados; esta ondulação do plano axial das dobras D_1 é resultante da actuação da D_2 . Neste local a D_2 caracteriza-se por apresentar dobras escalonadas (*en echelon*) resultantes do processo de cisalhamento transcorrente direito associada a esta fase de deformação. Apesar da segunda fase de deformação ser intensa nalguns sectores o desenvolvimento de uma xistosidade contemporânea deste evento tectónico é muito incipiente, o que sugere que a deformação ocorreu em condições relativamente superficiais

A sequência de sinformas e antiformas resultante da primeira fase de deformação apresentaria uma orientação inicial grosso modo NW-SE a NNW-SSE, ostentando vergência geométrica para o quadrante SW e eixos ligeiramente inclinados para o quadrante SE. Este conjunto de dobras foi então afectado pelo aparecimento das dobras escalonadas D_2 , associadas ao regime de cisalhamento direito, com direcção próxima do E-W. O padrão de afloramento da interferência de dobramentos observado (ver mapa estrutural em ANEXO D) é de todo compatível com o do tipo 3 definido por

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

Ramsay (1967; fig. 8.32); este padrão de interferência forma-se tipicamente quando os planos axiais das duas famílias de dobramento fazem entre si um ângulo, sendo o caso extremo a ortogonalidade completa entre os dois planos axiais.

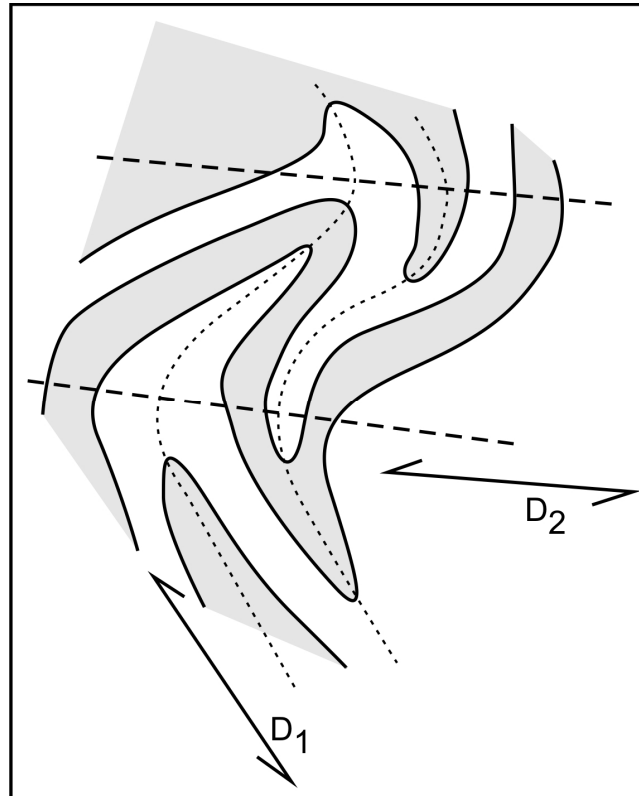


Fig. 8.32 – Representação esquemática do padrão de interferência de dobramentos do tipo 3 definido por Ramsay (1967).

As estruturas associadas a esta zona de cisalhamento destacam a presença de uma partição da deformação associada ao regime de cisalhamento direito D_2 . Com efeito, a sua variação espacial mostra que enquanto em alguns sectores o regime de cisalhamento puro é dominante, retomando as estruturas D_1 , achatando-as e redobrando-as, noutros locais a componente de cisalhamento simples surge como mecanismo dominante, com a formação de dobras escalonadas.

O padrão de interferência causado por acção desta zona de cisalhamento pode ser observado no Mapa Estrutural da Zona de Cisalhamento Carvalhões-Portela localizado em ANEXO D.

A partição da deformação que se referiu anteriormente associada à segunda fase de deformação aqui observável, é sugerida pela forte heterogeneidade da distribuição espacial das estruturas quando se compara os sectores oeste e este da região. Com efeito, em relação à atitude da xistosidade S_1 no sector SW (projecção estereográfica E do mapa estrutural) observa-se com clareza uma grande dispersão, com direcções variando de NE-SW a N-S mas com inclinações sempre para o sector N. Tal acontece porque as dobras D_2 que se encontram escalonadas em relação à zona de

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

cisalhamento, vão afectar de forma clara a xistosidade S_1 , reorientando-a. Este comportamento, contrasta fortemente com o que se observa nos sectores mais a Este (estereográficas A a D do mapa estrutural da página X),—onde a orientação desta estrutura planar apresenta uma dispersão muito reduzida, mas uma ligeira variação de direcção de N para S; nos domínios mais a Norte S_1 é claramente mais próxima do Norte-Sul (estereográficas A e B) que nos sectores mais a Sul onde a direcção média é mais próxima de NW-SE (estereográficas C e D). Esta curvatura na unidade carbonatada é também ela susceptível de ser interpretada como uma evidência à escala cartográfica da presença de uma componente de cisalhamento direito associado a esta segunda fase de deformação.

Embora no global, toda a segunda fase de deformação seja corroborante com um regime de cisalhamento direito, os sectores imediatamente a Oeste da Zona de Cisalhamento Carvalhães-Portela apresentam um regime correlacionável com a presença de uma componente de cisalhamento simples dominante (*Simple Shear dominated Transpression* de acordo com a terminologia de Fossen & Tikoff, 1993) enquanto nos sectores imediatamente a Este a componente de cisalhamento puro durante a D_2 é mais importante (*Pure Shear dominated Transpression* de acordo com a terminologia de Fossen & Tikoff, 1993). Este comportamento revela uma importante partição da deformação a nível regional, associada a um regime transpressivo de cinemática direita.

No entanto, a heterogeneidade da deformação D_2 revela-se também dentro do próprio domínio W. Com efeito, enquanto mais a N a xistosidade S_1 apresenta uma dispersão fraca (estereográficas A), a sul a dispersão é forte (estereográficas E) e os dobramentos D_2 tendem a fazer um ângulo forte com os D_1 dando origem aos padrões de interferência já descritos. Este padrão de deformação pode ser explicado se admitirmos que a intensidade do movimento transcorrente direito ao longo da zona de cisalhamento de Carvalhães-Portela é maior a Sul e diminui para Norte, o que também explica o facto da Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes aflorar no núcleo do anticlinal por debaixo dos calcários.

8.2.3. A Brecha de S. João

Na Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes, perto do limite com a Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica, surge uma brecha (sem expressão a nível cartográfico) constituída por litoclástos diversos, entre os quais se destaca a presença de carbonatos, xistos ardosíferos e xistos grafitosos abundantes, com abundante calcite recristalizada (fig. 8.33). Esta brecha surge como resultado de uma intensa cataclase associada a acidentes de dimensões métricas a decimétricas. Esta brecha (a partir de agora designada de Brecha de S. João) apresenta-se bastante localizada, associando-se indubitavelmente a acidentes de direcção aproximadamente Norte-Sul,

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

com fortes pendores para Oeste ($S4^{\circ}W, 72^{\circ}W$; fig. 8.33 A). Os acidentes apresentam características intermédias entre um regime frágil e fragil-dúctil, muito embora a intensa cataclase possa sugerir um regime mais frágil.

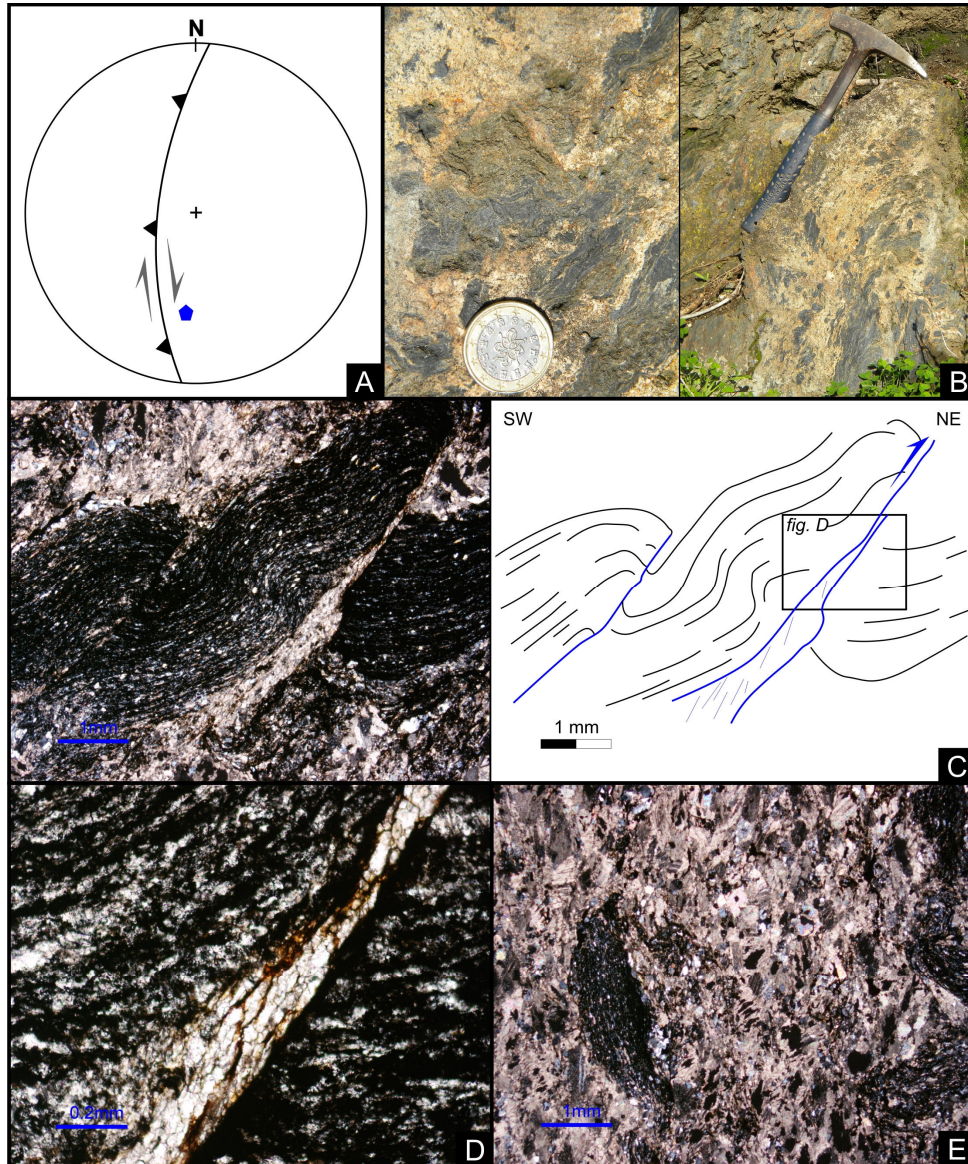


Fig. 8.33 – Aspectos geométricos, cinemáticos e texturais da Brecha de S. João: A – Diagrama mostrando a relação geométrica entre um dos planos de acidente e as respectivas estrias, denotando a presença de uma cinemática oblíqua direita e cavalgante; B – aspecto cataclástico característico da Brecha de S. João com a presença abundante de carbonatos precipitados; C – microfotografia, perpendicular ao plano de acidente e contendo a estria, denotando a presença da componente de cavalgamento para o quadrante NE (nicóis paralelos) e respectiva interpretação; D – pormenor do plano de acidente com recristalização de calcite e biotite no seio da mesma (nicóis paralelos); E – pormenor da textura cataclástica da Brecha de S. João, denotando a presença de carbonatos, biotite-quartzo e litoclastos de um material de cor escura, que pela sua óptica aparenta ser um xisto grafitoso (nicóis paralelos).

O Corte da Avenida (localizado nas proximidades do limite entre a Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes e a Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica, no extremo Este da área de estudo; fig. 8. 35) permite uma associação espacial destes planos de acidente com diversas estruturas associadas à segunda fase de deformação como são o caso de crenulações,

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

dobramentos de geometria complexa, alguns dos quais associados espacialmente a uma xistosidade S_2 , muito pouco penetrativa apenas presente nos níveis mais pelíticos. É de realçar que embora a xistosidade S_2 não se desenvolva de forma abrangente em toda a região, neste sector particular, surgem vários locais onde é possível observar a presença de uma S_2 comparativamente abundante, mas sempre associada aos níveis pelíticos. Esta xistosidade S_2 , apresenta uma atitude média $S16^\circ E, 84^\circ W$ (fig. 8.34).

Num dos planos de falha, surgem estrias com atitude $42^\circ, S04^\circ W$, revelando uma movimentação oblíqua nestes acidentes. A análise cinemática macro e microscópica dos planos de brechificação, revelam a presença de uma componente cavalgante clara para o quadrante E. Tendo em conta a relação geométrica entre o plano de acidente e as respectivas estrias, esta componente de cavalgamento faz-se acompanhar por um regime de desligamento direito, conferindo-lhe a cinemática oblíqua anteriormente referida.

Estes acidentes D_2 , que na globalidade da área parecem apresentar uma cinemática do tipo desligamento predominante, podem neste local explicar a razão pela qual a relação estratigráfica neste limite está invertida; com efeito, um acidente de cinemática cavalgante associada a um regime de desligamento direito, semelhante aos acidentes de menores dimensões aqui mencionados, pode colocar esta unidade atribuída ao Neoproterozóico sobre a Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica atribuída ao Câmbrico (fig. 8.35). A hipótese da sobreposição desta unidade neoproterozóica sobre a unidade Câmbrica, explicaria assim a existência de critérios de vergência geométrica de primeira fase, que apontavam para que a Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica se encontrasse num flanco longo de uma de 1ª ordem, reportado quer pelas relações estratificação/xistosidade S_1 , quer pela geometria das dobras de 2ª ordem, aparentemente invertida, com a unidade proterozóica a localizar-se a topo da unidade câmbrica.

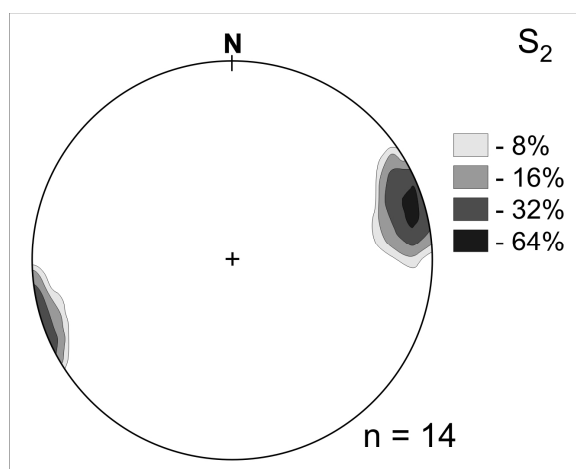


Fig. 8.34 – Diagrama de densidade de pontos relativo aos pólos dos planos de xistosidade S_2 na Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior; atitude média $S16^\circ E, 84^\circ W$).

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

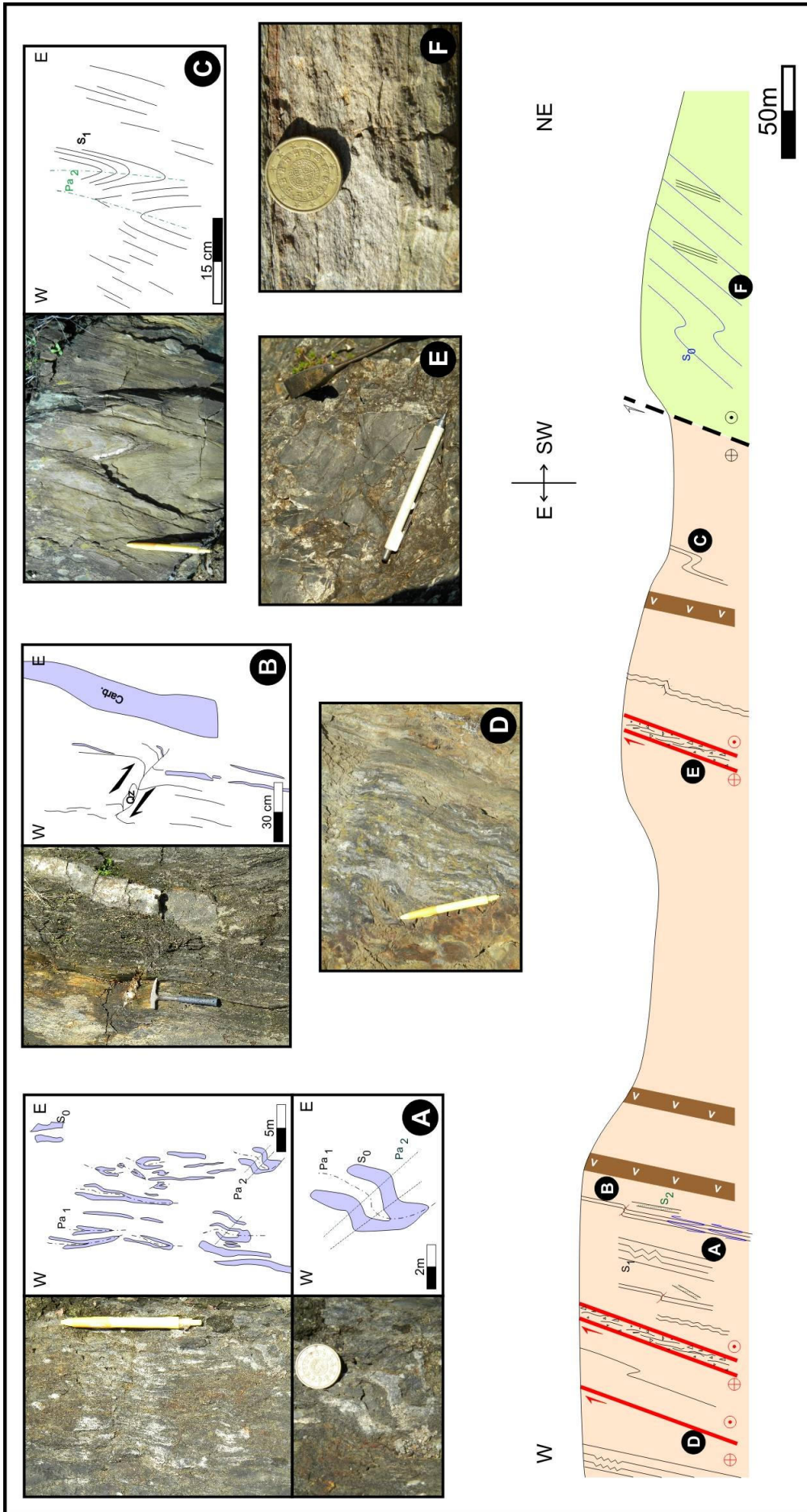


Fig. 8.35 – Corte geológico esquemático da Avenida, evidenciando o limite entre a Unidade Vulcano-Sedimentar de Abrantes (atribuída ao Neoproterozóico) e a Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica, localizada no sector Este da área em estudo. No seio da unidade Neoproterozóica, surgem frequentemente a presença de corpos filoníanos de natureza básica, atribuídos ao Câmbrio inferior (assinalados no corte a Castanho). Chama-se a atenção para algumas particularidades estruturais do corte em causa: **A** – por menor da presença de carbonatos no seio da Unidade vulcano-sedimentar de Abrantes; **B** – presença de estruturas de primeira fase associadas espacialmente aos acidentes deformados pela acção da D_1 Varisca exibindo pontualmente a estrutura primordial (S_0); **C** – dobras D_2 afectando a xistossidade S_1 desenvolvendo de forma penetrativa em toda a Unidade vulcano-sedimentar de Abrantes; **D** – direita-cavalgante presentes na região; **E** – Brecha de S. João associada a um acidente de cinemática oblíqua; **F** – aspecto geral da Unidade Vulcano-Sedimentar Félsica, com as suas tonalidades rosa esbranquiçada típica.

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

8.2.4. Zona de cisalhamento na transição entre a Unidade Carbonatada e a Unidade Vulcano-Sedimentar Félsica

Esta zona de cisalhamento (ver localização no mapa estrutural localizado em ANEXO D) apresenta-se como uma das mais importantes estruturas para a compreensão da cinemática da segunda fase de deformação. Esta estrutura desenvolve-se na sua totalidade no limite entre a unidade Carbonatada e a Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica, que estratigraficamente se encontra na sua base. Este limite litoestratigráfico é reaproveitado durante a D_2 , criando-se aqui um importante acidente de cinemática direita.

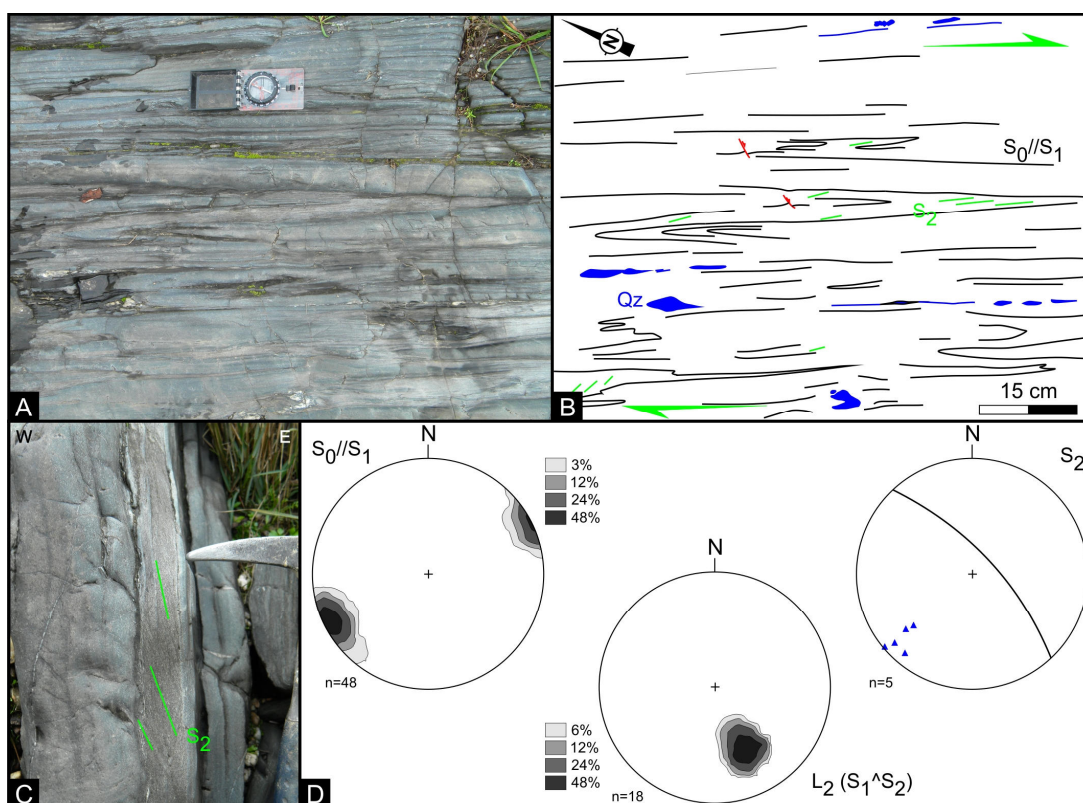


Fig. 8.36 – Estruturas associadas à zona de cisalhamento de segunda fase presente no seio da Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica: A – desenvolvimento de um dobramento de segunda fase intenso, com desenvolvimento de xistosidade S_2 pontual e respectiva interpretação (B); C – pormenor de clivagem de segunda fase desenvolvida pontualmente em leitos pelíticos; D – Diagramas de densidades de pontos (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior) relativos aos pólos dos planos de xistosidade S_1 (atitude média $N27^\circ W$, $85^\circ E$), aos pólos dos planos de xistosidade S_2 (pólos dos planos assinalados a azul, com representação do plano médio; atitude média $N43^\circ W$, $75^\circ E$) e respectiva lineação de intersecção entre as estruturas planares anteriormente referidas (atitude média 41° , $S26^\circ E$).

Na unidade Vulcano-Sedimentar associado a este acidente a xistosidade S_1 apresenta-se intensamente dobrada. Este dobramento é caracterizado por uma geometria ortorrômbica, sendo as dobras fechadas a isoclinais (fig. 8.36), com eixos de dobras ligeiramente mergulhantes para NW. Associado a este dobramento surge pontualmente nas unidades mais pelíticas uma xistosidade de segunda fase, que não é uma xistosidade de plano axial das dobras. O plano axial das dobras é

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

essencialmente paralelo à orientação dos flancos (N27°W), que são paralelos entre si, sendo que a xistosidade S_2 apresenta uma atitude média N43°W, 75°E (fig. 8.36), o que denota a presença de um ângulo de cerca de 20° entre as direcção dos planos axiais das dobras e da xistosidade S_2 associada. Esta xistosidade não aparece de forma penetrativa surgindo apenas nas bancadas mais pelíticas presentes nesta unidade: a refração da clivagem não é uma explicação plausível para a diferença das direcções da estruturação observada. Como já foi referido, a segunda fase de deformação varisca no sector de Abrantes caracteriza-se por um regime de deformação não coaxial associado a um regime transpressivo direito. Tendo em conta o anteriormente referido, pode pressupor-se o desenvolvimento de uma clivagem *en echelon* neste local associado ao regime transpressivo direito. Contudo, não se deve excluir a possibilidade da existência de transecção, processo aliás muito comum em regimes não coaxiais. Segundo esta possibilidade, os dobramentos são ligeiramente mais antigos que a xistosidade, apresentando-se por isso ligeiramente rodados, por acção da deformação progressiva, fazendo assim um ângulo com os planos axiais das dobras a que estão associados.

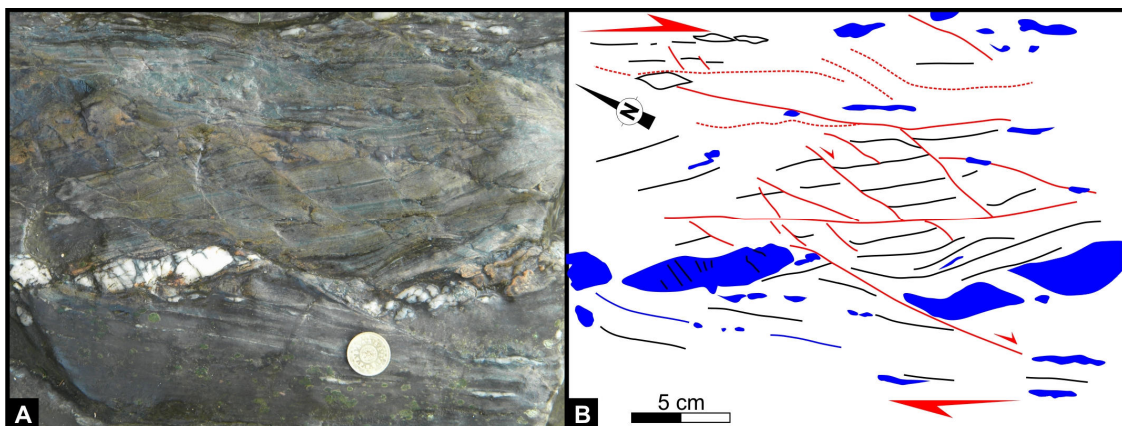


Fig. 8.37 – Estruturas D_2 afectando a xistosidade e os veios de quartzo associados à D_1 varisca, denotando a presença de uma cinemática direita associada à D_2 com desenvolvimento de bandas C' rejeitando as estruturas anteriores: fotografia (A) e respectiva interpretação (B)

Os critérios de movimentação direita na unidade em causa são comuns, com desenvolvimento de *fabric's* pontuais do tipo C-C' (fig. 8.37) e sigmóides. Para além do anteriormente referido, é possível observar também o desenvolvimento de bandas *kink* direitas no seio desta unidade. Estas bandas *kink* apresentam um ângulo com o plano de cisalhamento principal (que para efeitos práticos se considera paralelo a S_1) em torno do 40-45°. A progressão da deformação nestas bandas *kink* leva à cedência dos planos axiais dos mesmos. À medida que a deformação vai progredindo, ao longo destes cisalhamentos sintéticos em relação ao acidente maior, o ângulo entre o plano de Cisalhamento menor e o principal vai diminuindo progressivamente, tendendo o acidente menor a paralelizar a xistosidade S_1 e consequentemente os planos de cisalhamento principal; num estágio terminal estes acidentes podem mesmo paralelizar a estrutura, sendo que as dobras de arraste

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

passam a ser as únicas estruturas que permitem a identificação deste estágio evolutivo tardio. Esta sequência evolutiva pode ser observada de forma clara na sequência de imagens e respectivas interpretações presentes na fig. 8.38. Pontualmente associado a estas estruturas desenvolve-se uma xistosidade S_2 nos níveis mais pelíticos.

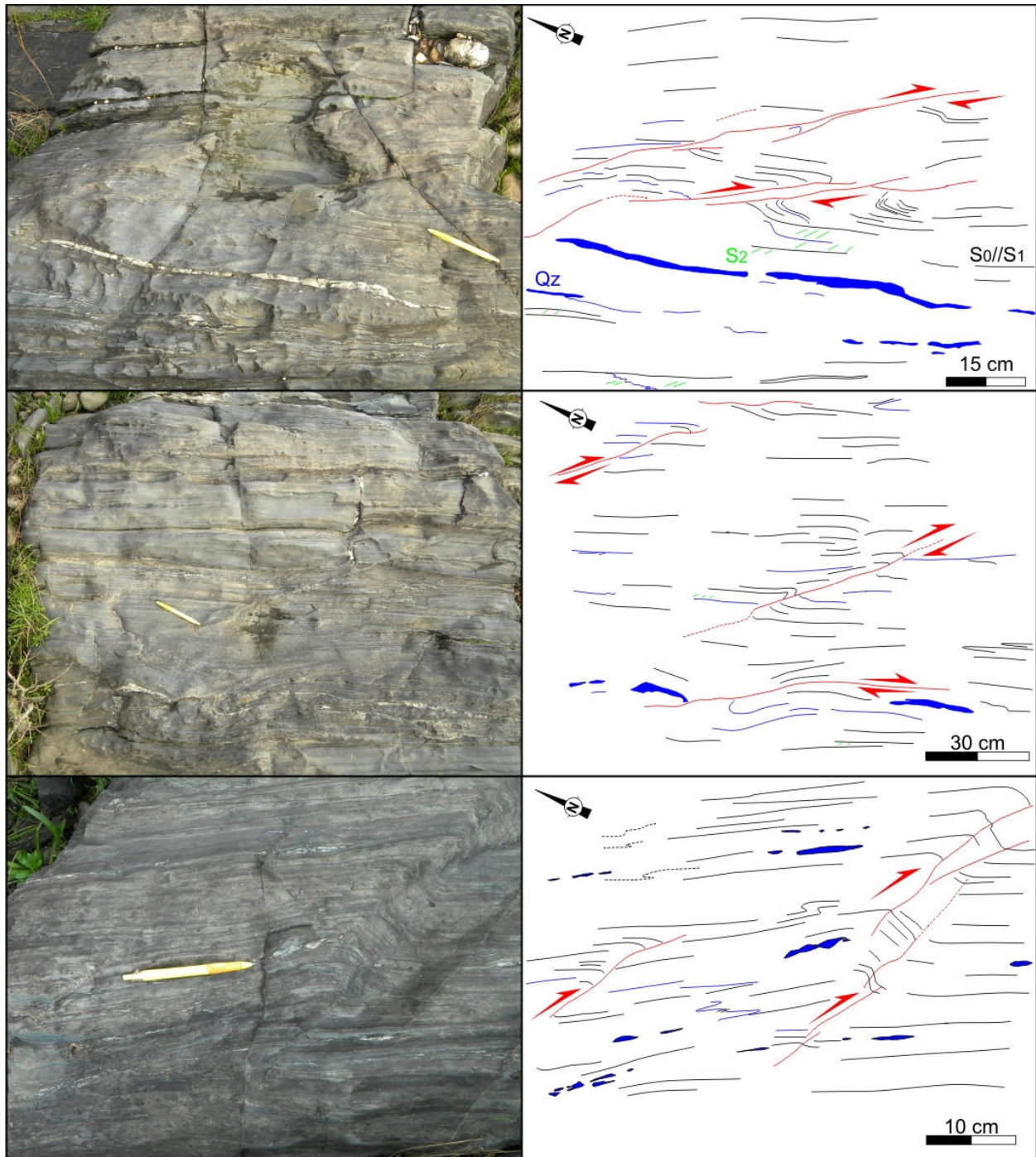


Fig. 8.38 – sequência evolutiva de estruturas D_2 desenvolvidas em regime não-coaxial de cinemática direita, afectando estruturas D_1 previamente formadas, e com desenvolvimento pontual de xistosidade S_2 . Evidencia-se a presença de cisalhamentos sintéticos ao cisalhamento direito principal, que apresenta orientação paralela aos planos S_1 , com formação de bandas *kink* direitas, que muitas vezes por acção da deformação progressiva rompem, dando origem aos cisalhamentos menores sintéticos (figura superior representativa dos estádios evolutivo tardios e a inferior de um estágio evolutivo precoces).

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

Surgem contudo, nesta unidade, estruturas um pouco mais complexas mostrando também uma cinemática direita associada. Estas estruturas encontram-se esquematizadas na fig. 8.39, sendo que a sua descrição Será feita seguidamente e com algum pormenor.

No extremo Oeste da unidade vulcano-sedimentar, junto ao contacto com a unidade carbonatada, esta zona de cisalhamento apresenta uma estruturação evidenciando uma forte vorticidade no seio desta zona de cisalhamento. O regime de deformação não coaxial associado a uma cinemática direita vai criar uma série de estruturas planares que visam acomodar as tensões existentes no seio desta zona. Desta forma, foram identificadas três famílias de estruturas planares (fig. 8.39) que se passa a descrever:

- família 1 – cisalhamentos de cinemática esquerda, fazendo um elevado ângulo com a estrutura cisalhante principal (cerca de 80°), que são responsáveis pela criação de dominós, com rotação horária de blocos rígidos;
- família 2 – cisalhamento conjugados, antitéticos da estrutura cisalhante principal, fazendo um ângulo de aproximadamente 45° com a mesma, com um desenvolvimento mais localizado, mas em geral apresentando elevada continuidade;
- família 3 – cisalhamentos perfazendo um ângulo de cerca de 45° com o acidente principal, mas evidenciando uma cinemática sintética ao mesmo. Esta forma-se localizadamente, geralmente em regiões limítrofes.

A actuação da família 2 apresenta extrema importância do ponto de vista da cinemática direita da zona de cisalhamento. A movimentação antitética da mesma vai induzir uma vorticidade em sentido horário no seio da zona de cisalhamento, possibilitando a libertação das tensões criadas no seio da zona de cisalhamento. Desta forma, a vorticidade em sentido horário no seio da zona de cisalhamento vai desencadear a formação de dominós esquerdos (família 1), que rodam blocos de dimensões variadas. Esta rotação dos blocos cria então problemas de espaço, formando-se assim a terceira família de cisalhamentos menores, que tendem a colmatar o espaço criado nos sectores limítrofes, formando-se estruturas com cinemática direita, que a nível macroscópico funcionam como bandas c'.

Apesar de ter um desenvolvimento menor, actuação da família 2 apresenta extrema importância do ponto de vista da cinemática direita da zona de cisalhamento, sendo responsável pelo desenvolvimento de anomalias estruturais locais. Com efeito, a movimentação antitética da mesma vai induzir uma vorticidade pontual em sentido horário no seio da zona de cisalhamento, possibilitando a acomodação das tensões criadas no seio da zona de cisalhamento. Desta forma, a vorticidade em sentido horário no seio da zona de cisalhamento vai desencadear a formação

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

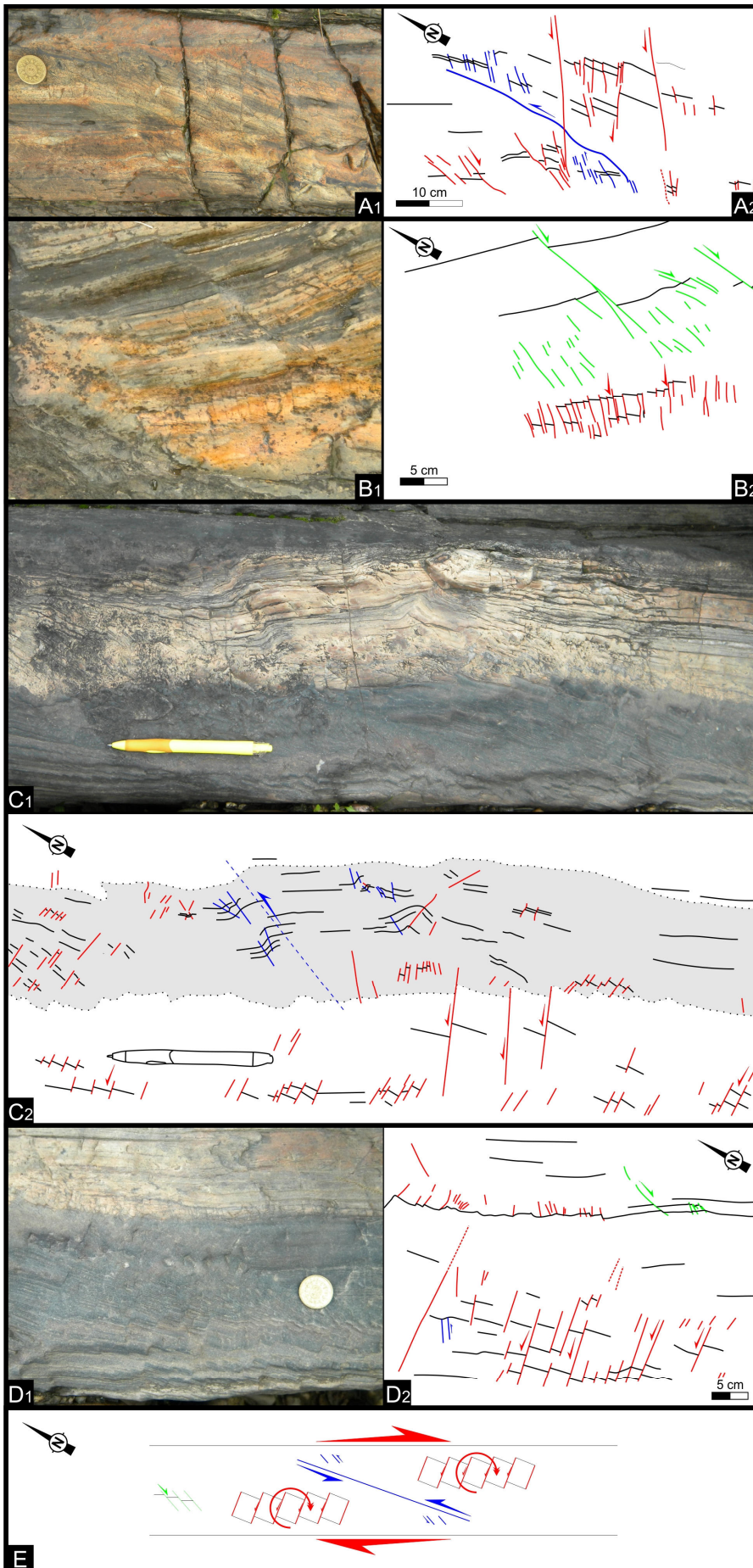


Fig. 8.39 – Estruturas desenvolvidas durante a segunda fase de deformação varisca no seio da Unidade Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica, resultante da actuação de uma zona de cisalhamento menor com cinemática direita global: **A** e **B** – pormenores das estruturas planares menores (a vermelho assinalam-se planos antitéticos ao cisalhamento principal com formação de dominós, a verde os planos c' que surgem pontualmente e a azul os planos de cisalhamento conjugados, antitéticos do cisalhamento principal, que não directamente responsáveis pela formação de dominós); **C** – presença de estruturas em dominó abundantes mostrando uma clara rotação de pequenos blocos delimitados por acidentes menores de cinemática esquerda; **D** – pormenor dos dominós interpretados em **C**, evidenciando também uma clara rotação dos blocos delimitados por cisalhamentos menores de cinemática esquerda; **E** – interpretação estrutural da zona de cisalhamento em causa, com a geração de dominós esquerdos resultantes da actuação da zona de cisalhamento em regime direito não-coaxial na qual se assinalam com a setas curvas vermelhas os sectores com vorticidade horária associada.

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

localizada de dominós esquerdos (fig. 8.39 E), que rodam blocos de dimensões variadas, mas sempre de ordem centimétricas. Esta rotação dos blocos cria então problemas de espaço, formando-se assim a terceira família de cisalhamentos menores, que tendem a colmatar o espaço criado nos sectores limítrofes, formando-se estruturas com cinemática direita, que a nível macroscópico funcionam como bandas c' .

Também na unidade carbonatada surgem evidências claras de uma componente de cisalhamento direito intenso, com o desenvolvimento de diversas estruturas com cinemática direita evidente, que mostram um incidência de localizada de deformação neste sector. Esta incidência pode ser resultado de fenómenos de partição da deformação, onde a componente de desligamento é dissipada em acidentes paralelos à estrutura.

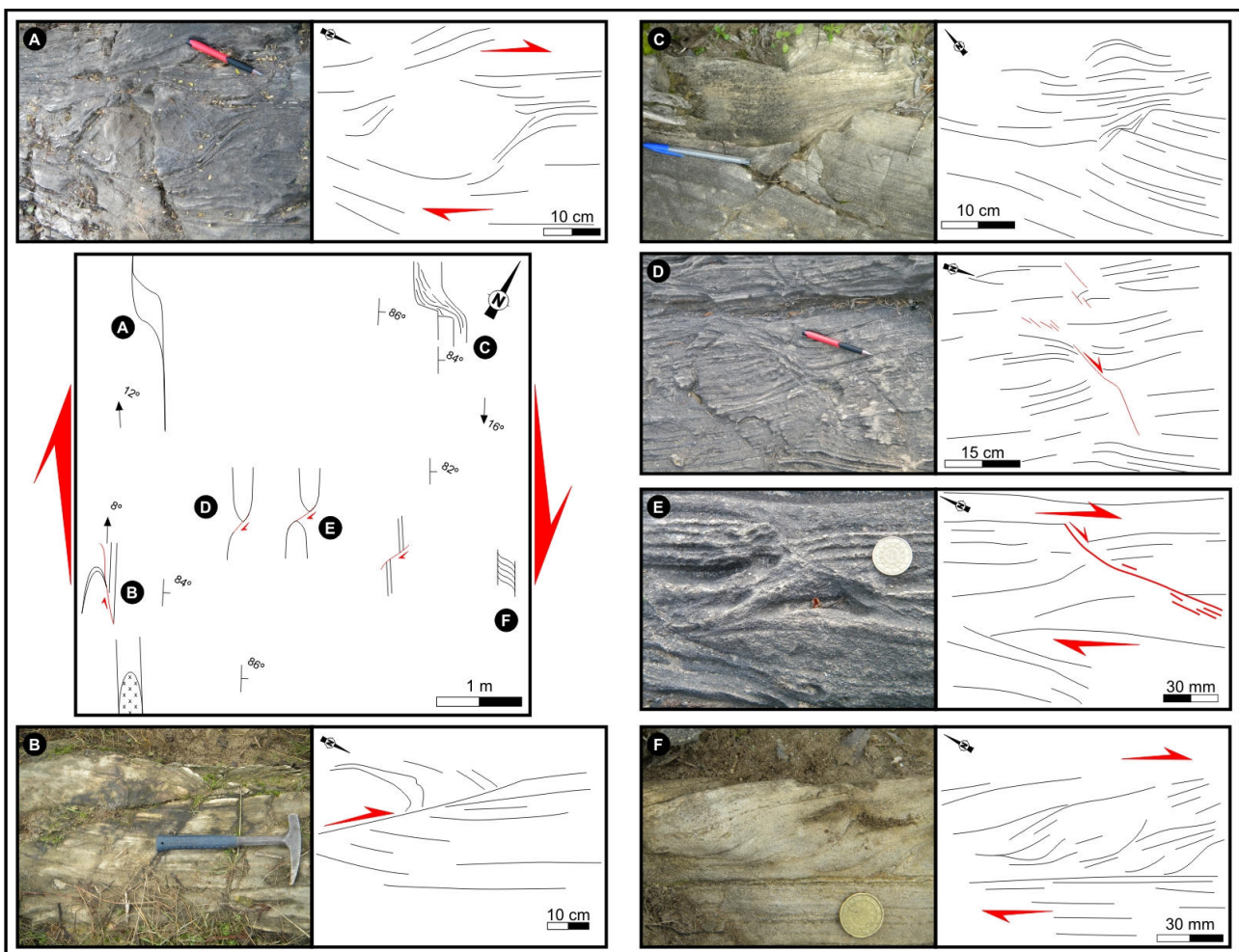


Fig. 8.40 – Critérios cinemáticos direitos abundantes desenvolvidos na unidade carbonatada, resultantes da actuação da zona de cisalhamento menor presente no limite entre a unidade carbonatada e a Unidade vulcano-Sedimentar essencialmente Félsica: **A** – foliação contornando corpo sigmóidal, constituído por carbonatos dolomíticos, presente no seio da unidade carbonatada; **B** – cisalhamento direito menor com cinemática direita, com formação de dobras de arraste; **C** – estrutura complexa mostrando o fluxo resultante do processo de cisalhamento; **D** e **E** – *fabric's* C-C' afectando de forma clara a xistosidade D_1 presente no afloramento em causa; **F** – formação de *fabric's* C-S, revelando estruturas sigmóidas resultantes da actuação do cisalhamento direito D_2 sobre a xistosidade S_1 .

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

A figura 8.40 mostra a presença no seio da unidade carbonatada de um regime de deformação não coaxial com cinemática direita indicada claramente por vários marcadores resultantes da actuação da D_2 sobre as estruturas D_1 : objectos sigmóidais, cisalhamentos sintéticos do cisalhamento principal com formação de dobras de arraste, *fabrics* planares do tipo C-C' e C-S.

8.2.5 Análise dinâmica da D_2 Varisca

Como foi referido, a acção da D_2 Varisca na região de Abrantes faz-se sentir de forma muito intensa, tendo sido induzida por um regime de cisalhamento direito de orientação geral N20°W a N10°W. Este tipo de estruturação parece apresentar evidências para a actuação da mesma desde os regimes mais dúcteis até regimes mais tardios, pelo menos até à transição dúctil-frágil. De um modo geral, esta fase de deformação é mais intensa nos domínios Oeste que nos Estes da área em estudo. Tal facto, antecipa a relação entre a segunda fase de deformação na região de Abrantes e a actuação da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo que se encontra a Oeste da região em estudo (fig. 8.41) e que apresenta evidências de uma componente de cisalhamento direito (Ribeiro *et al*, 2007 e referências inclusas).

As estruturas associadas a esta fase de deformação associada a um regime de cisalhamento direito identificadas neste trabalho parecem apresentar fortes evidências para que se comporte com uma zona de cisalhamento em regime transpressivo com partição da deformação, havendo domínios onde o cisalhamento puro é mais intenso, contrastando com áreas onde há um claro predomínio do cisalhamento simples. Nas regiões onde a componente de cisalhamento puro é mais intensa, a acção da D_2 , provoca essencialmente o dobramento das estruturas D_1 prévias. Na Unidade Anfibolítica do Açude de Abrantes, que envolve o granito de Maiorga (que geneticamente está associado à primeira fase de deformação), desenvolve-se durante a D_2 um dobramento fechado a isoclinal da S_1 associado à D_2 , que pelas suas características geométricas e cinemáticas evidencia o predomínio da componente de cisalhamento puro.

Se o regime transpressivo esquerdo, associado à criação de uma estrutura em flor positiva, durante a D_1 fosse o actuante, esperar-se-ia que a xistosidade S_1 nesta unidade axial tendesse a apresentar-se verticalizada desde a primeira fase de deformação (fig. 8.18 B1), o que colocaria dificultaria o desenvolvimento durante a segunda fase de deformação de dobras D_2 com planos axiais verticais; com efeito, a actuação da D_2 , em regime não coaxial com cinemática direita, sobre a xistosidade S_1 verticalizada, iria provocar um padrão de interferência no dobramento não compatível com o observado. Por outro lado, se a xistosidade S_1 fosse sub-horizontal (o que seria expectável numa dobra em bainha macroscópica; fig. 8.18 B2), a acção da segunda fase sobre a

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

mesma poderia gerar dobramentos de eixos sub-horizontais e planos axiais sub-verticais, uma vez que o *fabric* inicial planar (S_1) não se encontraria verticalizada.

O dobramento da unidade anfíbolítica faz aparecer no núcleo de um sinforma D_2 , rochas atribuídas ao Câmbrio e também a Série Negra de Abrantes, que estratigraficamente se encontram a topo (ver mapa presente em ANEXO A e cortes geológicos em ANEXO B); este padrão é também favorável à existência de uma xistosidade sub-horizontal com transporte para NW durante a D_1 . Esta xistosidade permitiria que a sequência estratigráfica se pudesse manter, o que levaria a que o dobramento D_2 pudesse fazer surgir no seio dos sinformas, da mesma fase, unidades mais recentes.

Para além do anteriormente referido, a componente de cisalhamento puro relacionado com a actuação desta fase de deformação vai retomar algumas das dobras D_1 , abundantes nos sectores mais Oeste, acentuando o seu dobramento (fig. 8.41). Este achatamento vai fazer desaparecer parcialmente a vergência para SW destas estruturas, conferindo-lhe uma estrutura muito mais verticalizada.

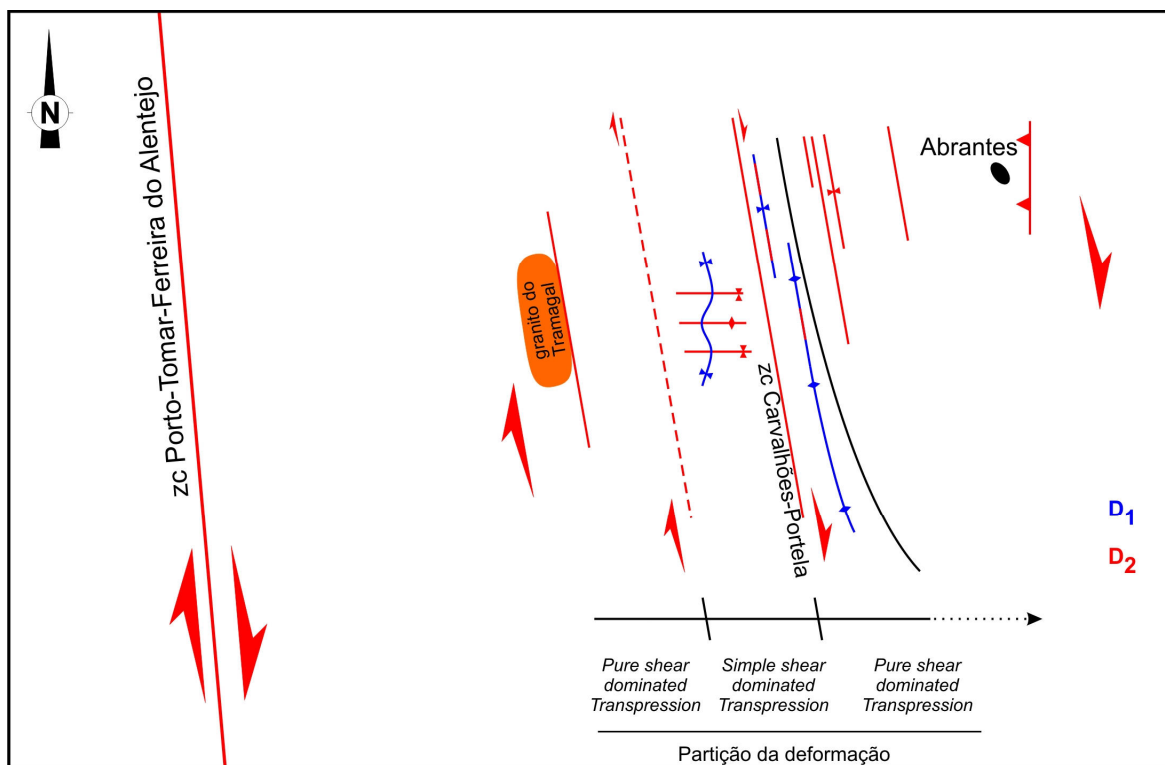


Fig. 8.41 – Representação esquemática da D_2 na região de Abrantes, com desenvolvimento de cisalhamentos diretos menores, associados à actuação da Zona de Cisalhamento Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo.

Nos sectores onde o cisalhamento simples é mais intenso, as dobras D_1 não são retomadas. Nestes sectores vão formar-se dobras D_2 escalonadas, que irão desenvolver um padrão de interferência com as dobras D_1 previamente formadas (fig. 8.41). Este padrão de interferência é semelhante ao padrão do tipo 3 descrito por Ramsay (1967). Este padrão é característico de regiões

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

onde os planos axiais das dobras das duas fases de deformação apresentam uma relação angular importante entre si (no caso extremo surge a ortogonalidade). Anteriormente à actuação da segunda fase de deformação, as dobras D_1 deveriam apresentar planos axiais de direcção NW-SE. A criação de dobras escalonadas de direcção E-W durante a D_2 , irão gerar então o padrão de deformação anteriormente referido.

O arqueamento das unidades câmblicas no sector Oeste é também uma forte evidência para cinemática direita associada à reorientação das estruturas D_1 . Tal arqueamento é bastante evidente na unidade Carbonatada, que exhibe direcções próximas do N-S no domínio mais a Norte, tendendo a curvar para orientações mais próximas do NW-SE nos sectores sul. Esta reorientação é bastante evidente nas proximidades da Zona de Cisalhamento Carvalhães-Portela (fig. 8.41), podendo ser explicada, como já foi referida por a componente de cisalhamento direita ser mais acentuada a Sul e diminuindo para Norte.

A intrusão do maciço do Tramagal poderá estar também associada à actuação desta fase de deformação. A sua orientação paralela às estruturas D_2 bem como a ausência de deformação dúctil associada a este granito, que exhibe apenas estruturas mais frágeis associadas às fases mais tardias da D_2 (na transição dúctil-frágil), deixa antever uma contemporaneidade entre as mesmas o que pode indiciar uma instalação contemporânea deste regime.

8.3. Fases frágeis Tardias;

8.3.1. Facturação NNW-SSE Tardia – Reactivação da Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo

8.3.1.1 Análise geométrica

Como referido anteriormente a D_2 na região de Abrantes caracteriza-se por um regime de deformação não coaxial na transição dúctil a dúctil-frágil, associado a uma cinemática direita. Surgem contudo, estruturas com características geométricas semelhantes que se caracterizam por apresentar características típicas de regime frágil. Esta fase de deformação tardia é caracterizada pela presença de corredores de deformação frágeis localizados. Apresenta-se geralmente sob a forma de planos mais ou menos discretos, na maioria dos casos associado a cataclase, com formação de brecha e/ou farinha de falha. Os corredores apresentam orientações variáveis entre os $N30^\circ W$ e $N20^\circ W$, estando em geral subverticalizados (fig. 8.42 A; atitude média $N29^\circ W$, $82^\circ NE$). Por vezes, associado a estes acidentes surgem estrias que nos mostram uma movimentação do tipo *transcorrente*, por vezes associada a uma componente vertical (em geral muito ténue; fig. 8.42 B).

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

As estrias apresentam mergulhos variáveis entre os 0-20°, quer para o quadrante NW, quer para o quadrante SE.

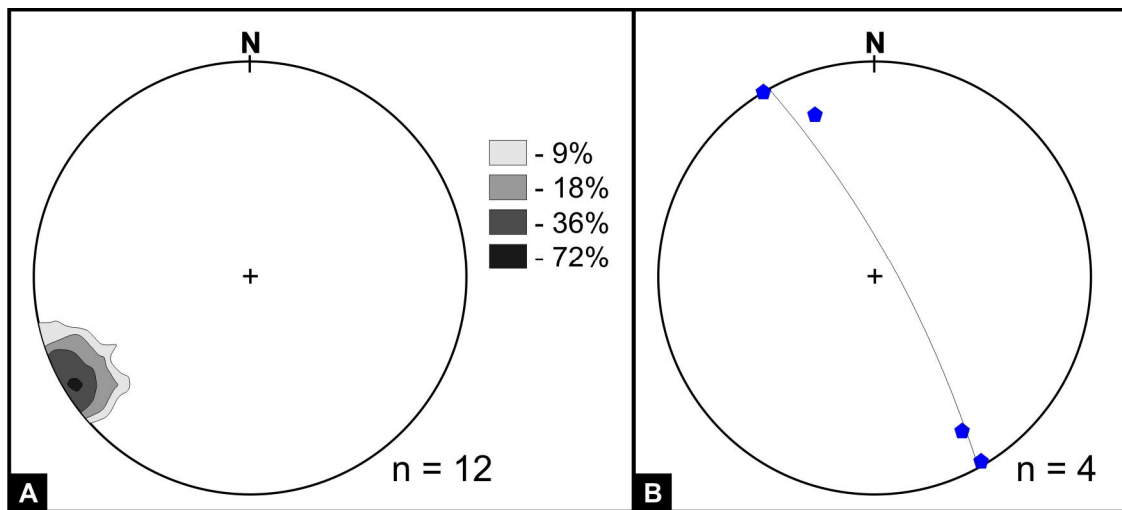


Fig. 8.42 – **A** – Diagrama de densidade de pontos relativo aos pólos dos planos de falha associados a esta fase de deformação tardia (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior; atitude média N29°W, 82°NE); **B** – Projecção do plano de falha médio e estrias medidas nos diversos acidentes associados a esta fase de deformação.

Como referido anteriormente, esta deformação tardia apresenta-se claramente localizada, sendo que grande parte das estruturas identificadas se encontram localizadas numa estreita faixa que não apresenta mais que 500m de largura, e que se encontra localizada nas proximidades do granito de Maiorga (ver mapa estrutural do Granito de Maiorga em ANEXO C). No prolongamento desta estreita faixa de deformação tardia surge o Rio Torto, um afluente da margem esquerda do Rio Tejo. O seu trajecto extremamente linear NNW-SSE com uma orientação paralela à das estruturas frágeis anteriormente referidas e a sua margem esquerda caracterizada por uma quebra de declive acentuada sugerem um controlo estrutural. A incisão do rio Torto pode pois ter sido auxiliada por uma estrutura desta família, que representaria uma fragilidade a nível estrutural e que iria auxiliar a sua incisão.

8.3.1.2. Análise cinemática

No que se refere à cinemática das estruturas associadas a esta fase de deformação tardia, como já foi referido, estas apresentam uma cinemática essencialmente do tipo transcorrente evidenciado pela presença de estrias sub-horizontais em alguns dos planos de falha mais discretos.

No Granito de Maiorga, onde surgem aliás várias estruturas desta fase, é possível observar um destes acidentes. A sua interferência com estrutura anterior atribuída à primeira fase de deformação Varisca permite-nos a visualização clara da sua cinemática; com efeito, o cisalhamento esquerdo descrito em 8.1, apresenta-se cortado por uma destas falhas tardias sendo visível a criação de sigmóides direitos rejeitando a foliação milonítica a si associada (fig. 8.43). Apesar de não ser

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

possível a medição do rejeito da falha, esta é pelo menos métrica. O plano em causa apresenta uma geometria igual às descritas anteriormente, estando a ela associadas estrias sub-horizontais, mostrando a movimentação em regime de desligamento direito (fig. 8.43).

A sua associação espacial às estruturas D_2 mais tardias, mais concretamente com a clivagem de fractura evidente na fig. 8.27, poderá ser uma evidência para a actuação da mesma em continuidade cinemática e dinâmica com a fase D_2 mais dúctil.

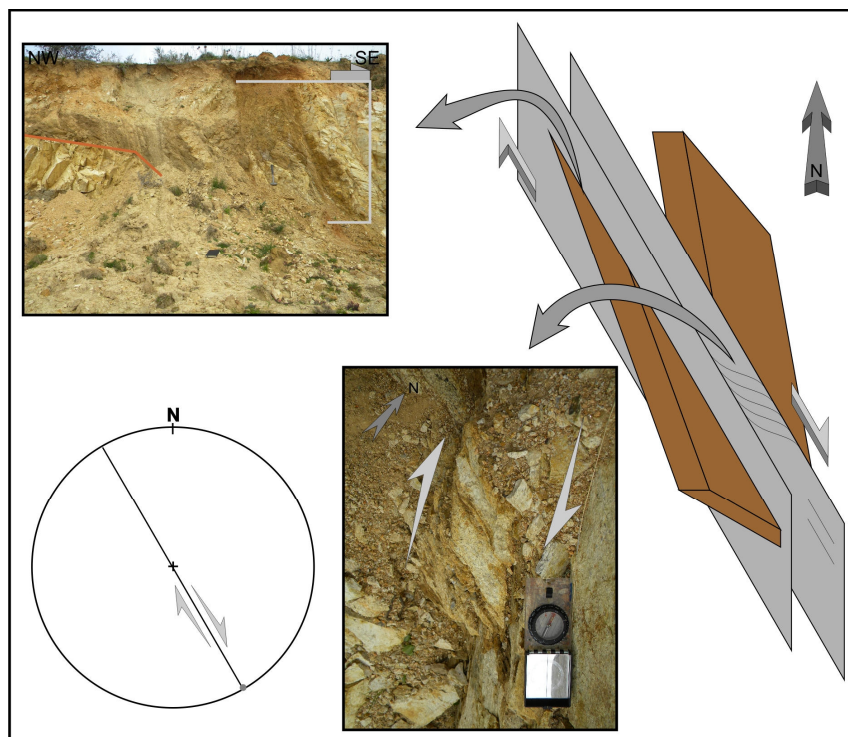


Fig. 8.43 – Esquema exemplificativo do cisalhamento direito, associado a esta fase de deformação tardia e frágil, afectando o cisalhamento esquerdo correlacionado com a primeira fase de deformação Varisca.

8.3.2. O Tardi-Varisco

Toda a região em estudo encontra-se intensamente afectada por uma fracturação tardia que, por similaridade geométrica e cinemática, sugere que estará associada às fases tardias do orógeno Varisco. Seguidamente apresentar-se-á a descrição das estruturas atribuídas a esta fase tardia. Contudo, para efeitos práticos, a fracturação tardia será descrita separadamente de um outro grupo de estruturas – os *kinks* tardios – pela sua importância na caracterização desta fase de deformação.

8.3.2.1 Fracturação tardia NE-SW

8.3.2.1.1 Análise geométrica

Como referido anteriormente, toda a região de Abrantes apresenta estruturas características de episódios tardios e essencialmente frágeis que são caracterizados pelo aparecimento de estruturas planares frágeis (fig. 8.44 A). Esta fracturação é subvertical apresentando uma direcção grosso

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

modo NE-SW (N50°E, 89°S; fig. 8.45). Esta fracturação é frequente em toda a área em estudo, muito embora se torne muito intensa na proximidade dos grandes acidentes tardios com a mesma orientação e que afectam todas as estruturas previamente descritas pertencentes à D₁ e D₂, permitindo assim colocar esta fase como sendo posterior à fases de deformação dúctil que afectam a região.

Os acidentes de maiores dimensões, bem como alguns dos acidentes menores, apresentam uma intensa cataclase, o que revela que o episódio de deformação se dá em ambientes superficiais.

Associada a esta fracturação tardia, surgem esporadicamente filonetes de quartzo leitoso milimétricos a centimétricos (fig. 8.44 E) preenchendo as mesmas. Pontualmente, os filonetes de quartzo apresentam também cataclase (fig. 8.44 B), evidenciando inclusive uma intensa recristalização do quartzo presente na fracturação; esta recristalização é bastante visível a nível microscópico (fig. 8.44 C).

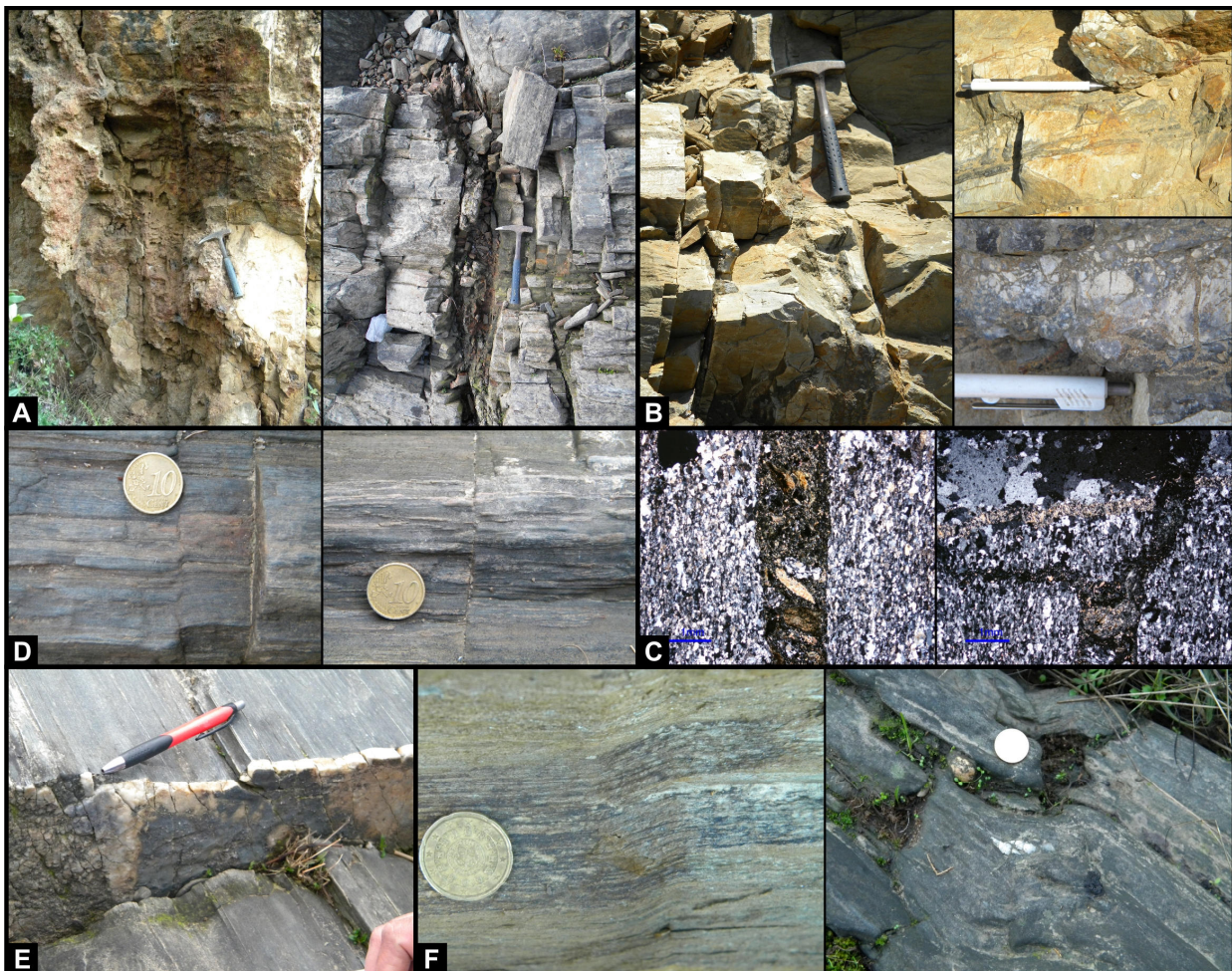


Fig. 8.44 – Estruturas atribuídas ao Tardi-Varisco: **A** – Fracturação tardia de orientação NE-SW, afectando a unidade Vulcano-Sedimentar Carbonatada e a Unidade Anfibolítica; **B** – Cataclase da Unidade Anfibolítica e do quartzo associado a um acidente menor; **C** – Recristalização do quartzo leitoso presente no acidente referido em B; **D** – Cinemática esquerda associada à fracturação tardia; **E** – Veio de quartzo leitoso associado à fracturação NE-SW; **F** – *Kinks* centimétricos de cinemática esquerda.

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

8.3.2.1.2 Análise cinemática

A fracturação frágil associada a esta fase de deformação tardia apresenta por vezes critérios cinemáticos, resultantes da acção desta fase de deformação sobre as estruturas dúcteis prévias (D_1 e D_2); o rejeito destas estruturas dúcteis, é pontualmente, um bom indicador da cinemática desta fase de deformação. Os filonetes de quartzo associados à xistosidade S_1 assim como as estruturas resultantes da D_2 encontram-se, na maioria dos casos, verticalizadas, o que permite que a cinemática destas estruturas tardias sejam passíveis de observar no plano horizontal, se estas estruturas forem do tipo desligamento.

As estruturas planares verticalizadas, típicas desta fase tardia, apresentam por vezes estrias sub-horizontais que nos mostram que o regime de deformação associado a esta fase é essencialmente do tipo transcorrente. Desta forma, as estruturas prévias, dúcteis e verticalizadas, podem servir como bons indicadores da cinemática destas estruturas. Pontualmente, a fracturação tardia é cinematicamente activa, sendo possível evidenciar a presença de critérios cinemáticos esquerdos (fig. 8.45 B), pelo rejeito de charneiras de dobras D_2 e filonetes de quartzo e dobras associadas à D_1 (fig. 8.44 D).

Uma vez que esta fracturação se encontra associada aos grandes acidentes de igual atitude, pode pressupor-se, muito embora não seja possível na maioria dos casos comprovar a cinemática das estruturas maiores devido à intensa cataclase, que estas estruturas apresentem uma cinemática também ela esquerda. Este pressuposto vem de encontro ao que também se pode observar a nível cartográfico, uma vez que alguns dos limites entre as unidades definidas para a região parecem ser rejeitadas, no mesmo regime cinemático, por estes acidentes.

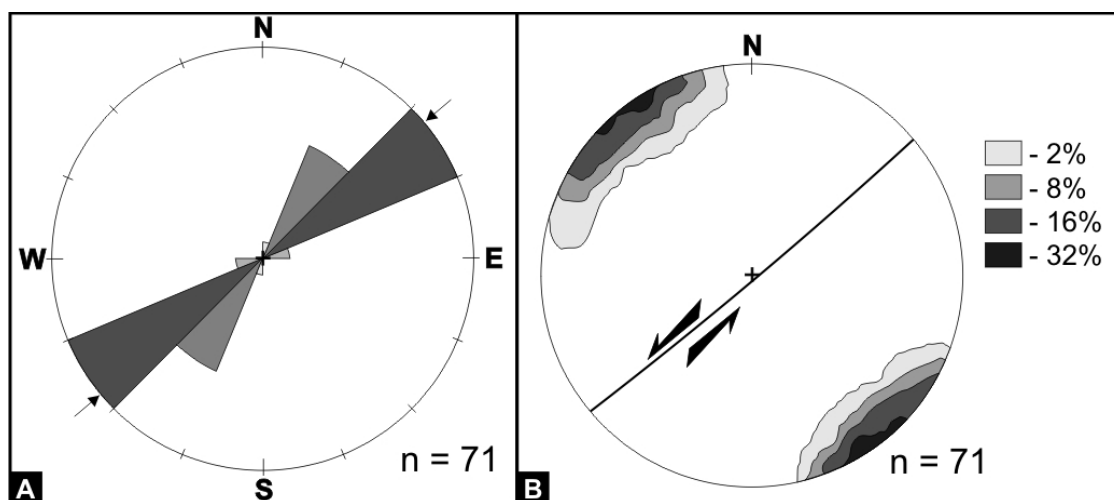


Fig. 8.45 – A – Diagrama em roseta mostrando a orientação geral da fracturação tardi-varisca com orientação preferencial em torno dos N50°E; B – Diagrama de densidade de pontos relativo aos pólos dos planos da fracturação tardia (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior), com referência à atitude média das estruturas (N50°E, 89°S) e à sua cinemática.

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba no sector de Abrantes

8.3.2.2. Kinks esquerdos tardios

8.3.2.2.1 Análise geométrica

Como referido anteriormente, para além da fracturação frágil tardia e dos grandes acidentes de igual atitude, é possível observar associado espacialmente aos acidentes maiores, bandas *kink* que apresentam clara similaridade a nível geométrico com as estruturas anteriormente descritas. As bandas *kink* apresentam atitudes análogas à fracturação tardia (N35°E, 90°; fig. 8.46), rejeitando a xistosidade S₁ assim como as estruturas atribuídas à D₂.

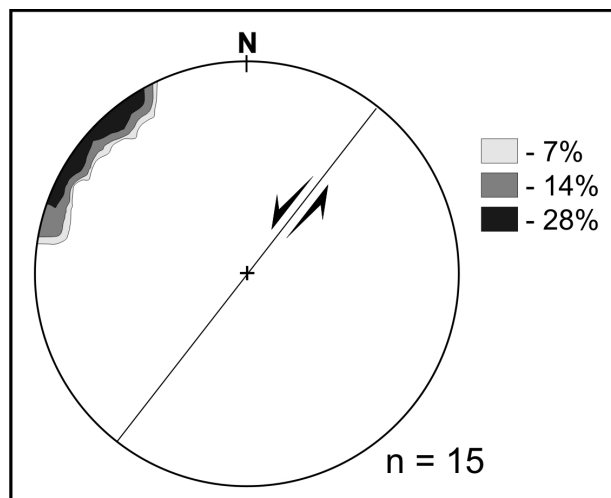


Fig. 8.46 – Diagrama de densidade de pontos relativo aos pólos dos planos axiais das bandas *kink* (Rede de Schmidt – projecção no hemisfério inferior), com referência à atitude média das estruturas (N35°E, 90°) e à sua cinemática.

No que respeita às dimensões das bandas *kinks*, estas são muito variáveis, sendo comum o aparecimento de bandas *kink* centimétricas a decimétricas (fig. 8.44 E e F). Contudo, é possível encontrar um corredor de deformação com dimensões métricas e com uma estruturação complexa: este desenvolve-se numa extensão da ordem das dezenas de metros, na margem direita do rio Tejo, no seio do Complexo Vulcano-Sedimentar essencialmente Félsico, que se encontra na base da Unidade Vulcano-Sedimentar Carbonatada de São Miguel do Rio Torto.

Estes corredores de deformação associados às bandas *kink*, são responsáveis pela geração de dobras assimétricas de eixo subvertical, charneiras abruptas e flancos rectilíneos. Deste dobramento resulta a interferência com as estruturas atribuídas à D₁ e D₂, que se apresentam normalmente verticalizadas, resultando daqui um padrão de interferência particular.

O *kink* métrico apresenta, pelas suas dimensões, características que o tornam um *key-study*. Esta banda *kink* apresenta-se limitada por dois acidentes de maiores dimensões (fig. 8.47 A e E), de atitude semelhante aos acidentes tardios descritos no subcapítulo anterior. No interior da banda

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

desenvolvem-se duas famílias de desligamentos com orientações N03°W e N46°E e que apresentam cinemática distinta. Contudo, existe um claro predomínio da primeira família.

Ambas as famílias desenvolvem, dentro da banda *kink* principal, bandas *kink* de dimensões centimétricas a milimétricas, rejeitando as estruturas D₁ e D₂. Estes rejeitos dão origem a dobras assimétricas de eixos verticais, com charneiras abruptas e flancos planares (*kinks*). Pontualmente, é possível observar a presença de dobras em caixa (*box fold*; fig. 8.47 B e E) com eixos subverticais, resultantes da actuação de ambas as famílias de desligamento presentes, que definem como anteriormente foi referido bandas *kink* com orientação distinta.

A presença destas bandas *kinks* de menores dimensões no seio da banda *kink* principal, pode dever-se ao não paralelismo dos acidentes que a limitam. Estes apresentam orientações que constroem lateralmente a banda, provocando um achatamento das estruturas prévias. Os planos axiais da banda *kink* principal apresentam orientações N30°E e N10°E (fig. 8.47 E).

8.3.2.2.2 Análise cinemática

No que respeita à cinemática das bandas *kink*, estas apresentam também elas uma cinemática esquerda (fig. 8.48), evidenciada pelo rejeito das estruturas dúcteis pré-existentes. A cinemática em conjunto com a associação espacial com as estruturas anteriormente descritas no capítulo 8.3.2.1, mostra a contemporaneidade entre as estruturas.

Muito embora apresentem diversidade geométrica considerável (fig. 8.48), é possível em todos os corredores associados às bandas *kink*, observar o mesmo estilo de estruturação, com uma cinemática esquerda afectando a xistosidade S₁ assim como das estruturas associadas à D₂.

A actuação destes corredores de deformação levam a que no interior dos mesmos a deformação observada seja mais intensa que nos sectores externos. Isso é bastante evidente no *kink* métrico onde se desenvolvem *kinks* de menores dimensões, resultantes da actuação de tensões locais resultantes da sua cinemática esquerda. Como já foi referido, no seio da banda *kink* métrica é possível observar bandas *kinks* de menores dimensões com cinemática distinta. Estes *kinks* centimétricos de cinemática distinta apresentam também geometrias distintas, podendo agrupar-se em duas famílias conjugadas:

- uma das famílias (a que apresenta direcção média N03°W) apresenta cinemática esquerda semelhante à da banda *kink* principal, desenvolvendo-se largamente no interior deste corredor de deformação (fig. 8.47 A e B)

- a segunda família é antitética à anteriormente referida, com cinemática direita, que apresenta uma direcção média N46°E (fig. 8.47 D' e E). Esta família é menos abundante, desenvolvendo pontualmente em conjunto com a família esquerda dobras em caixa.

Caracterização estrutural da zona de cisalhamento Tomar - Badajoz - Córdoba
no sector de Abrantes

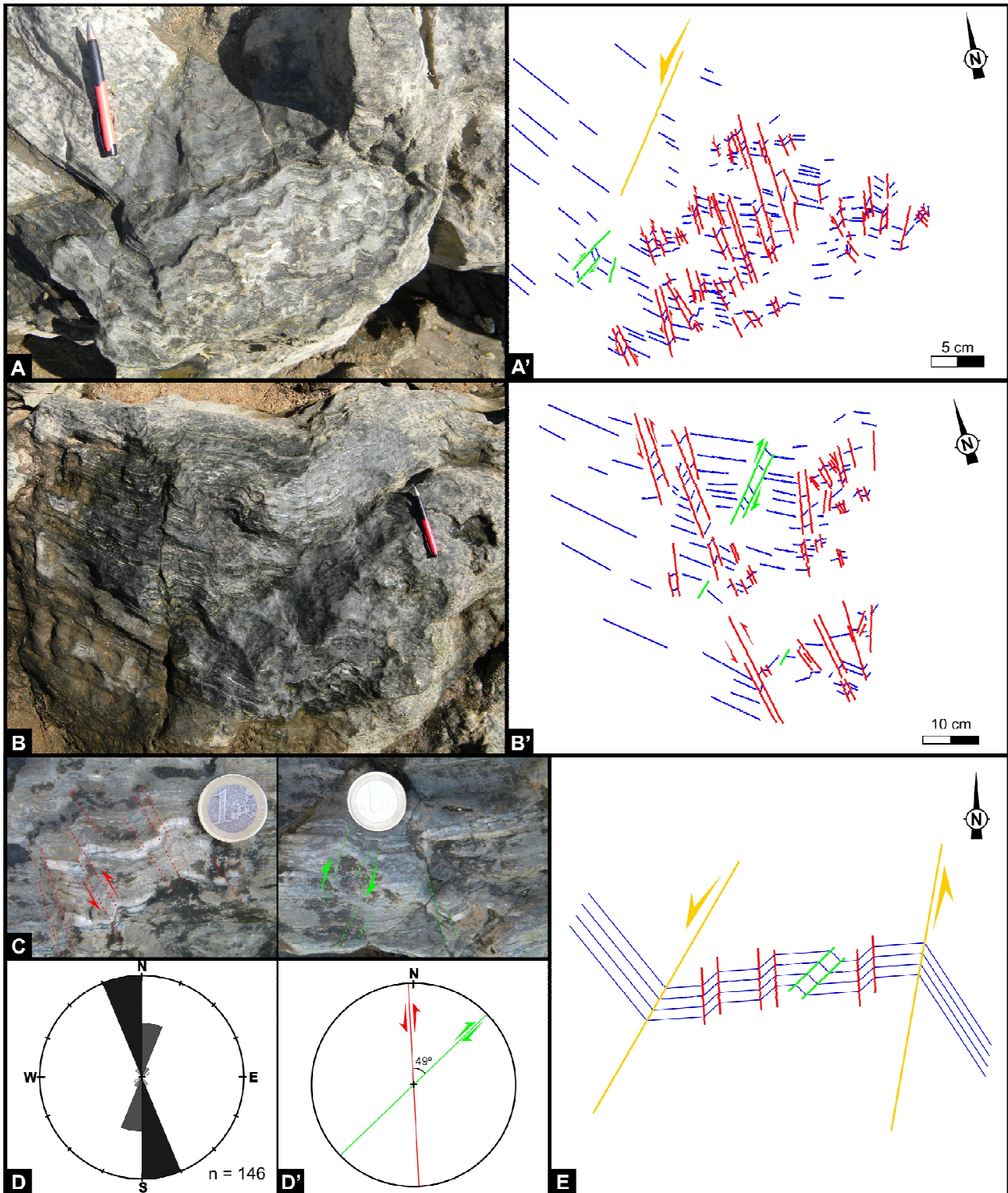


Fig. 8.47 – Banda *kink* métrica presente na área em estudo e sua análise cinemática: A e B – Estruturação interna da banda *kink* e respectiva interpretação (A' e B'); C – Pormenores do seio da banda *kink*, com desenvolvimento de bandas *kink* de menores dimensões; D – Diagrama em roseta mostrando a orientação dos planos axiais das bandas *kink* com orientação preferencial em torno dos N03°W; D' – Projecção das duas famílias de cisalhamento com a respectiva cinemática, evidenciando um ângulo interno entre as famílias de 49°; E – esquema geral da banda *kink*, com respectiva análise cinemática das estruturas.

Como referido anteriormente, o desenvolvimento destas duas famílias de bandas *kink*, poderá dever-se à obliquidade entre os planos axiais da *kink band* principal, que irão provocar um

8. Caracterização Estrutural da região de Abrantes

“afundamento” no seio da mesma. No entanto, podem também ser apenas o resultado do encurtamento do sector central das bandas *kink* normal nalguns dos mecanismos de génese destas estruturas.

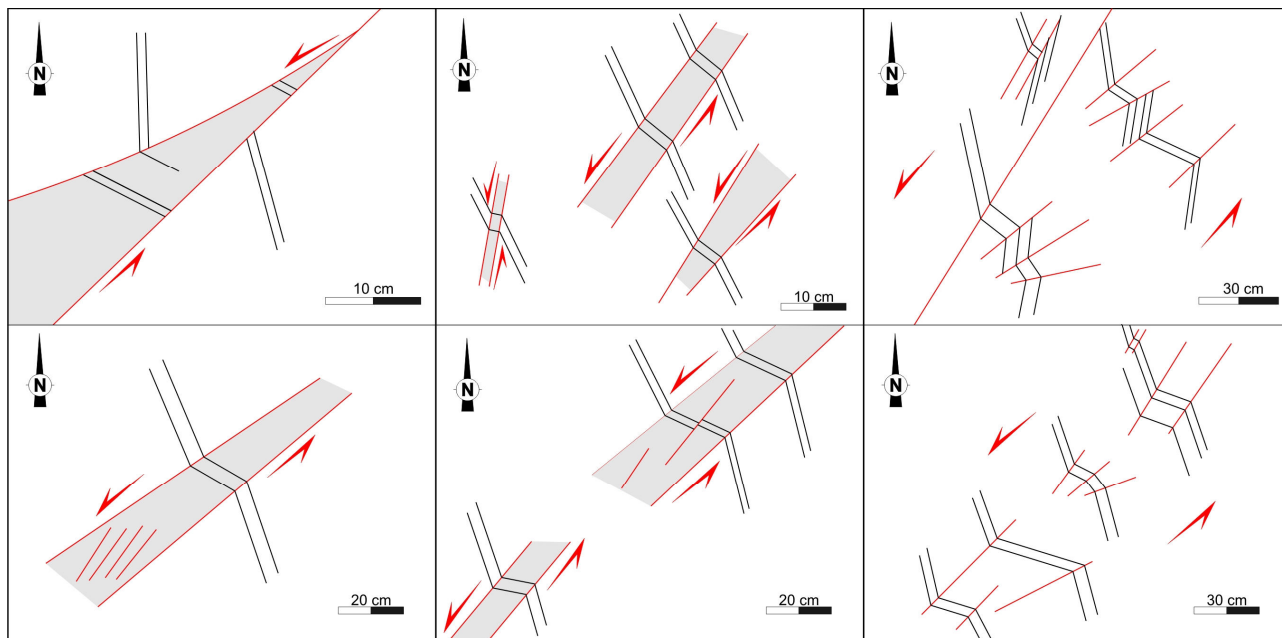


Fig. 8.48 – Esquemas interpretativos de diversas bandas *kink* centimétricas e decimétricas, presentes na região evidenciando todas elas uma cinemática esquerda.

8.3.2.3 Análise dinâmica

As estruturas aqui apresentadas apresentam claras evidências para a sua actuação com uma cinemática esquerda, que é visível quer na fracturação tardia de orientação NE-SW, quer nas bandas *kink* com a mesma orientação que se desenvolvem abundantemente em toda a área. Uma cinemática semelhante pode ser observada a nível cartográfico, com os acidentes tardios NE-SW rejeitando em esquerdo limites de unidades assim como estruturas anteriores.

Estas estruturas podem ser correlacionáveis com os regimes de deformação tardios descritos para a generalidade do Maciço Ibérico, com condições de deformação próximas da transição dúctil – frágil. As estruturas observadas na área em estudo, apresentam clara similaridade geométrica com os grandes acidentes tardios visíveis à escala cartográfica, como são as falhas Penacova - Régua - Verín e de Manteigas - Vilarça – Bragança. Muito embora exista divergência quanto à cinemática destas estruturas tardias (*vide* Dias *et al*, *in press* para uma revisão), na região de Abrantes estas aparecem claramente associadas a um regime cinemático esquerdo. Tal facto é também comprovado pelos trabalhos recentes no Carbónico da Zona Sul Portuguesa (*e.g.* Basile, 2011; Dias & Basile, *in press*), onde surgem também *kinks* métricos de cinemática esquerda associados às fases tardias do orógeno Varisco.