

GMG-0332
Petrologia Metamórfica

02/09/2020

Relações entre crescimento de minerais metamórficos e estruturas deformacionais

Cees W. Passchier
Rudolph A. J. Trouw

Micro- tectonics

Second Edition



 Springer

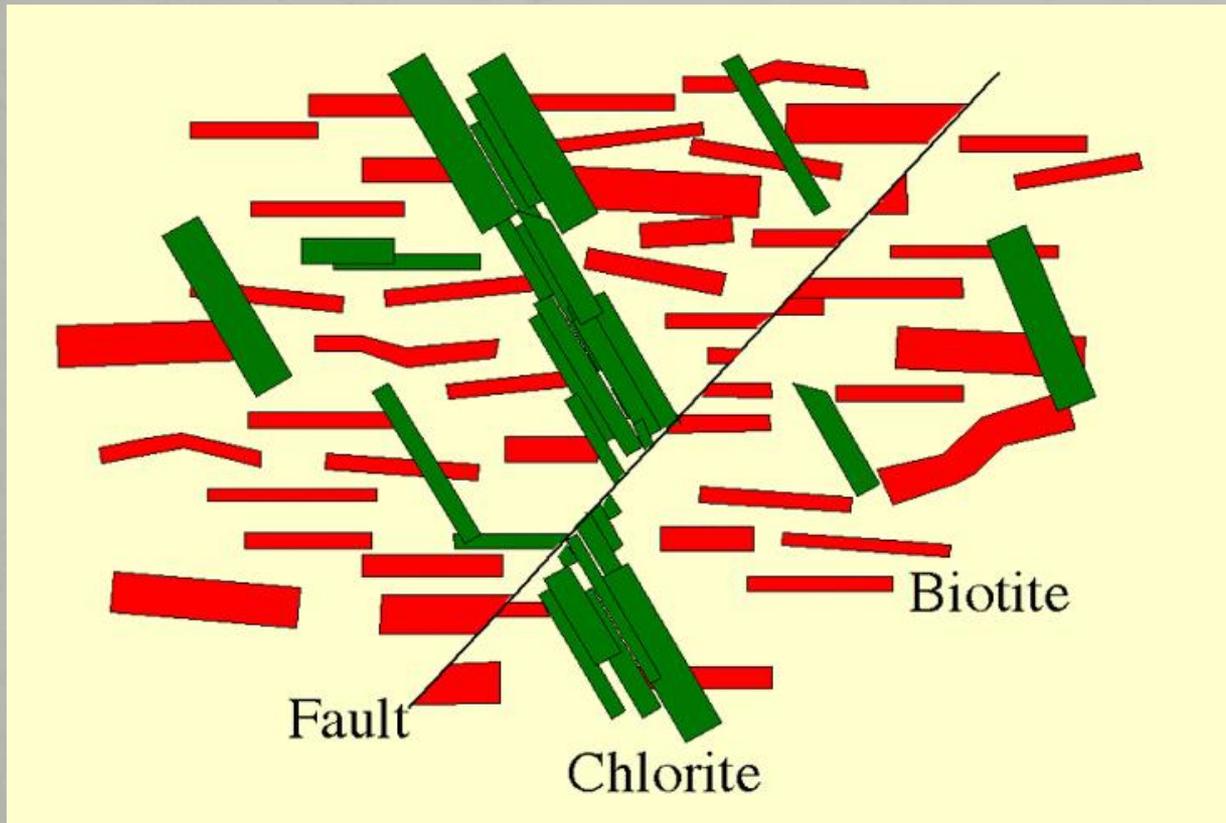
EXTRA
MATERIALS
extra.springer.com

A practical guide to Rock Microstructure

Ron H. Vernon

CAMBRIDGE

Como podemos estudar as relações entre metamorfismo e deformação?



Quais são os marcadores de metamorfismo preservados nas rochas?

Quais são os marcadores de deformação preservados nas rochas?

Estabelecimento de sistema de referência

Ilha Coronation, Antártica



S_n (ou S_x -
xistosidade)

S_{n+1}
(ou S_{cr} - clivagem de
crenulação)

Para o estabelecimento da relação de crescimento dos minerais metamórficos deve-se procurar um sistema de referência temporal.

As foliações e as dobras são excelentes referências pois são estruturas com os quais pode-se estabelecer cronologia relativa.

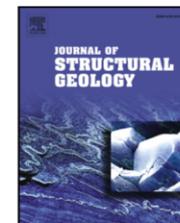
Isso feito, vamos estabelecer quais são os minerais que definem cada foliação (S_1 , S_2 , S_3), os que são afetados por certa fase de deformação (dobras) e os porfiroblastos que cresceram antes, durante e depois de uma foliação ou dobra.



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Structural Geology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jsg



Deformation – Progressive or multiphase?

Haakon Fossen^{a,*}, Geane Carolina G. Cavalcante^b, Roberto Vizeu L. Pinheiro^c, Carlos J. Archanjo^d



^a Museum of Natural History, University of Bergen, Allégaten 41, N-5007, Bergen, Norway

^b Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Av. Cel. Francisco Heráclito dos Santos, s/n, Centro Politécnico, Curitiba, PR, 81531-980, Brazil

^c Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Pará, CP 1611, Belém, PA, 66075-900, Brazil

^d Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, São Paulo, SP, 05508-080, Brazil

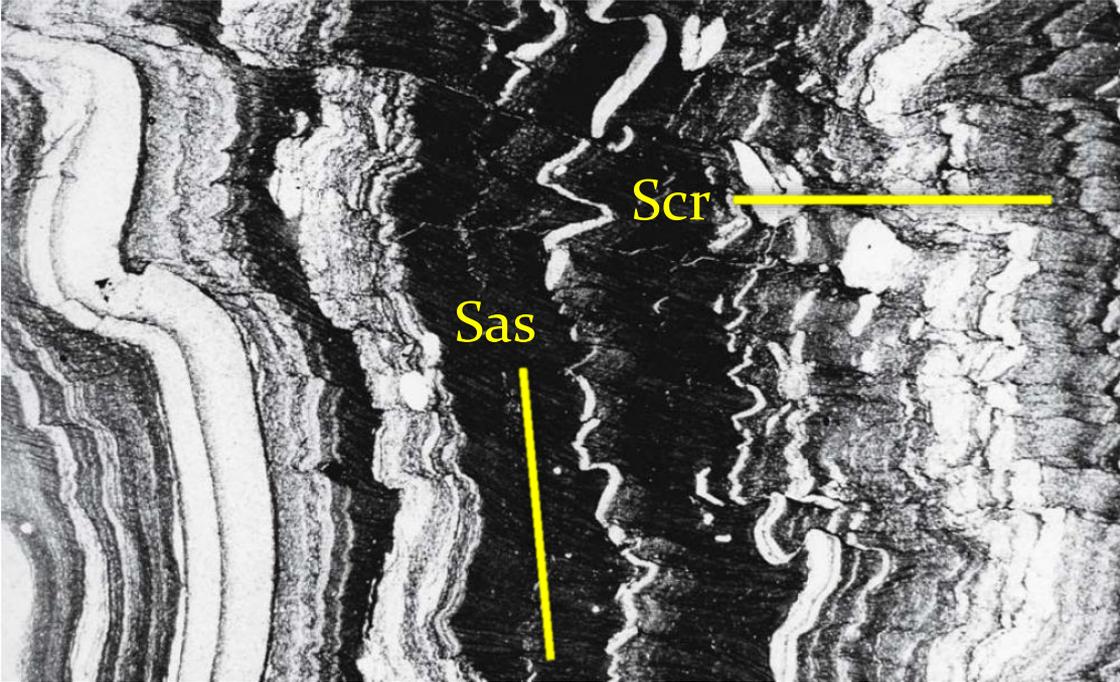
A B S T R A C T

Complexly deformed rocks that exhibit refolded folds and overprinting planar fabrics are often interpreted as the result of polyphase deformation and described in a scheme of deformation phases ($D_1, D_2 \dots D_n$). At the same time, a number of models have been presented over the last decades that explain how complex and overprinting structures can form by single-phase progressive deformation as strain accumulates. Strain generally accumulates heterogeneously in a deforming region, depending on strain intensity and geometry, flow parameters, rheology and lithology. The result is regions of different structural complexity, fabrics and fabric orientations that can be sorted into different structural facies. Such structural pattern should be mapped and presented before defining a scheme of deformation phases, and attempts should be made to explain them by a single structural-kinematic model, such as partitioned transpression. Only if this is not possible, or if independent geochronologic data reveals a more punctuated history, should we define an additional tectonic regime and deformation phase.

Multiphase and progressive deformation histories are not mutually exclusive, and it is important that both possibilities are considered when describing the deformation history of any complexly deformed region. When the concept of deformation phases is employed, the number of phases should be minimized and be related to major tectonic event of external character. Uncritically defining deformation phases can easily generate a complicated discrete deformation history with no link to tectonic reality.

Foliações

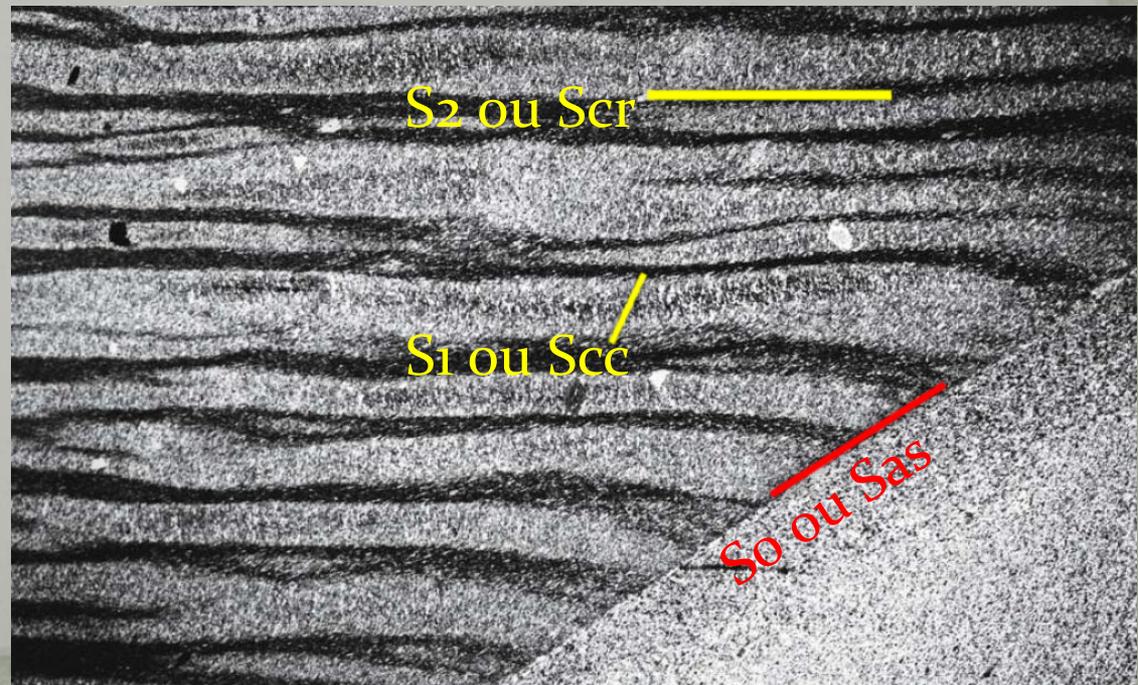
- Foliação Primária
- **Foliação Secundária**



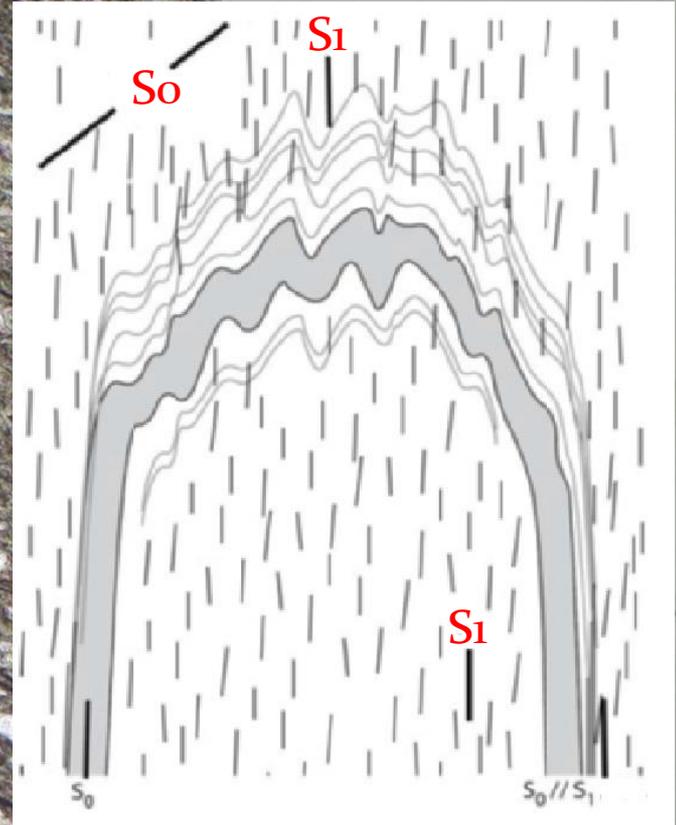
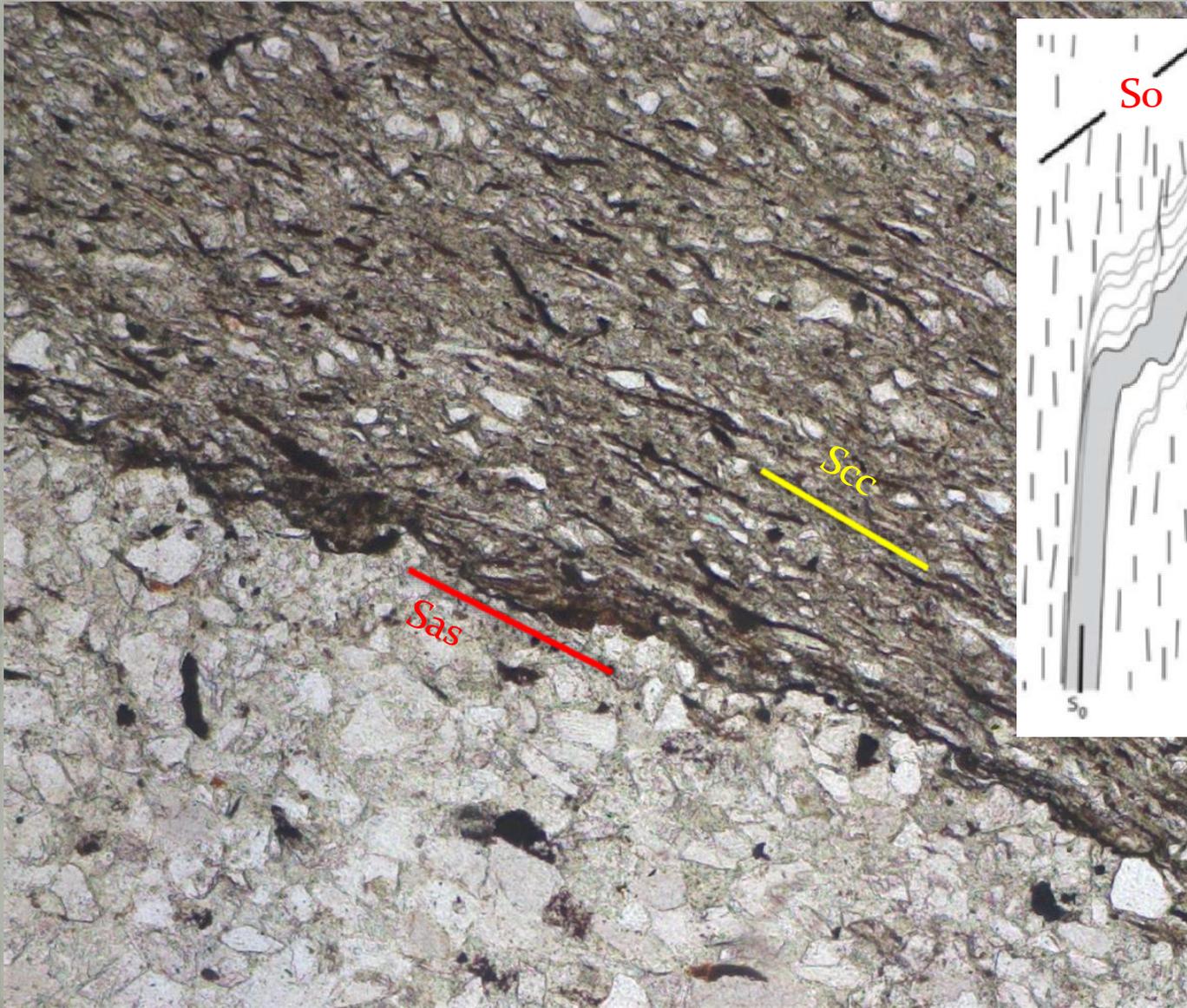
Foliação Primária VS Secundária

Sas: acamamento sedimentar
Scc: clivagem contínua
Scr: clivagem de crenulação

Passchier & Trouw, 2005. *Microtectonics*,
2nd edition. Springer.



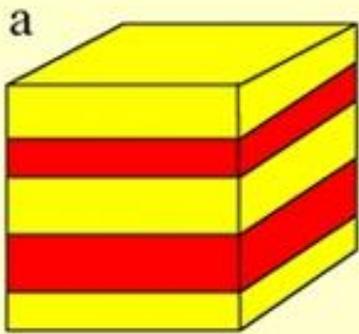
Estrutura sedimentar vs deformacional



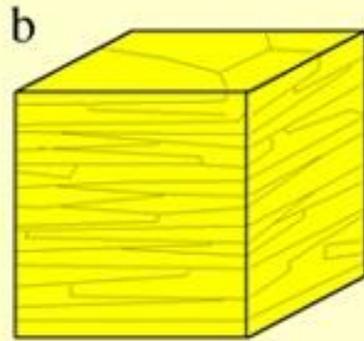
Foliação Metamórfica



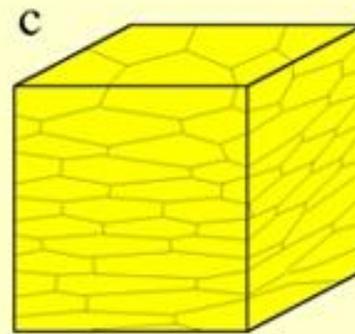
Foliações (estruturas planares)



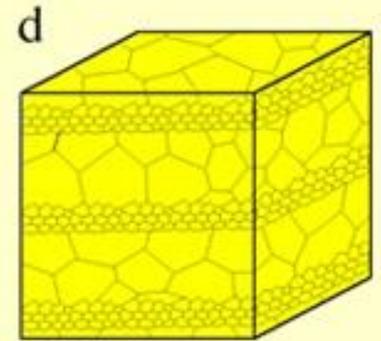
a
Bandamento
composicional



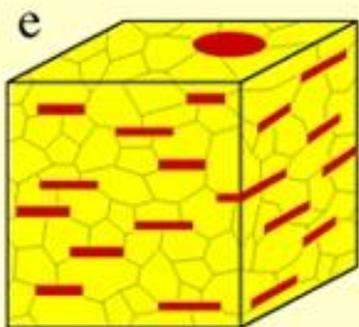
b
Orientação preferencial
de minerais placóides



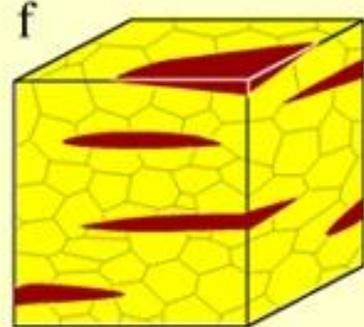
c
Orientação preferencial
de grãos deformados



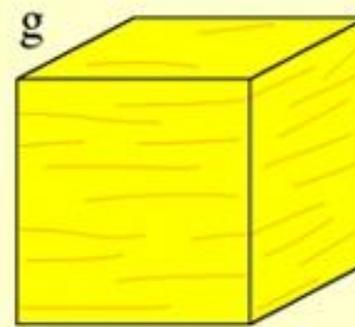
d
Bandas ou lâminas com
variação granulométrica



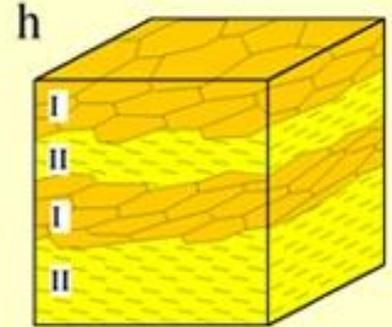
e
Orientação preferencial
de minerais placóides em
matriz maciça



f
Orientação preferencial
de agregados lenticulares
em matriz maciça

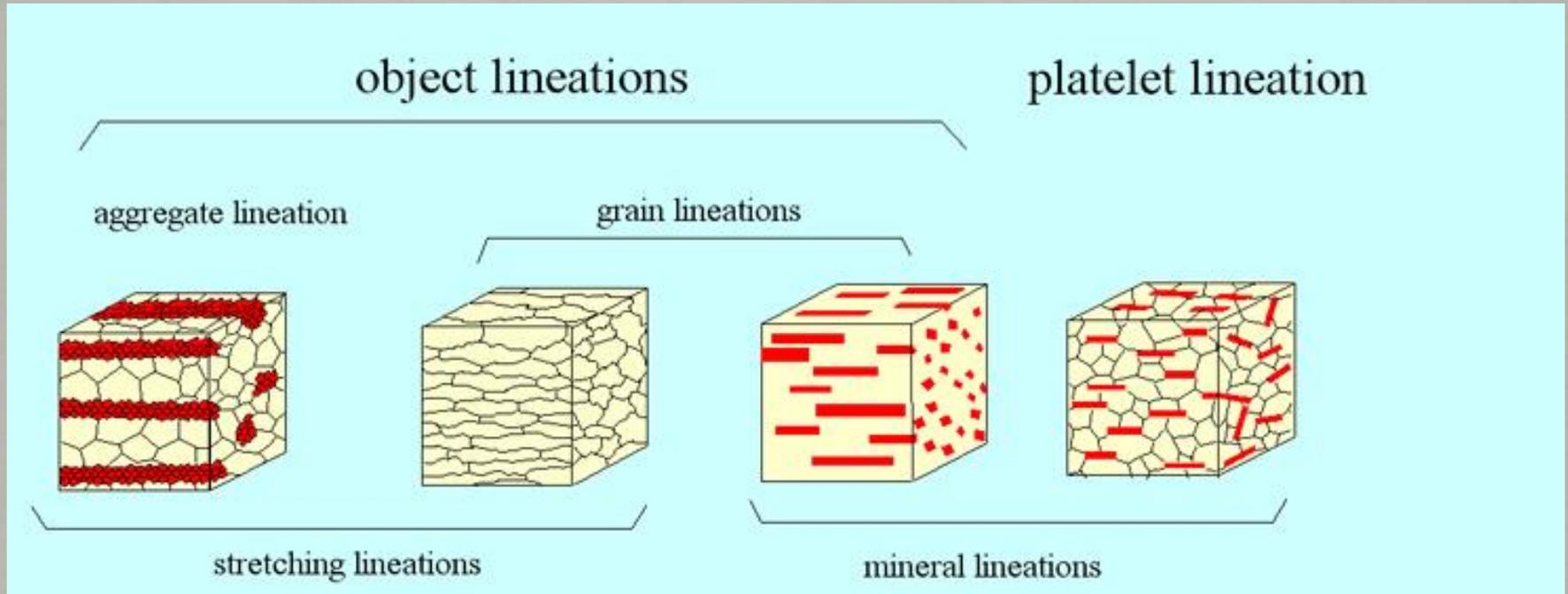


g
Orientação preferencial
de fraturas ou
microfalhas

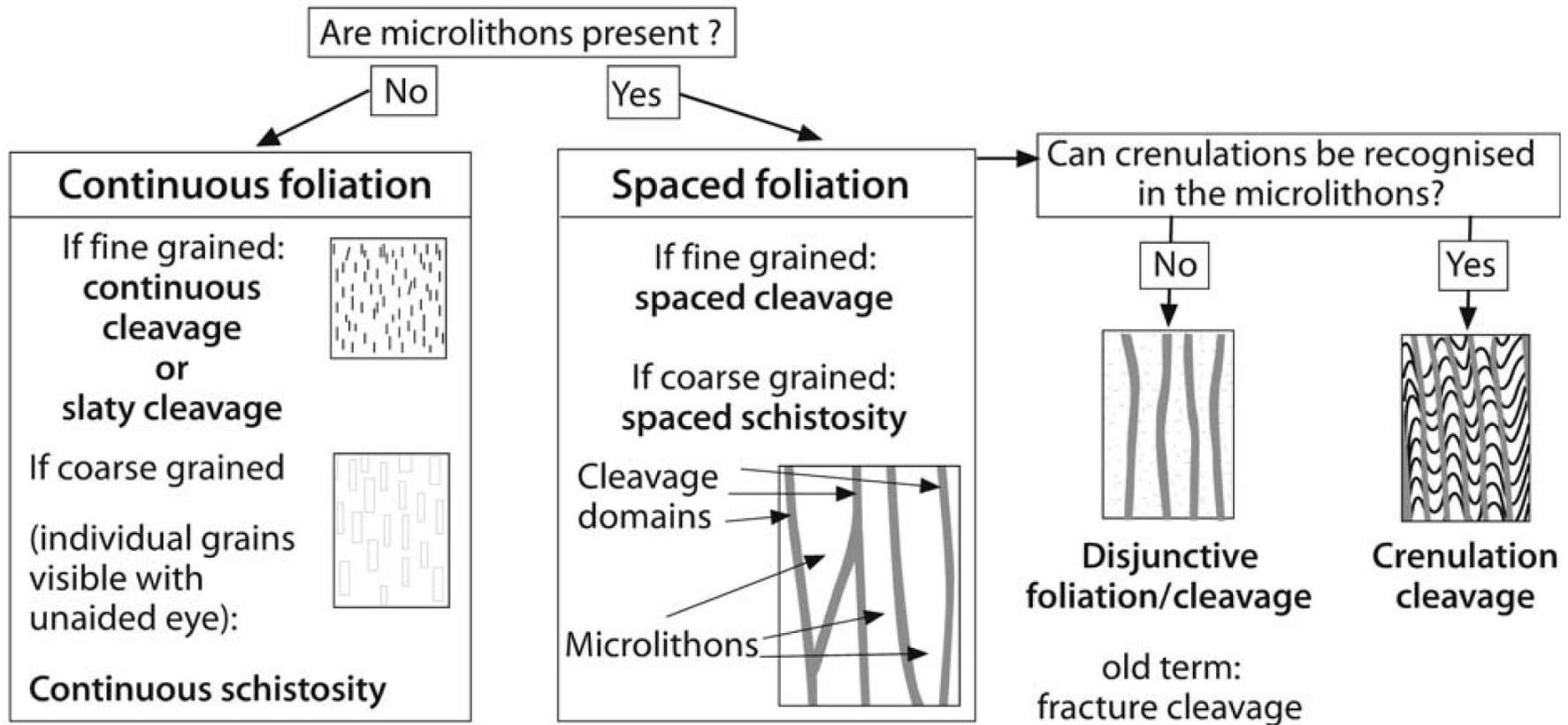


h
Combinação de a, b, c

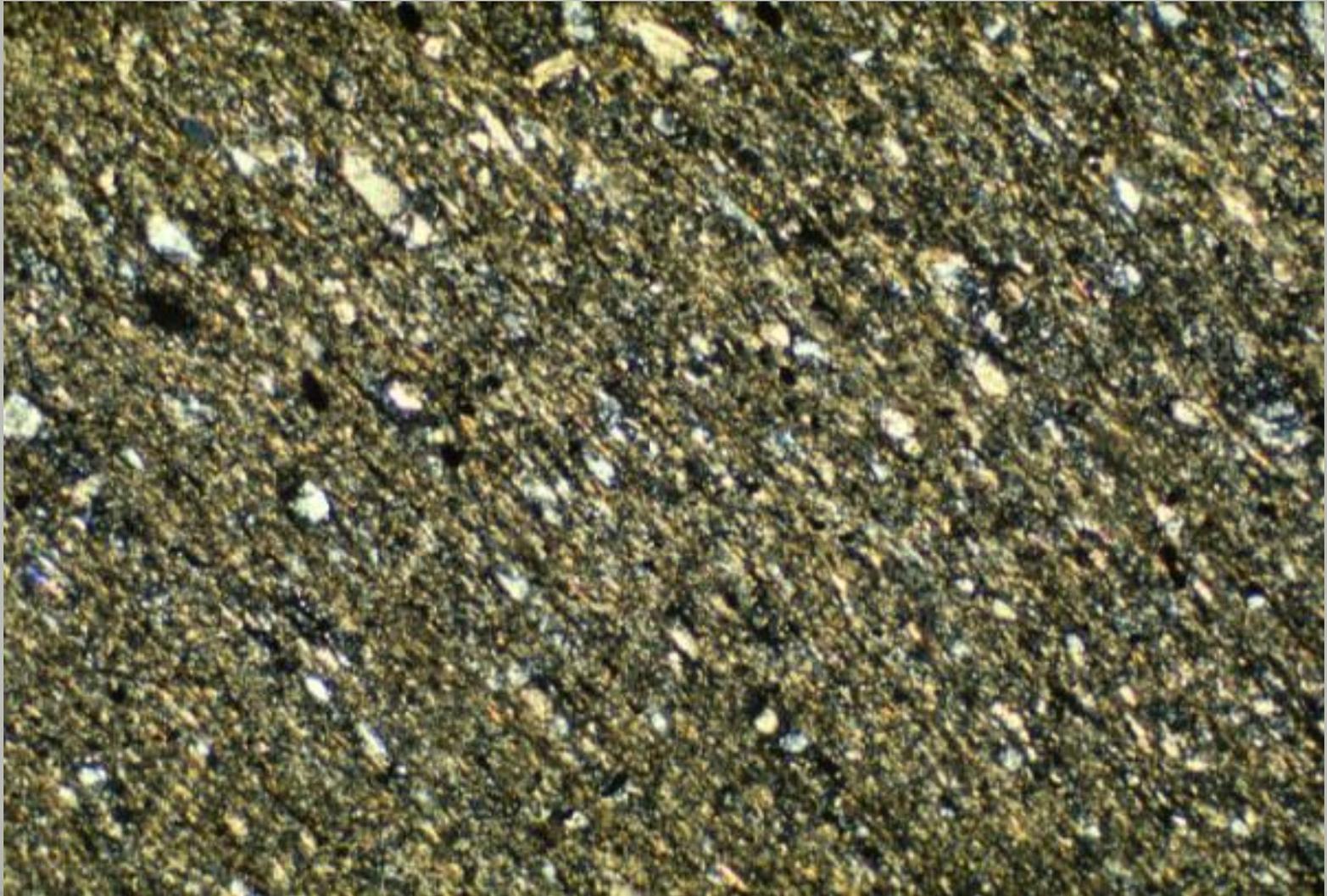
Estruturas Lineares



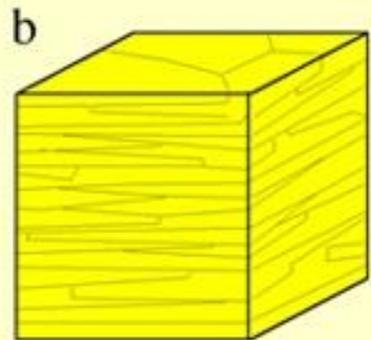
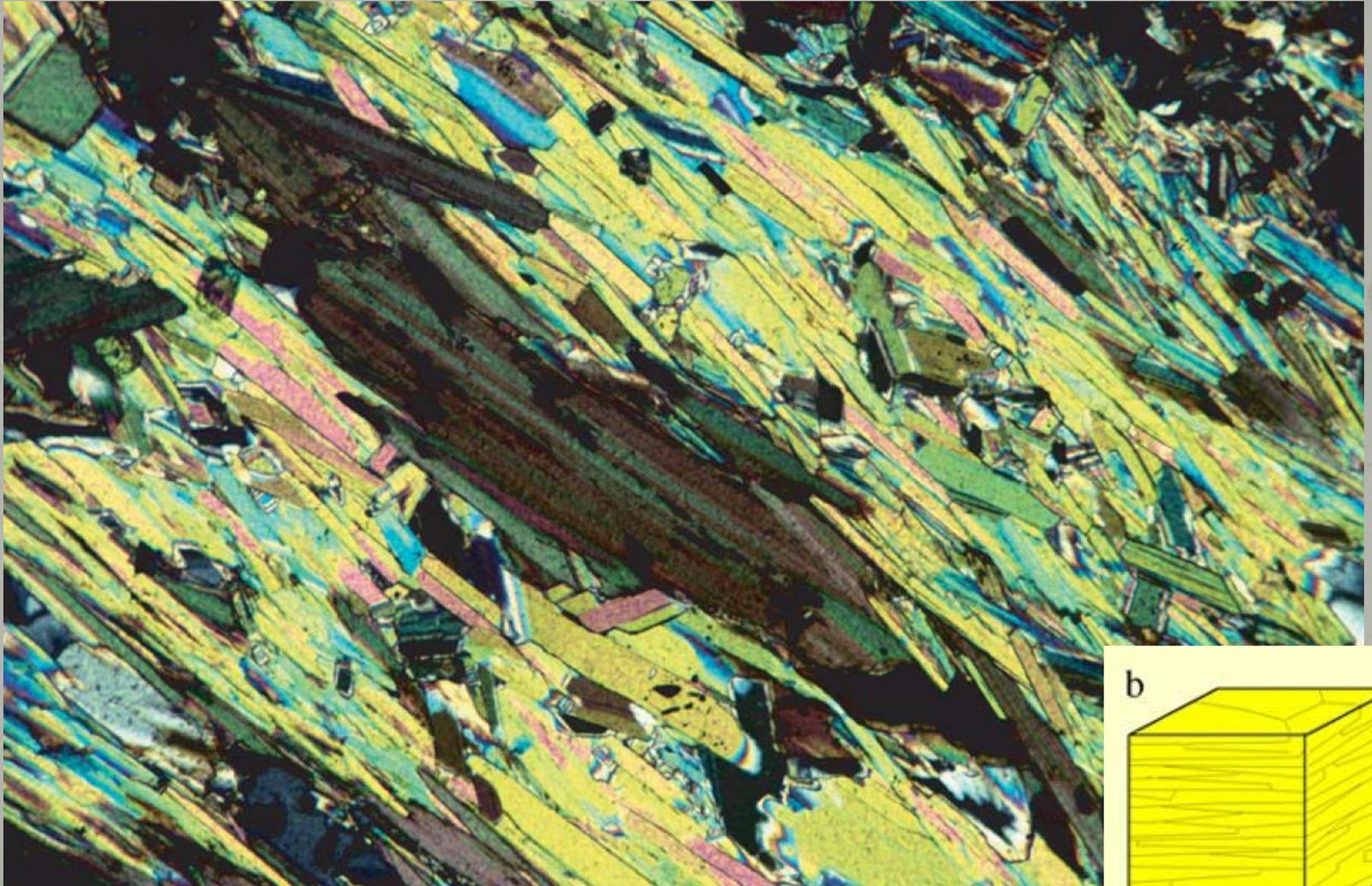
Classificação morfológica de foliações (escala microscópica)



Foliação Contínua: clivagem contínua ou clivagem ardosiana

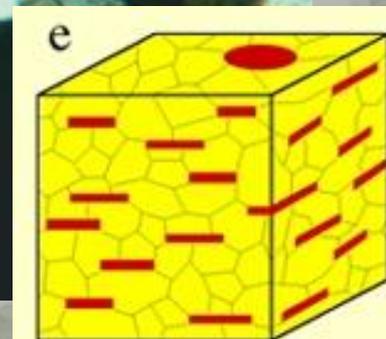
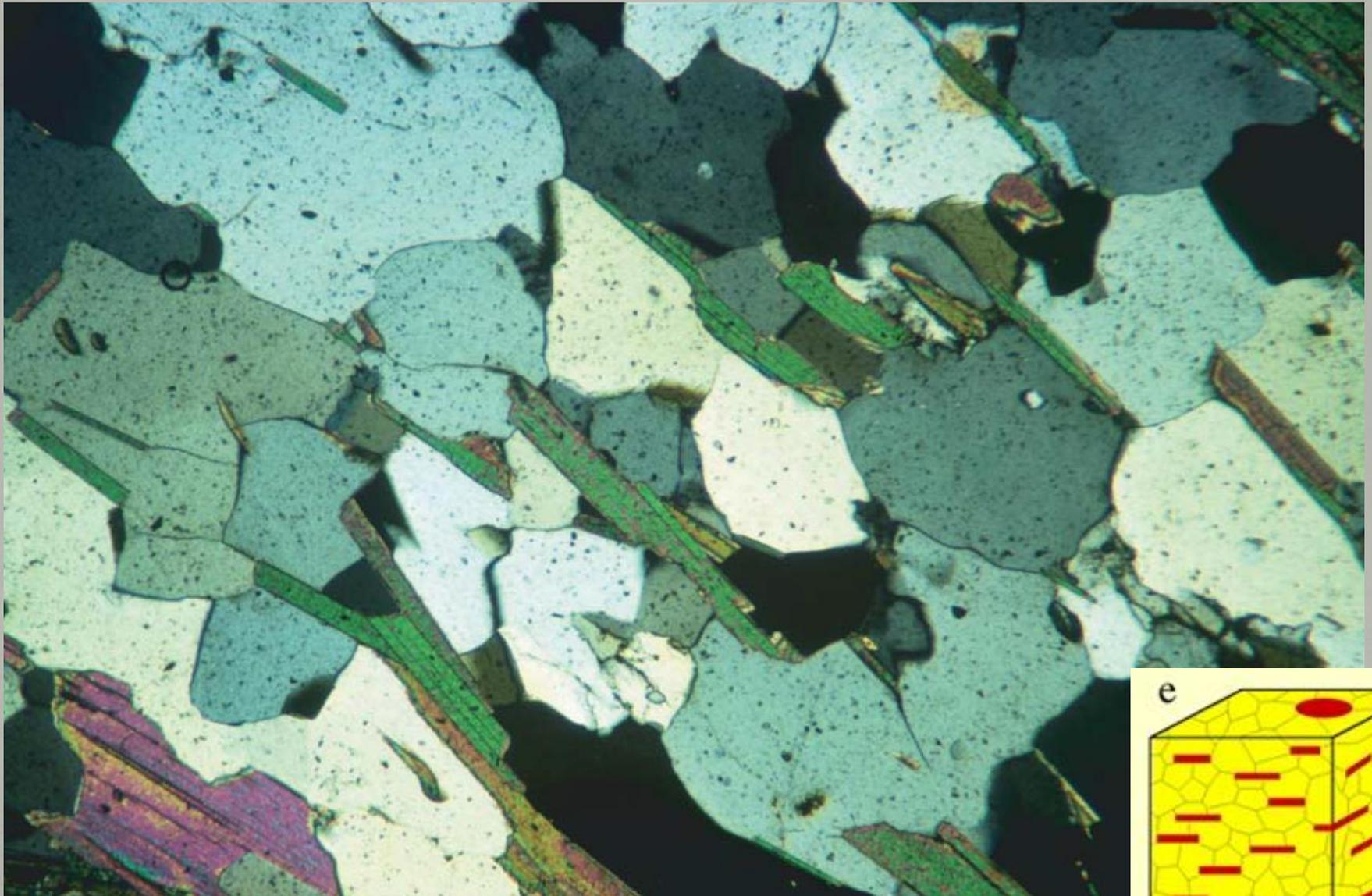


Foliação Contínua: xistosidade (textura lepidoblástica)



Vernon, 2004. A practical guide to rock microstructure. Cambridge.

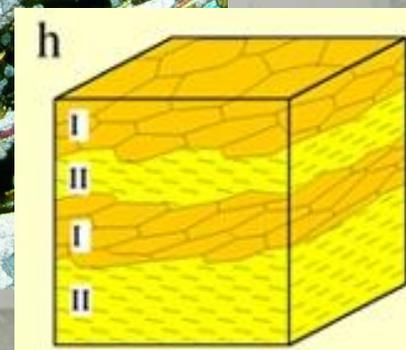
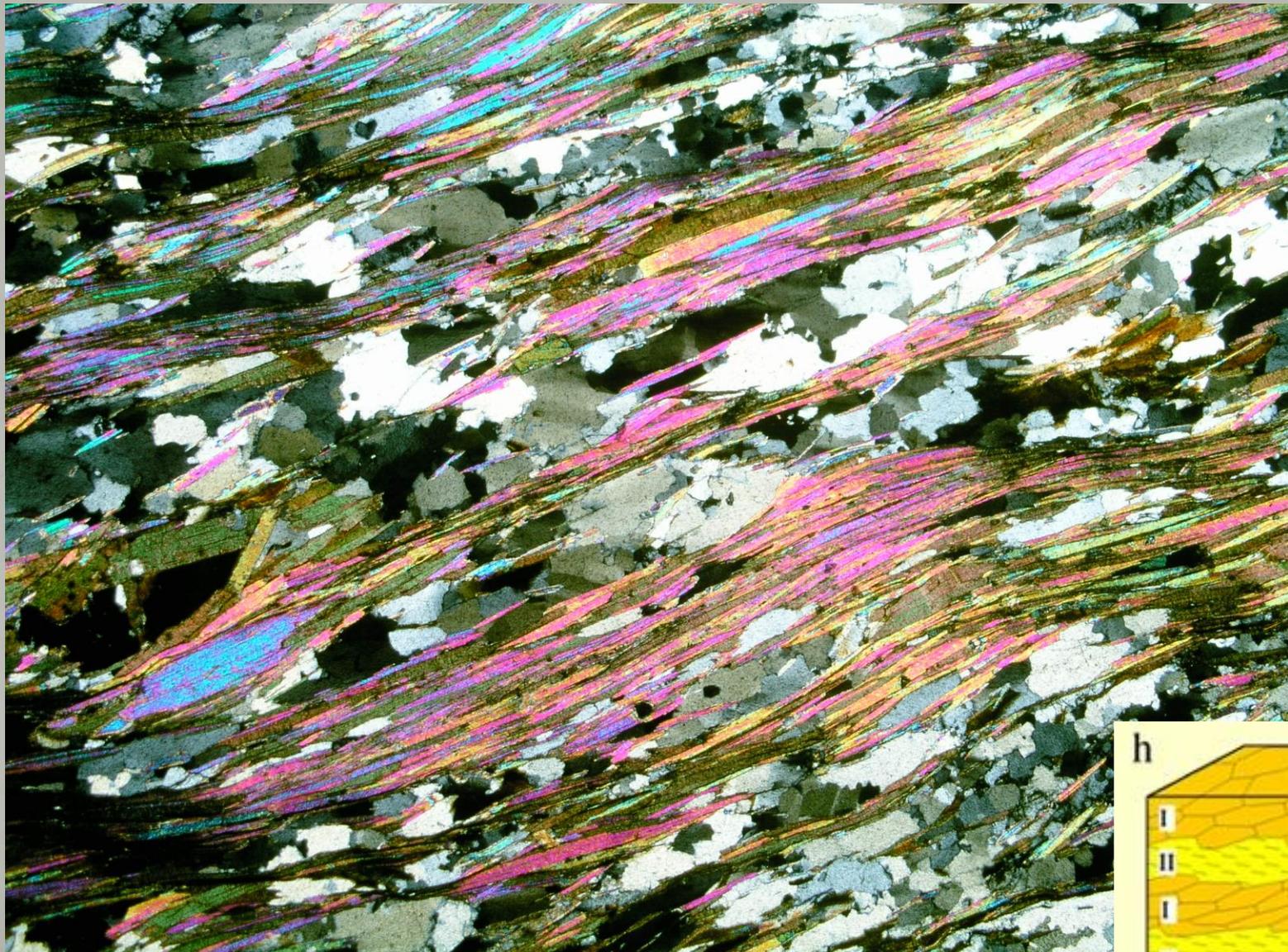
Foliação Contínua: xistosidade (textura lepidogranoblástica)



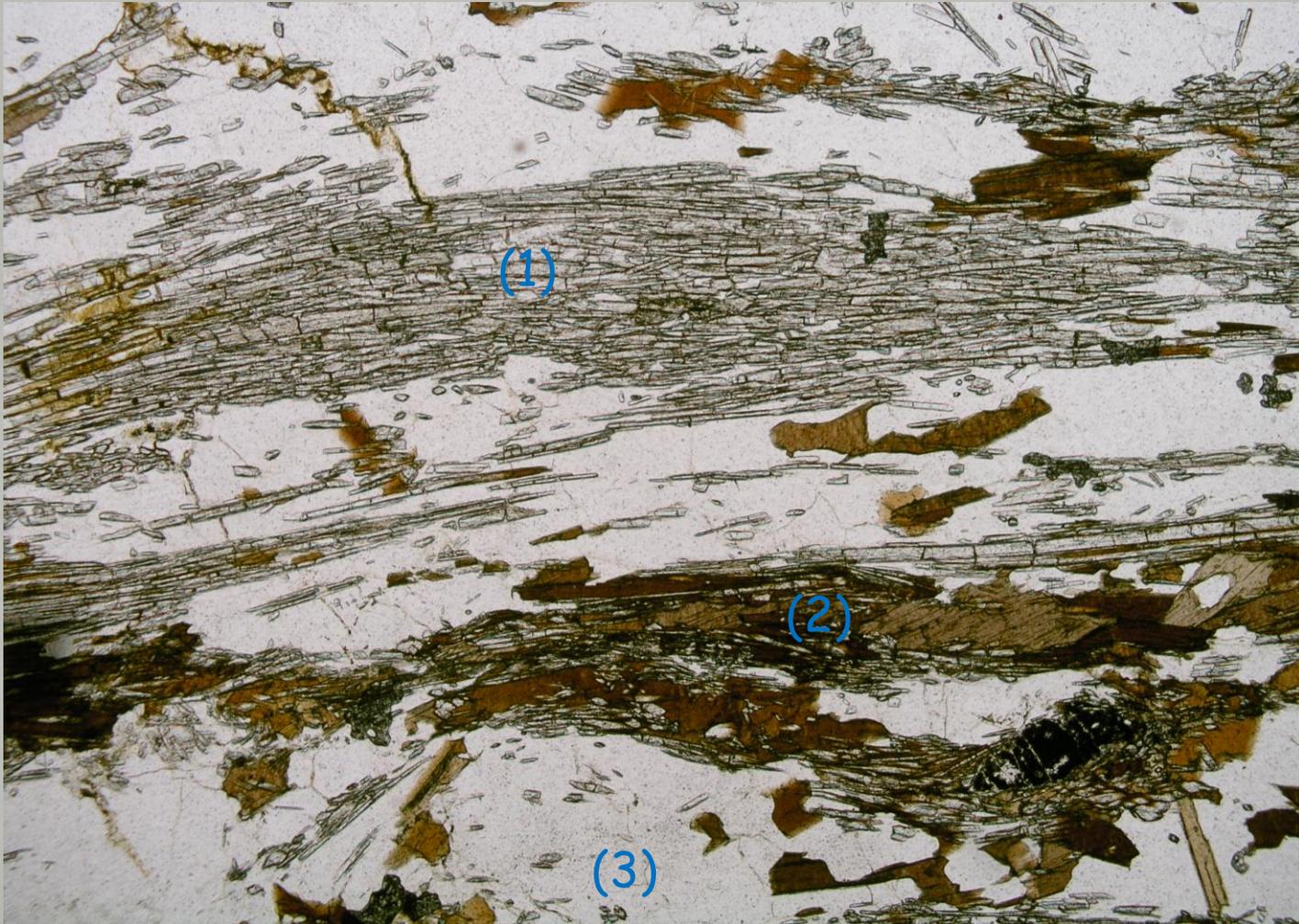
Foliação Contínua: xistosidade (textura granolepidoblástica)



Xistosidade + laminação composicional (textura: bandas lepidoblásticas alternadas com bandas granoblásticas)



Xistosidade + laminação composicional
(alternâncias entre bandas nematoblásticas de sillimanita (1), bandas
nematolepidoblásticas com biotita + sillimanita (2) e bandas
granoblásticas quartzofeldspáticas (3))



Xistosidade + laminação composicional
(textura: bandas nematolepidoblásticas com biotita e cianita alternadas
com bandas granoblásticas quartzofeldspáticas)



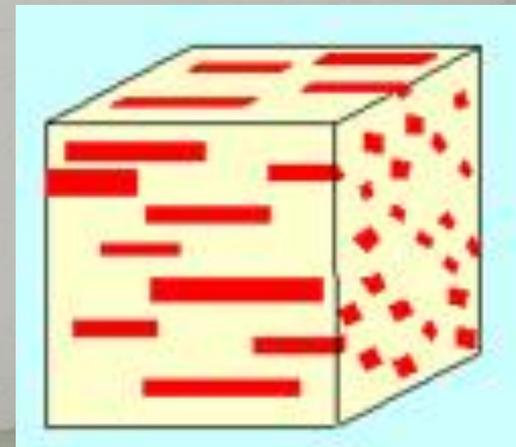
L-tectonito (crossita xisto)



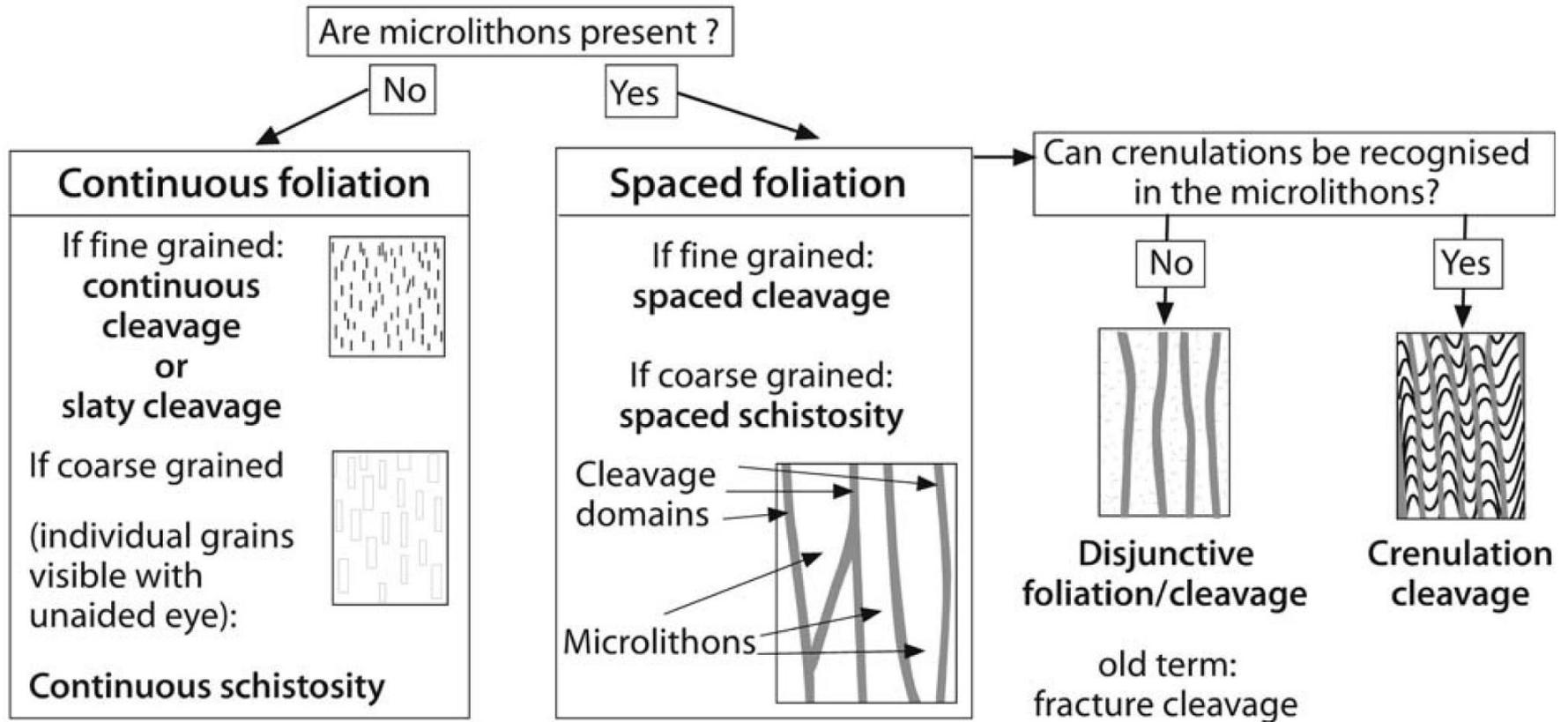
Corte paralelo
à lineação mineral



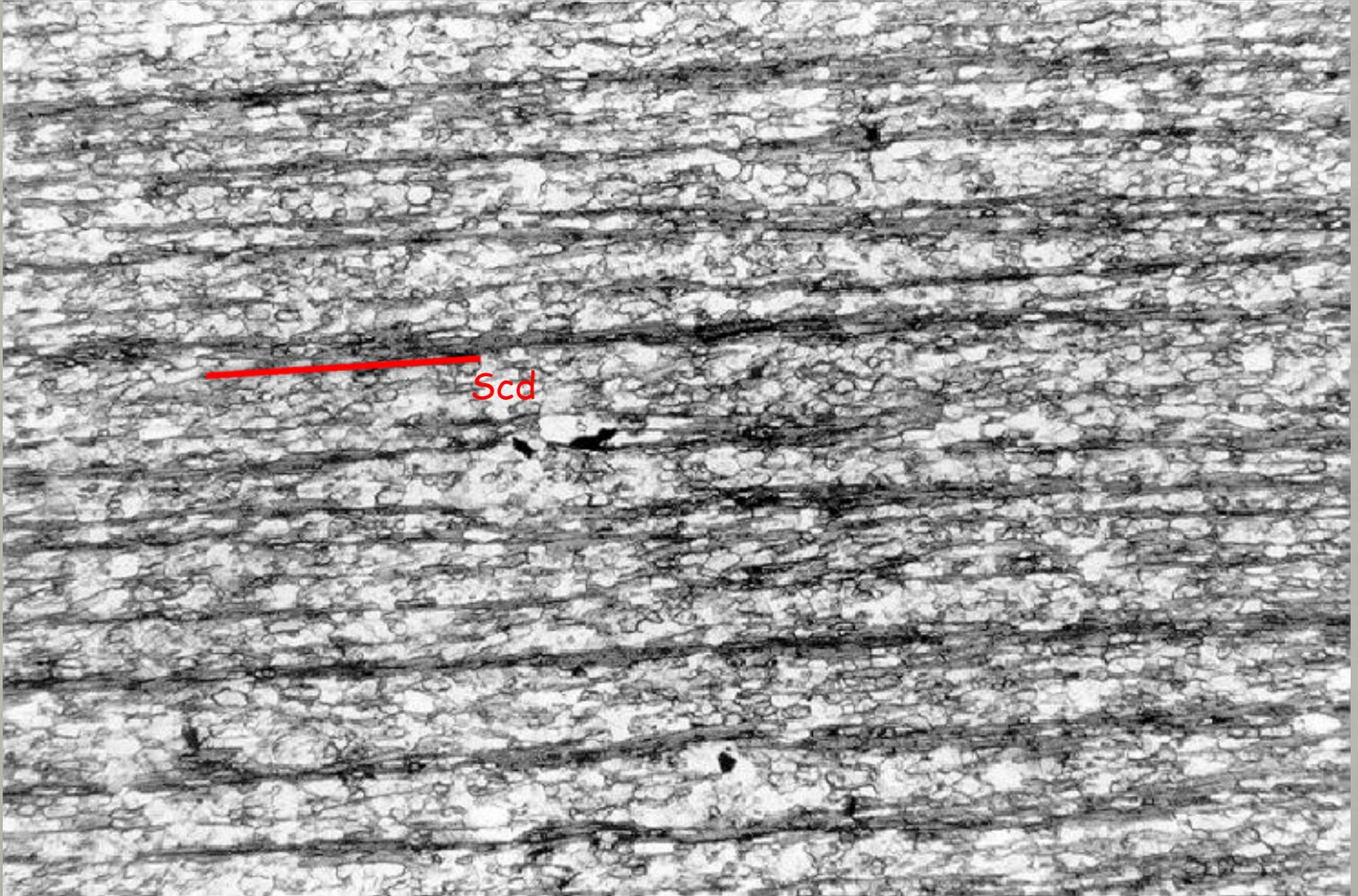
Corte perpendicular
à lineação mineral



Foliações Espaçadas



Foliação Espaçada: clivagem disjuntiva



Clivagem disjuntiva em arenito deformado ("não metamórfico")



Vernon, 2004. A practical guide to rock microstructure. Cambridge.

Foliação Espaçada: clivagem de crenulação

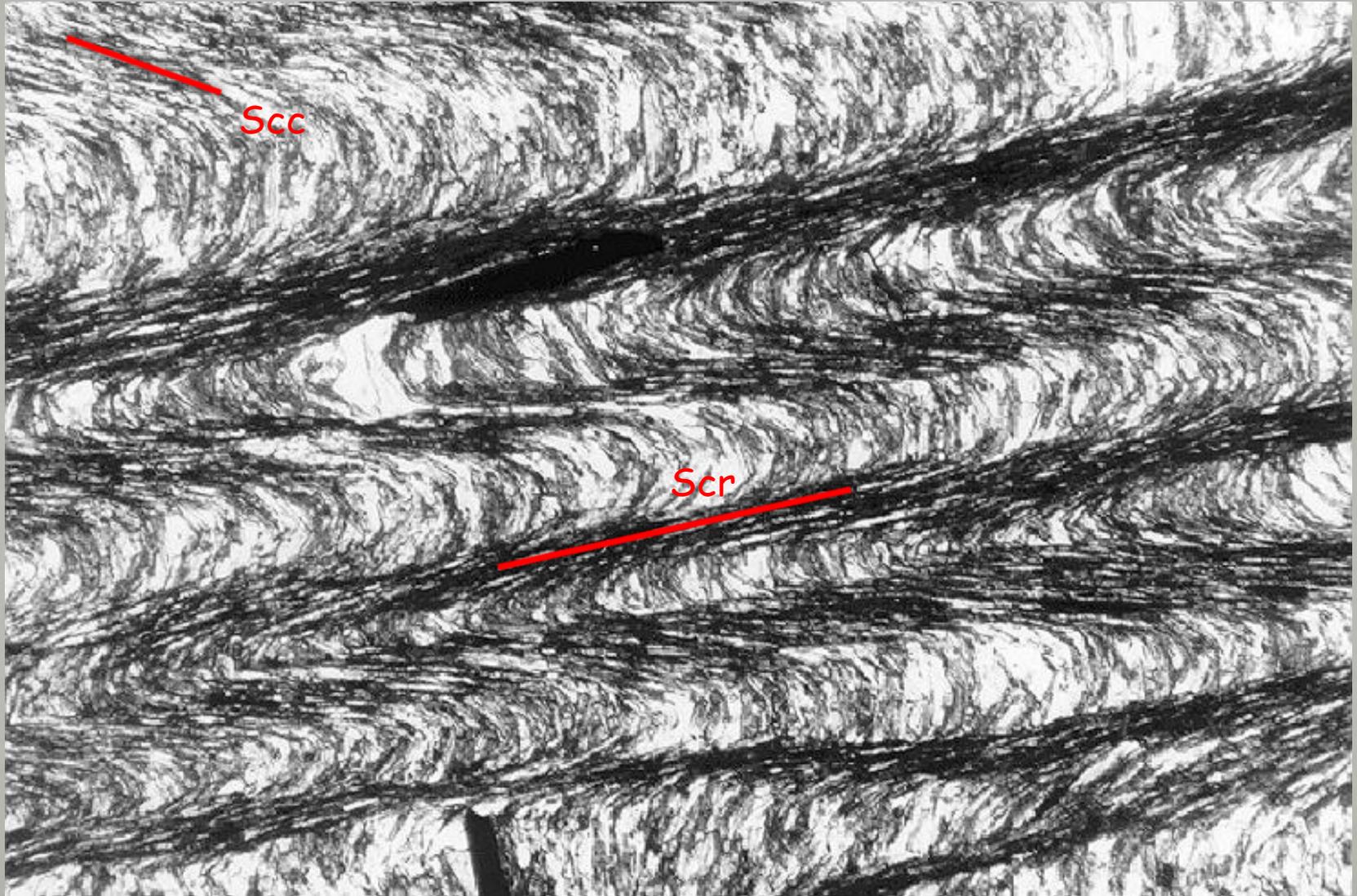
Ardósia

Fácies xisto-verde,
zona da clorita

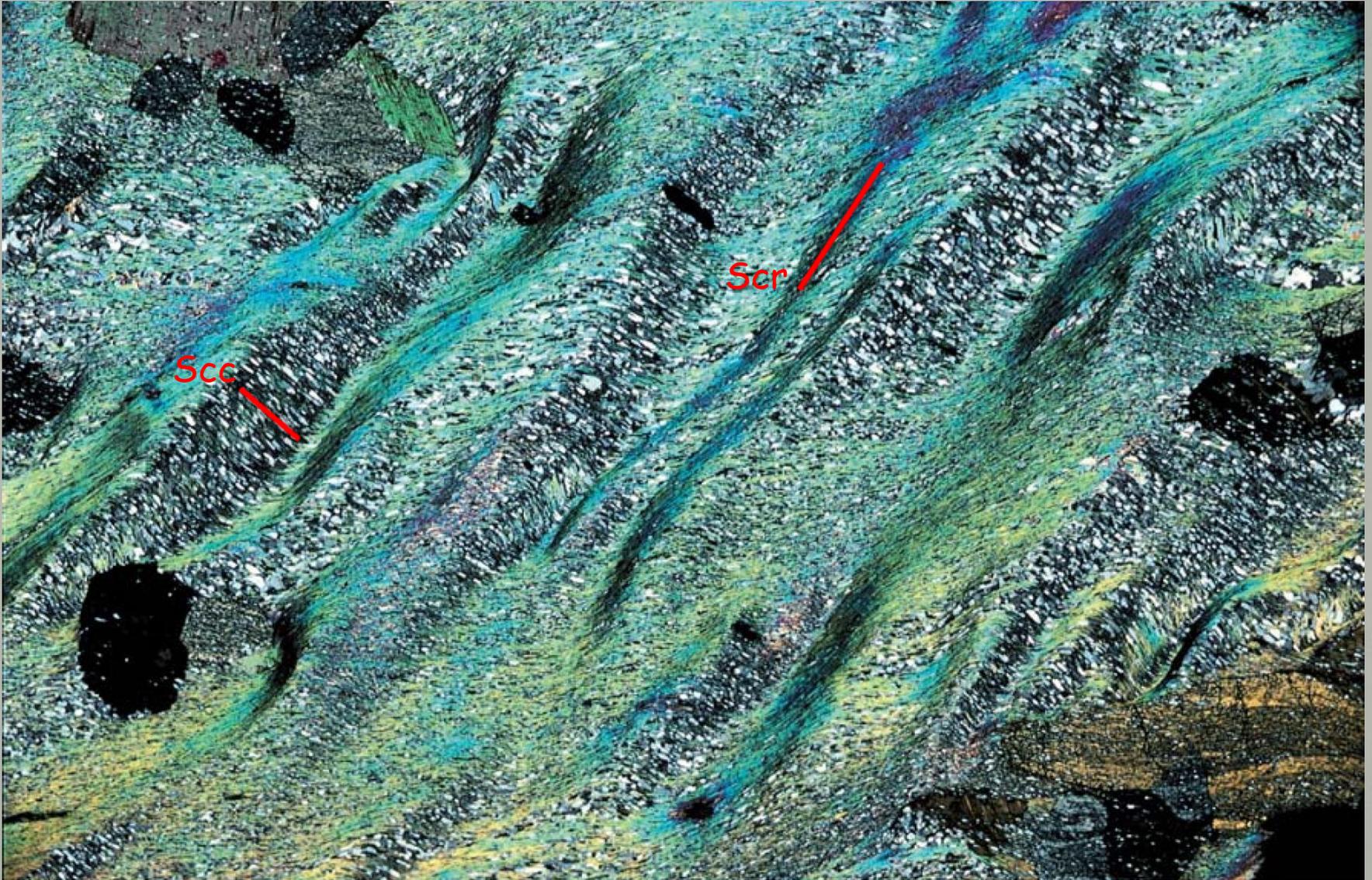


Sas: acamamento sedimentar
Scc: clivagem contínua
Scr: clivagem de crenulação

Foliação Espaçada: clivagem de crenulação + bandamento diferenciado

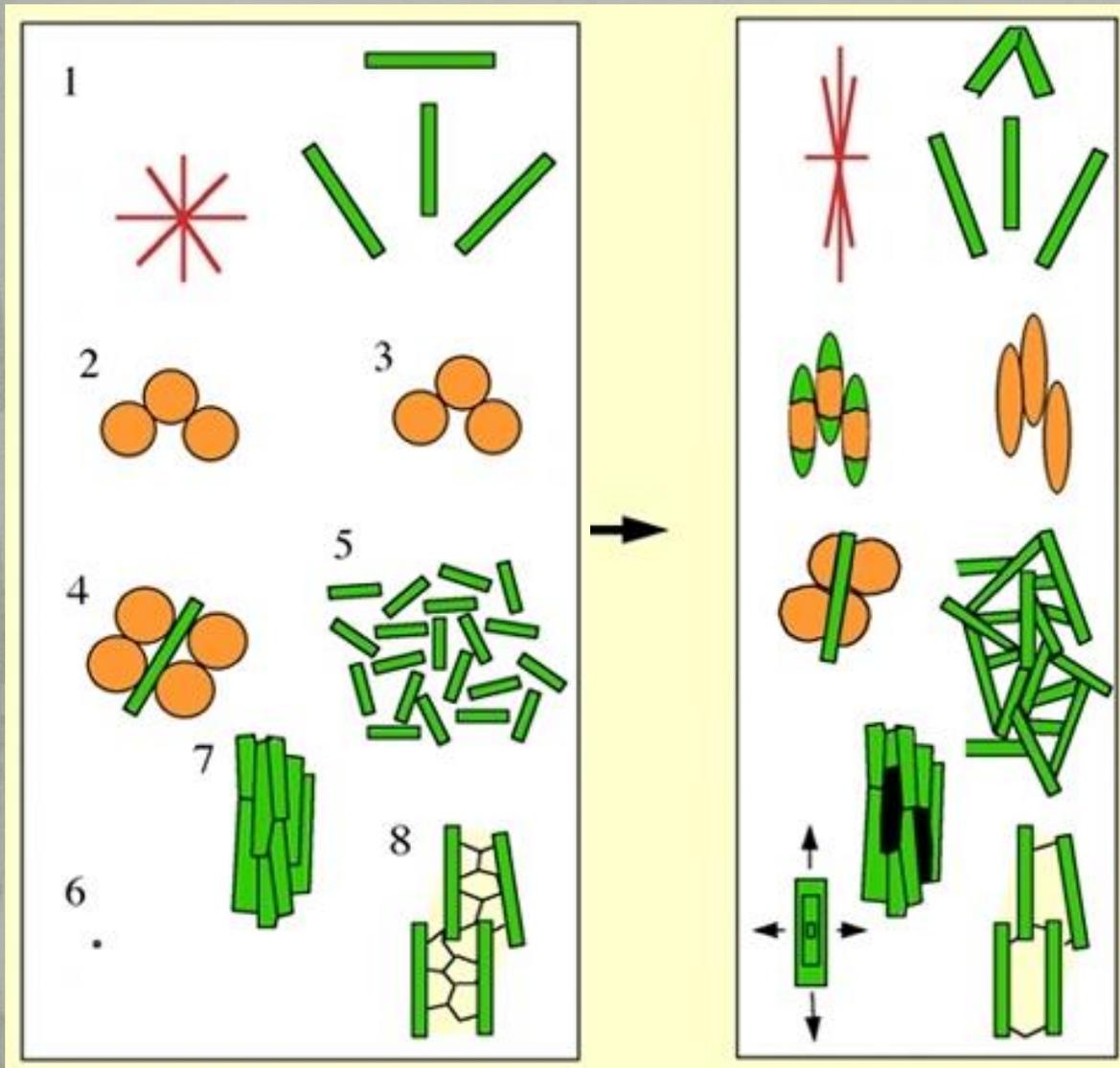


Foliação Espaçada: clivagem de crenulação



Vernon, 2004. A practical guide to rock microstructure. Cambridge.

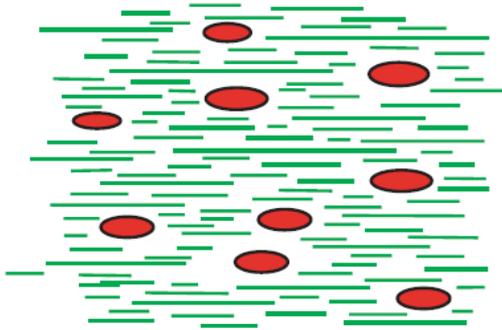
Mecanismos de formação de foliações



- 1) Cristais alongados rotacionam passivamente ou se doblam devido à deformação.
- 2) Minerais mudam sua forma por dissolução e reprecipitação induzida por deformação.
- 3) Minerais modificam suas formas por plasticidade cristalina.
- 4) Agregados poliminerálicos desenvolvem foliação pela combinação de (1) + (2).
- 5) Crescimento preferencial de micas favoravelmente orientadas com relação ao campo de esforços.
- 6) Nucleação e crescimento de mineral em um campo de esforços.
- 7) Crescimento mímico de grãos alongados devido a restrições de direção de crescimento imposta por uma foliação preexistente.
- 8) Crescimento por recristalização dinâmica limitada por impurezas.

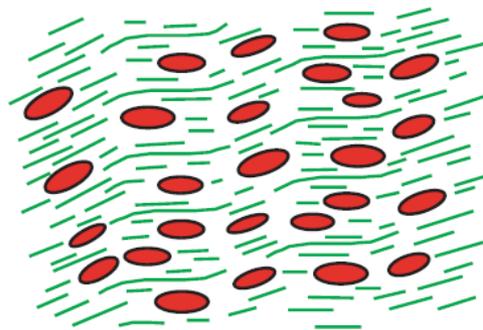
Transposição de foliações

Foliação original (S_1)

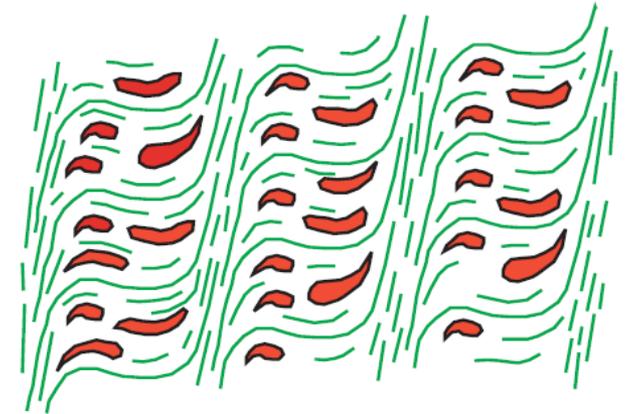


1

Início de crenulação (S_2)

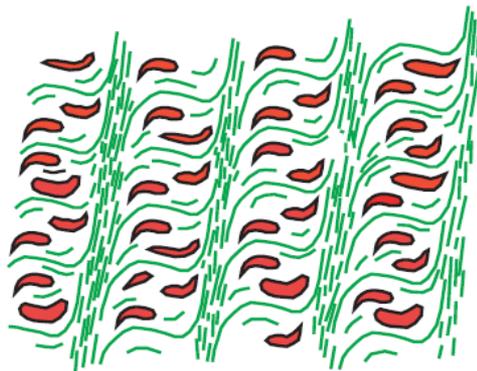


2



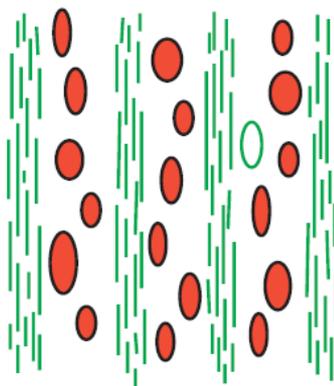
3

Início de diferenciação metamórfica



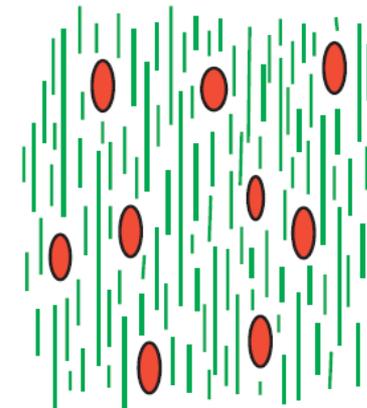
Crescimento de micas nos domínios de clivagem

4



Destruição da crenulação nos microlitons

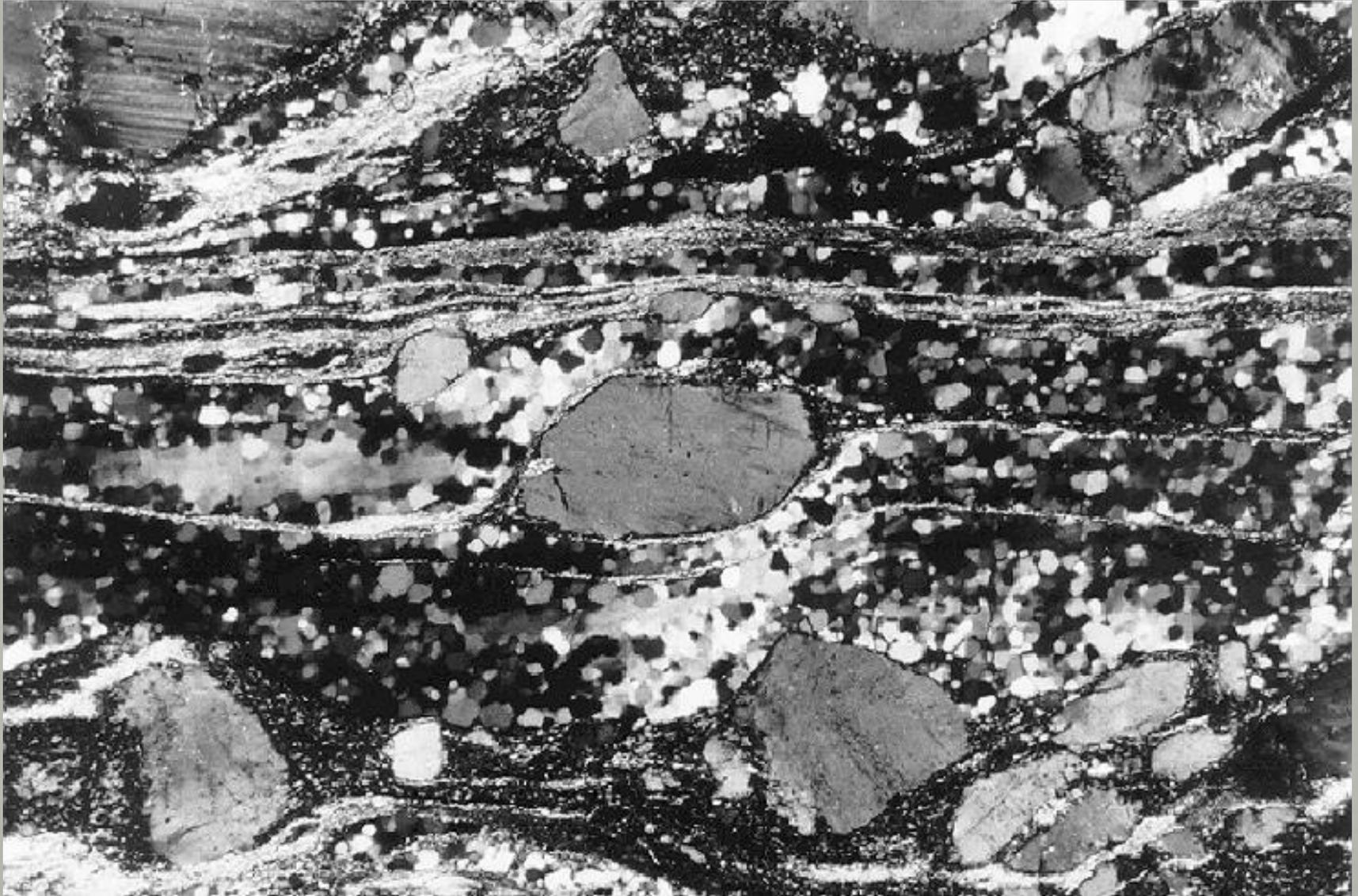
5



Foliação S_2 contínua

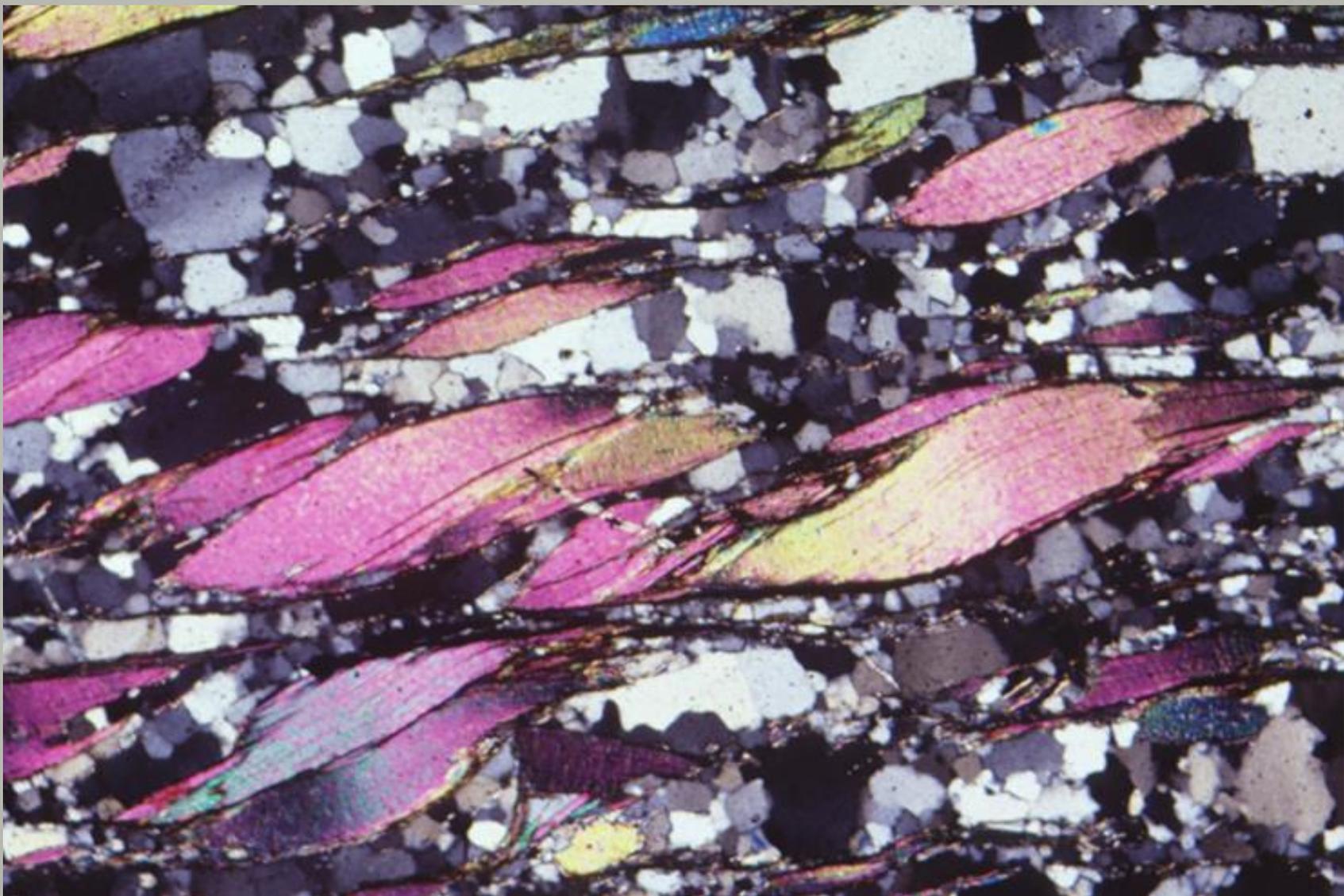
6

Foliação Milonítica



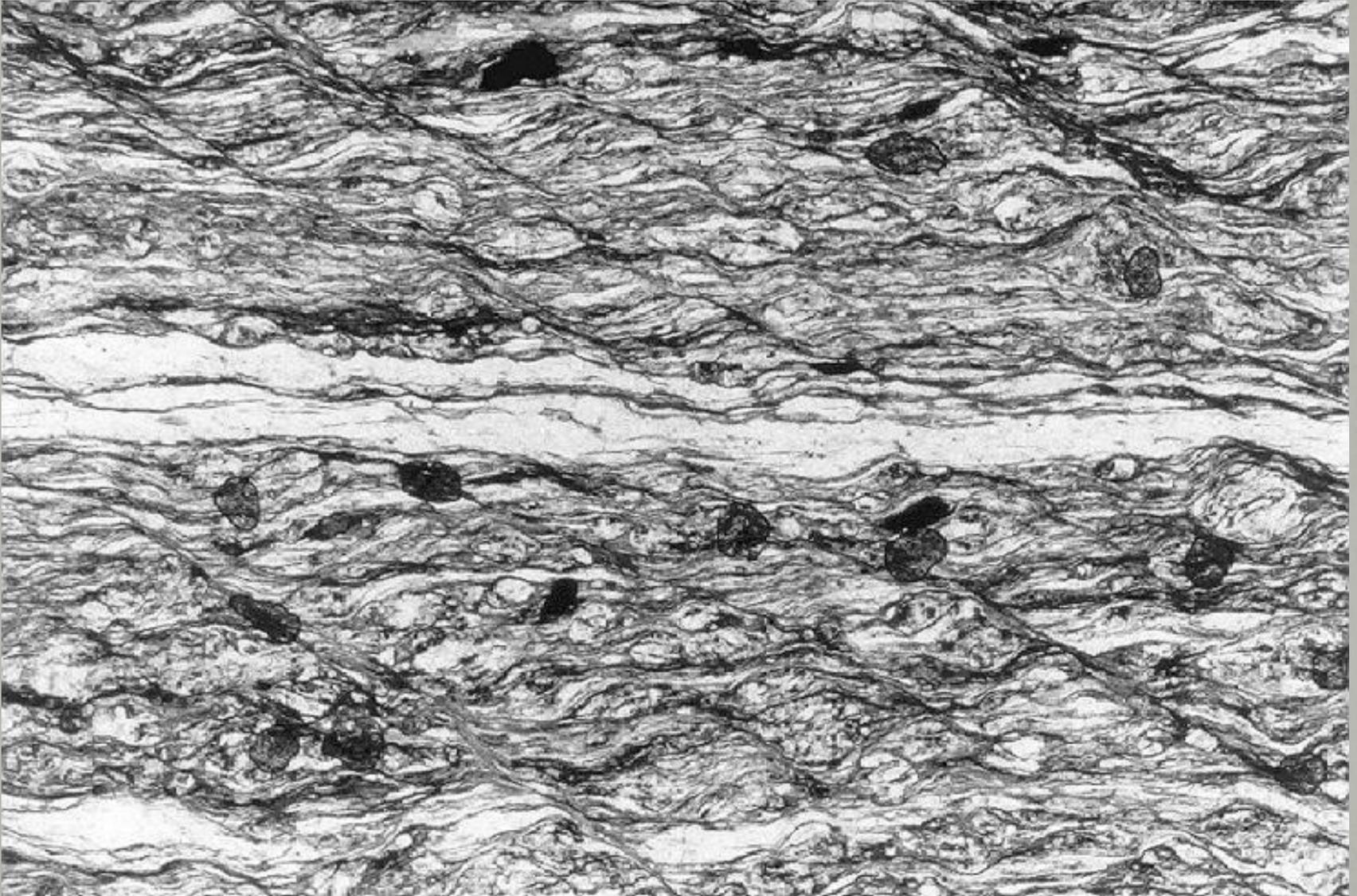
Passchier & Trow, 2005. *Microtectonics*, 2nd edition. Springer.

Foliação SC (*C*-type shear band cleavage)



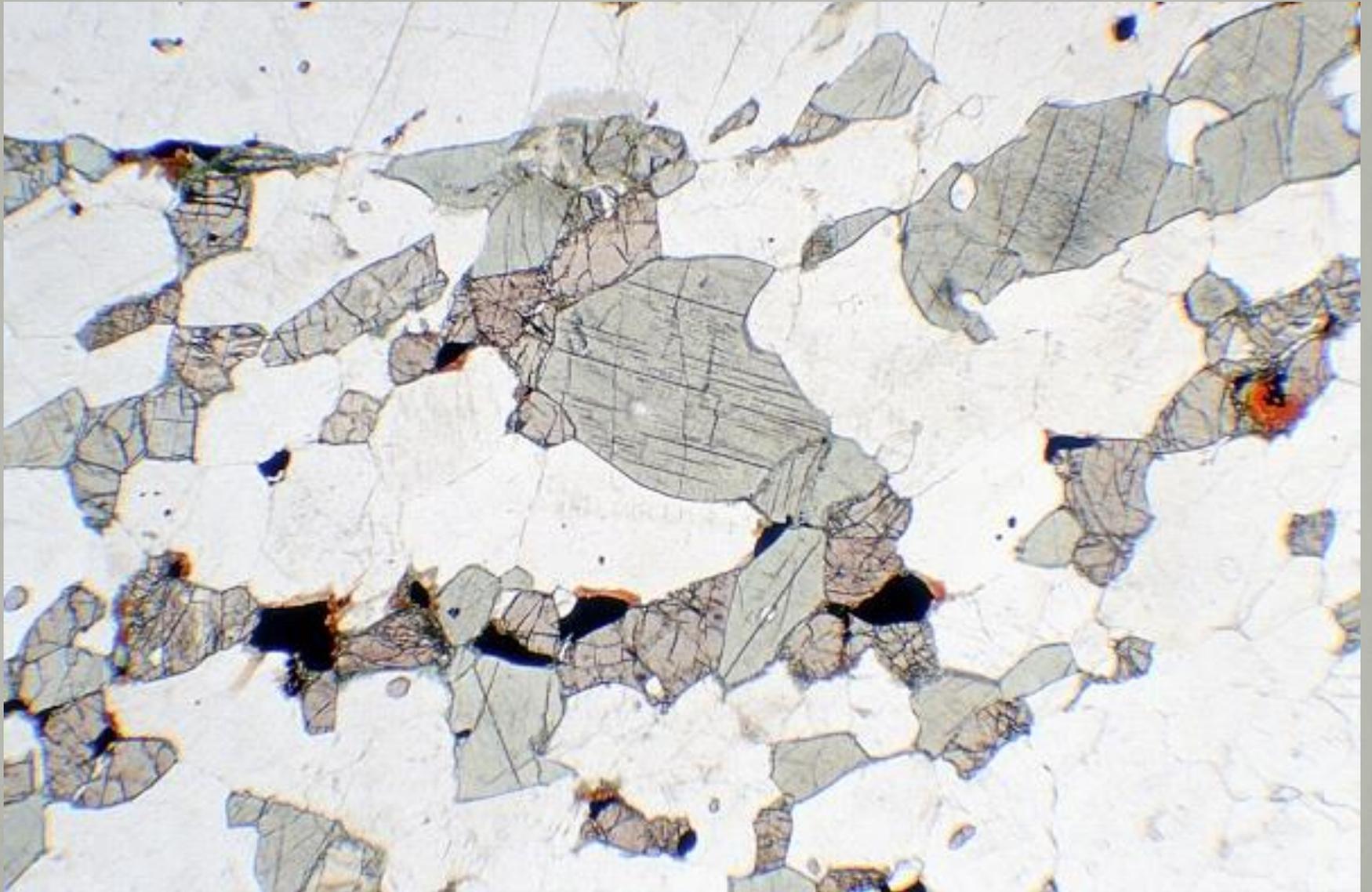
Passchier & Trow, 2005. *Microtectonics*, 2nd edition. Springer.

Foliação SC' (*C'*-type shear band cleavage)

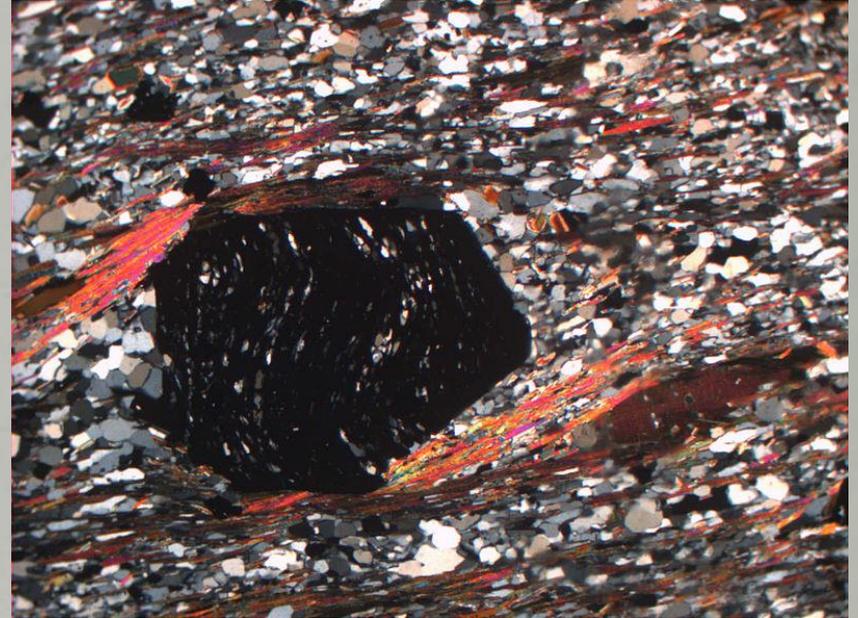


Passchier & Trow, 2005. *Microtectonics*, 2nd edition. Springer.

Foliação Gnáissica



Relações entre crescimento de porfiroblastos e matriz



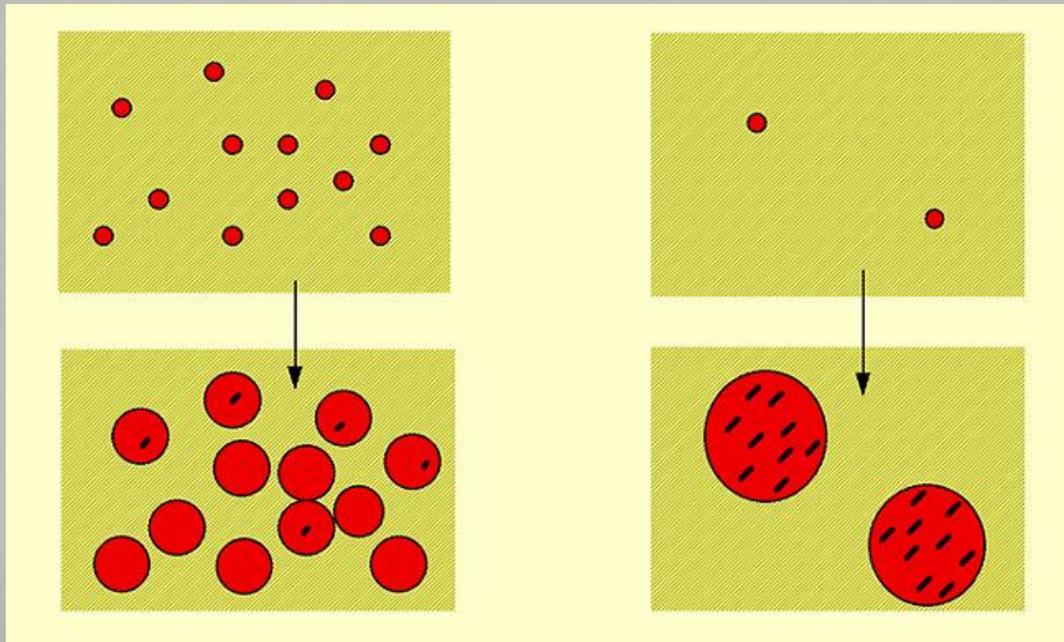
Por que alguns minerais tem a tendência em formar porfiroblastos e outros a matriz?

Porfiroblastos versus matriz

O tamanho de cristais isolados em rochas metamórficas depende das relações entre taxa de nucleação (N) e taxa de crescimento (G).

Se abundantes núcleos de uma determinada fase mineral puderem se formar, muitos grãos desse mineral serão produzidos (matriz).

Se a nucleação de uma determinada fase for difícil, poucos núcleos se formaram separadamente e produzirão porfiroblastos.



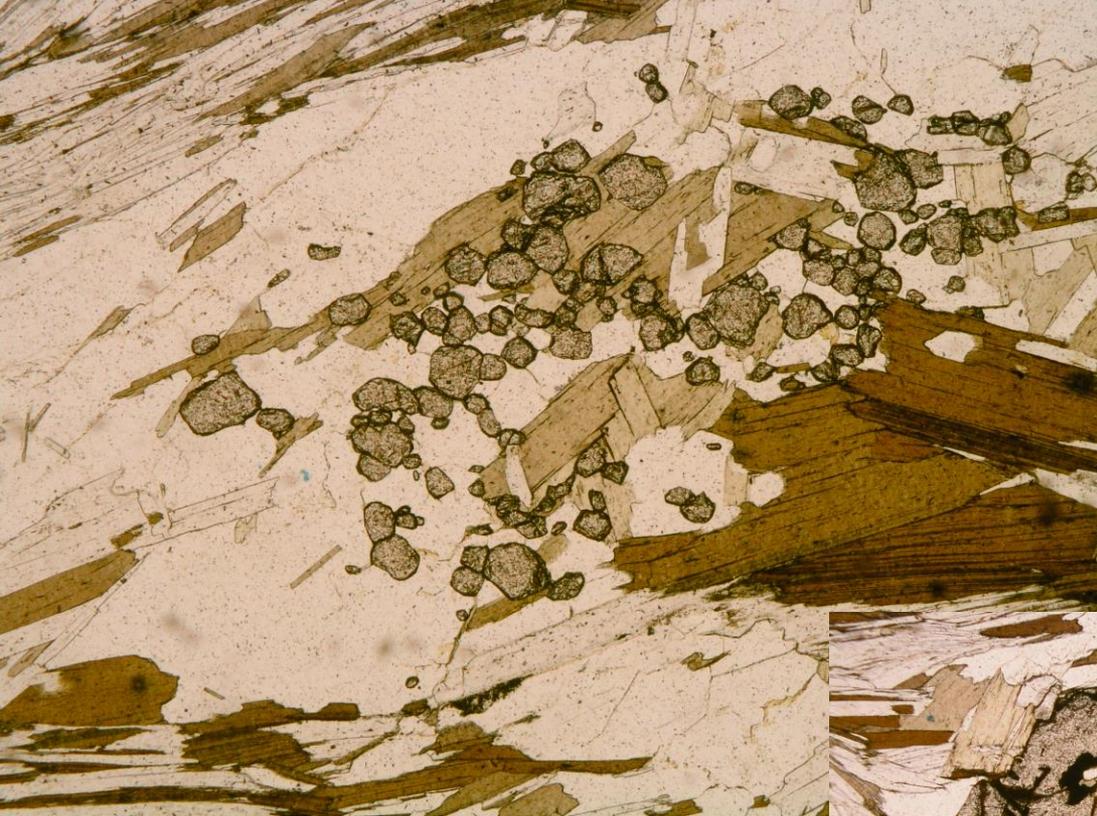
Porfiroblastos versus matriz

A taxa de nucleação (N) depende da temperatura e da disponibilidade de minerais que poderão atuar como agentes de nucleação.

Considerem um argilito que passará por metamorfismo progressivo: ardósia - filito - xisto - gnaisse.

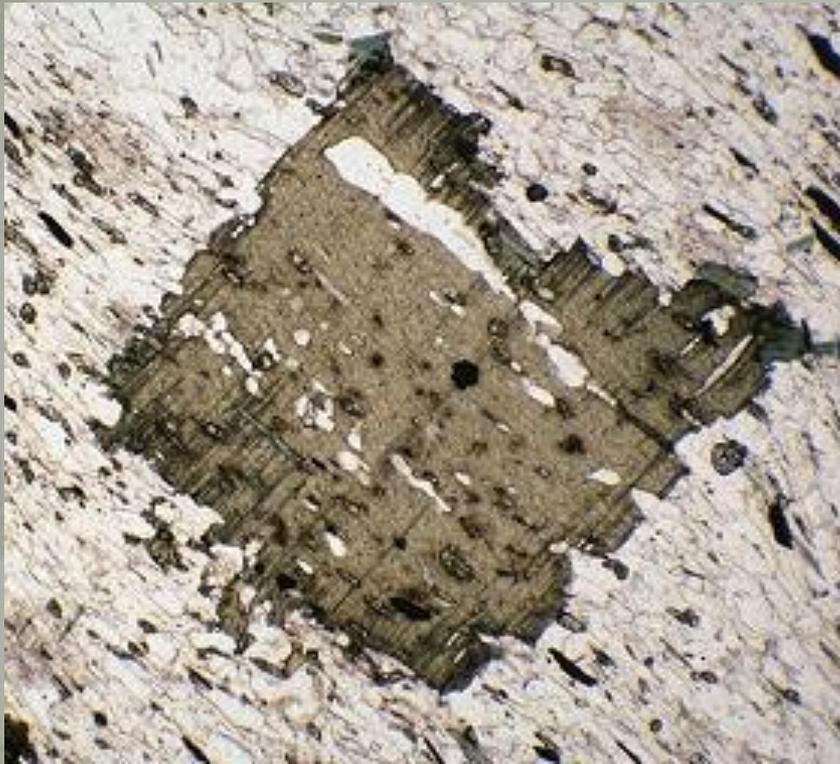
O argilito apresenta muitos núcleos disponíveis para crescimento de quartzo e micas e estes formarão uma matriz relativamente fina (razão N/G alta).

Minerais adequados para agirem como núcleos para granada, estaurolita e cianita são raros ou inexistentes e poucos núcleos vão se formar, assim, esses minerais tipicamente formam porfiroblastos (razão N/G baixa).



Nucleação e crescimento são processos concorrentes

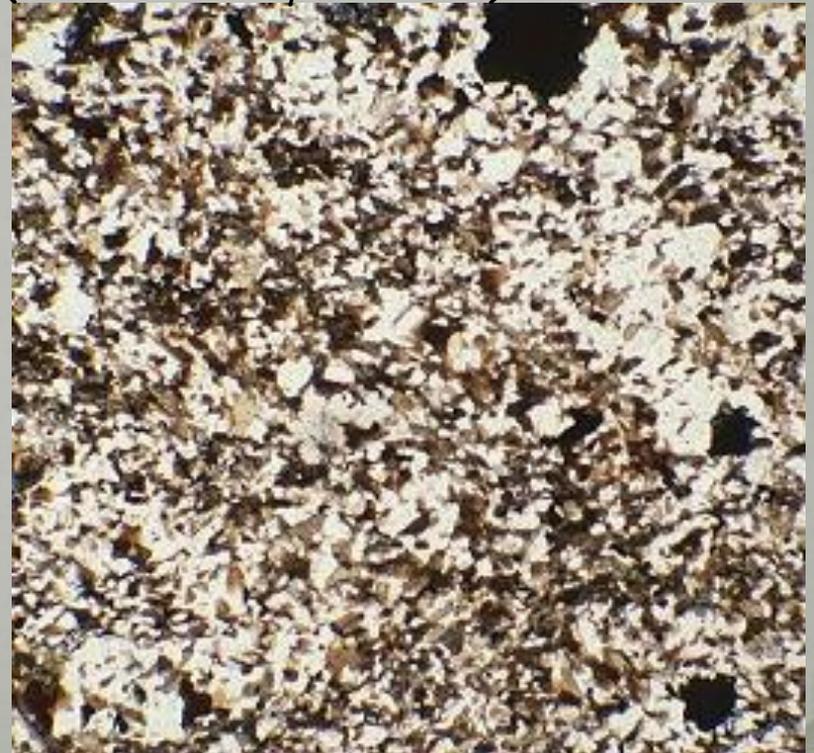




Metamorfismo Regional (baixa taxa de aquecimento)

A taxa de nucleação é fortemente dependente da taxa de aquecimento.

Metamorfismo de Contato (alta taxa de aquecimento)

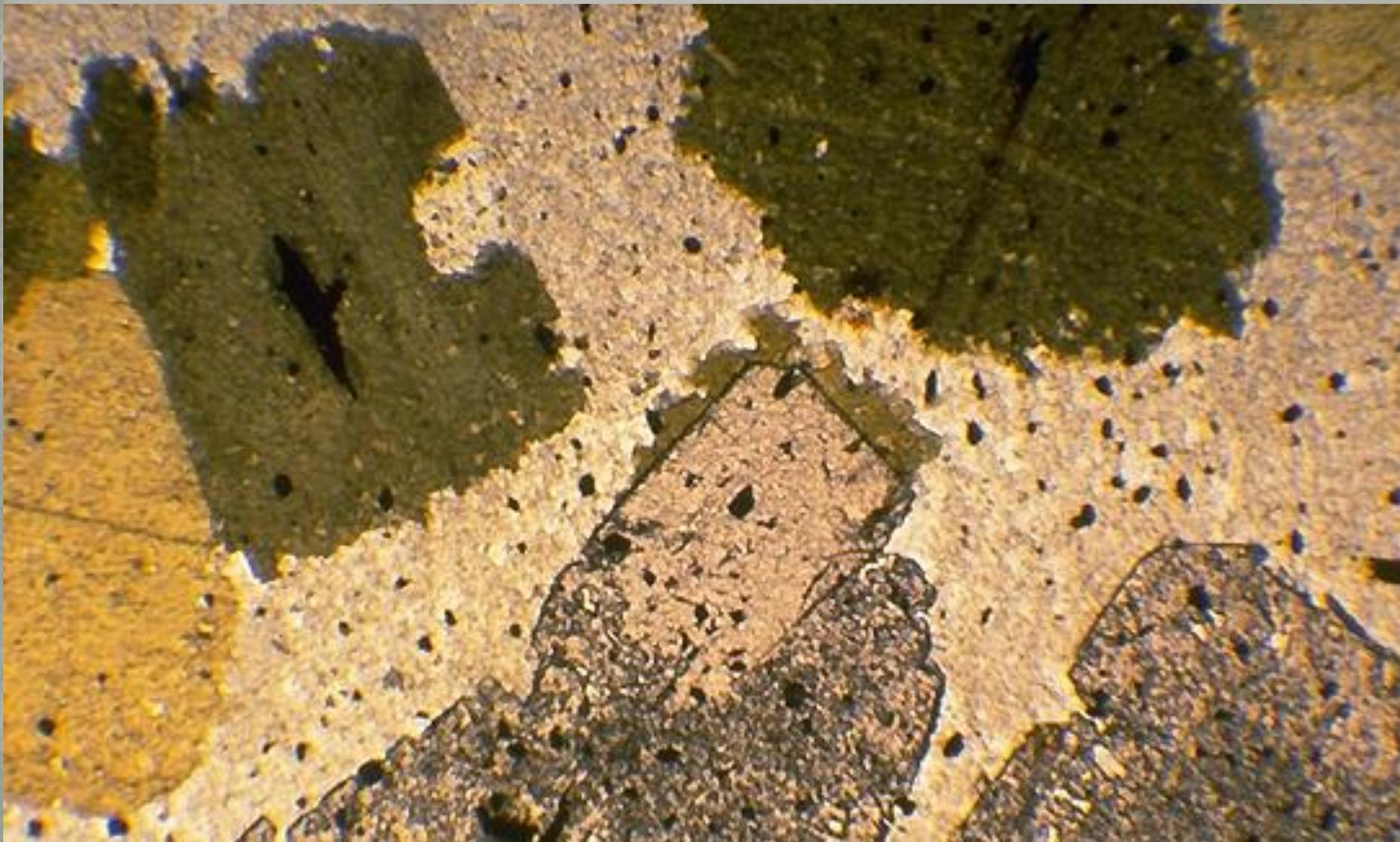


Crescimento e afinidade química



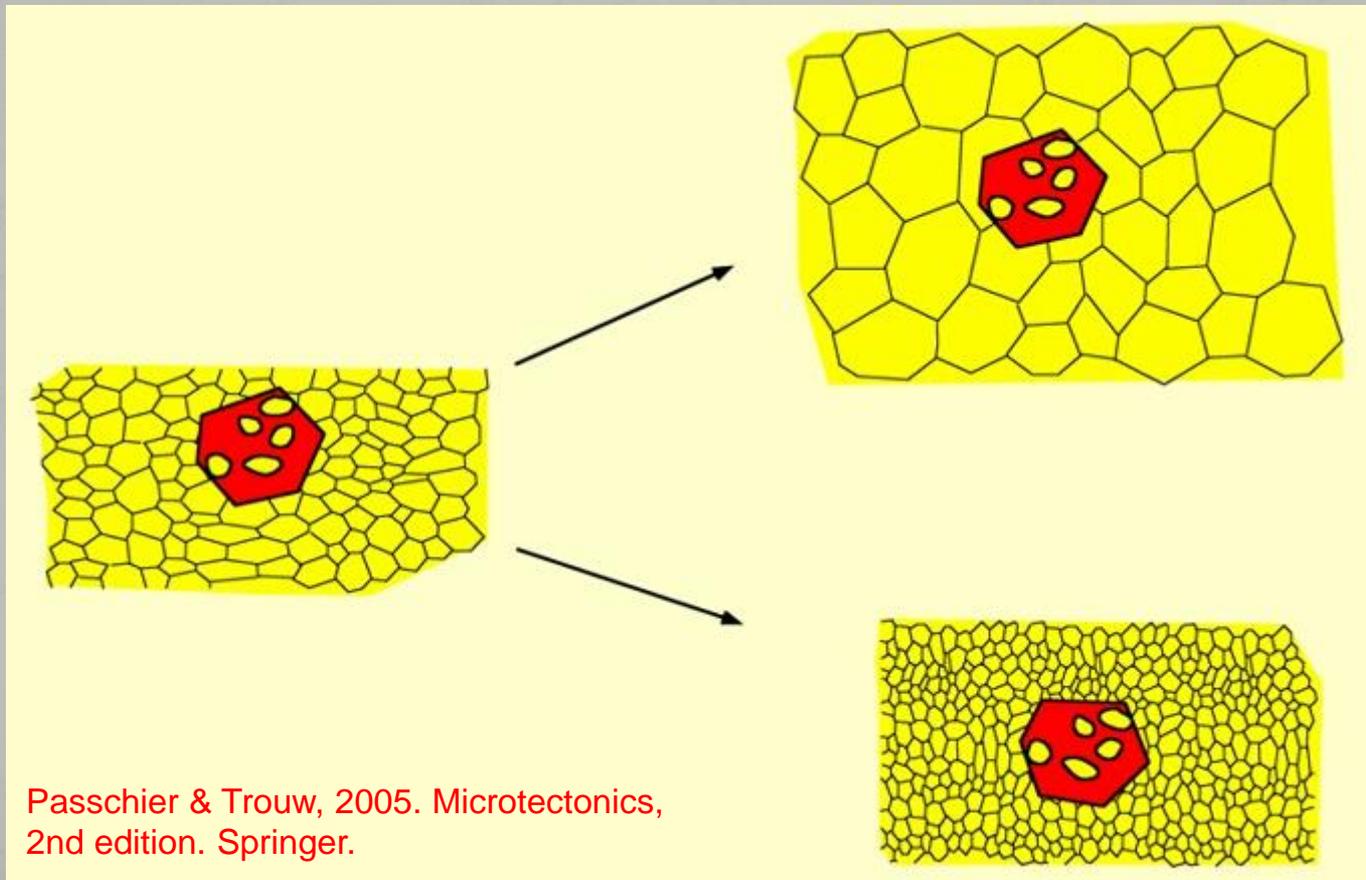
Passchier & Trouw, 2005. *Microtectonics*, 2nd edition. Springer.

Crescimento e afinidade química



Porfiroblastos versus matriz

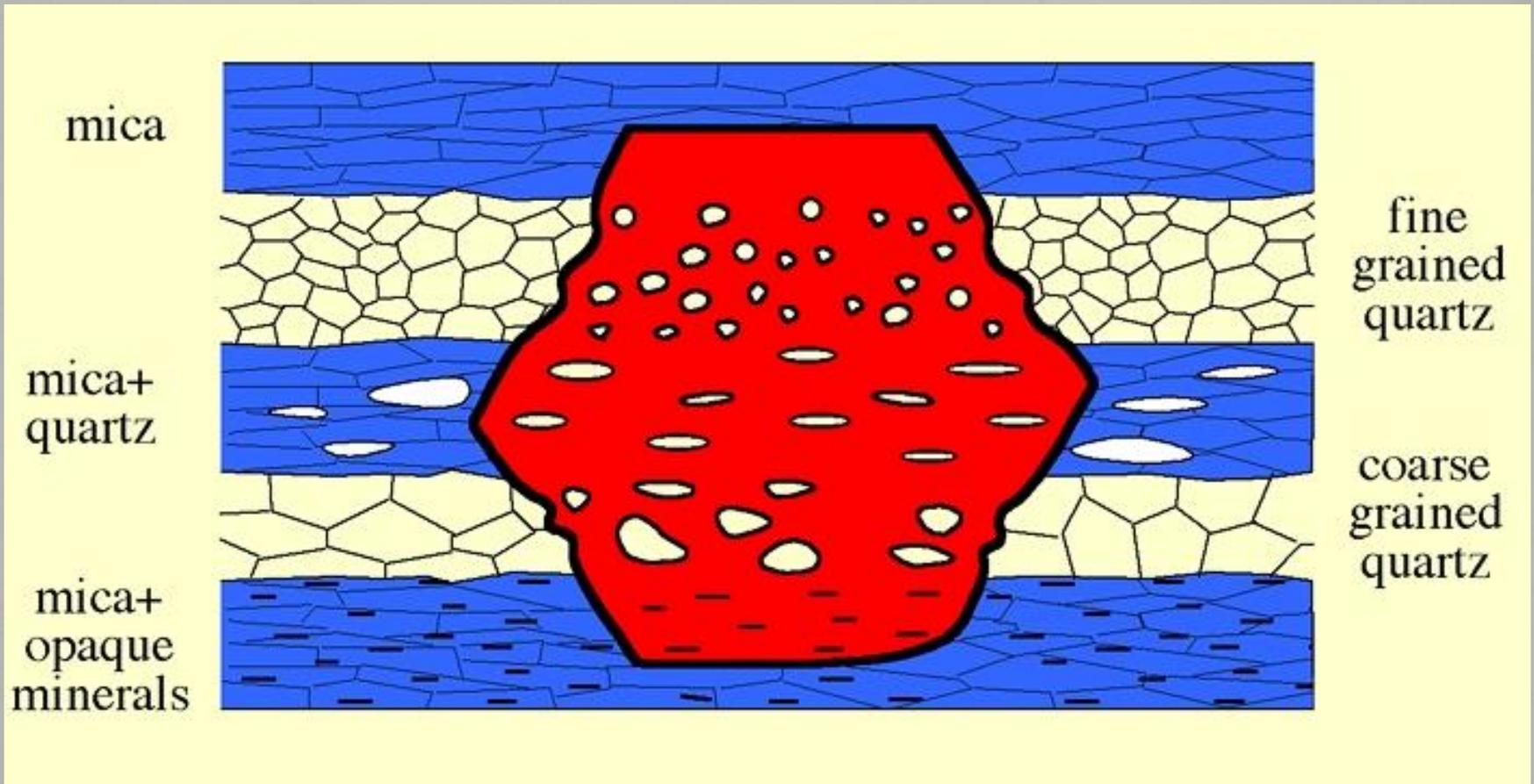
Como consequência de sua baixa razão N/G os porfiroblastos comumente aprisionam grãos da matriz como inclusões.

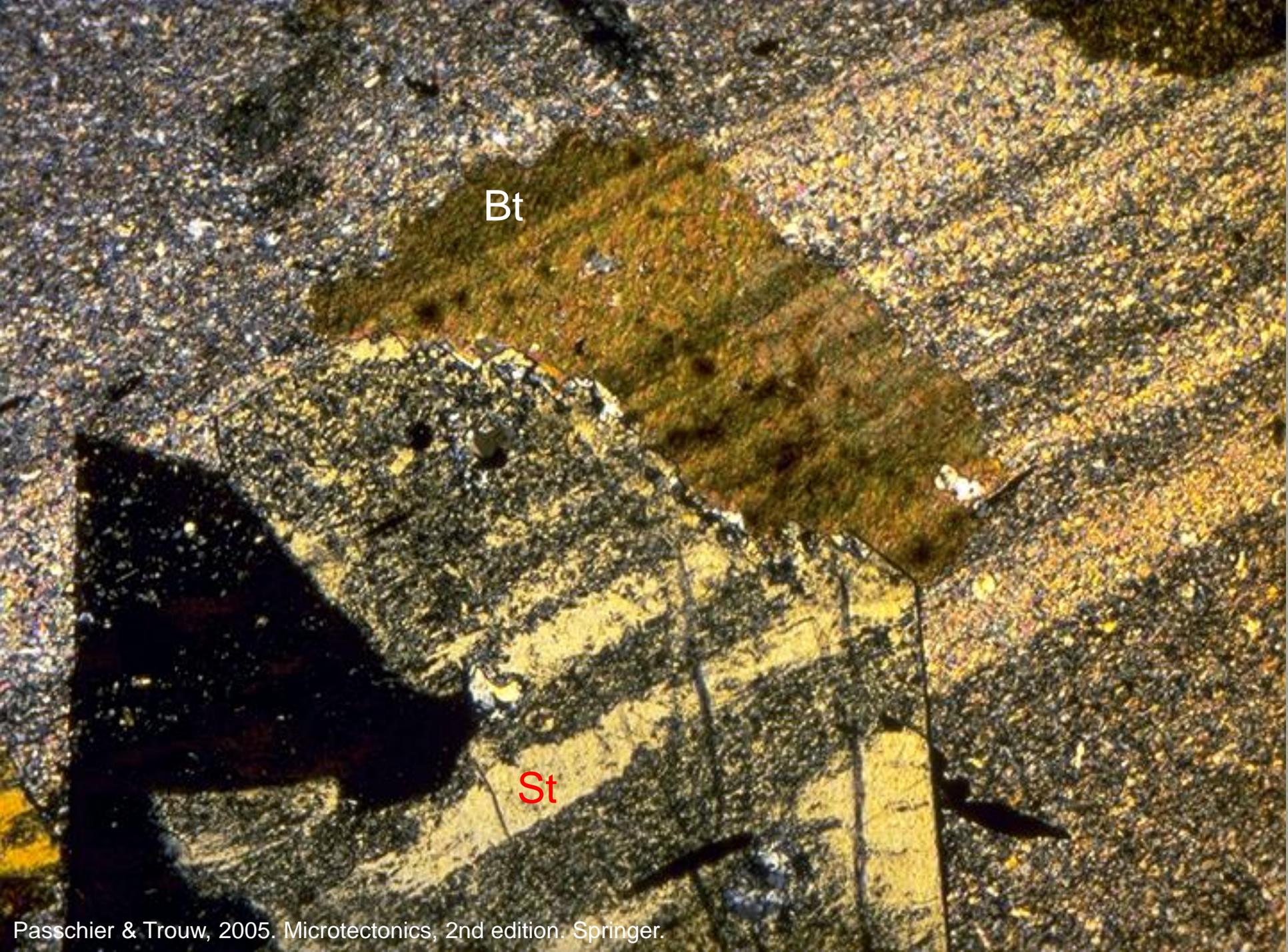


Passchier & Trouw, 2005. *Microtectonics*,
2nd edition. Springer.



Variações composicionais e crescimento





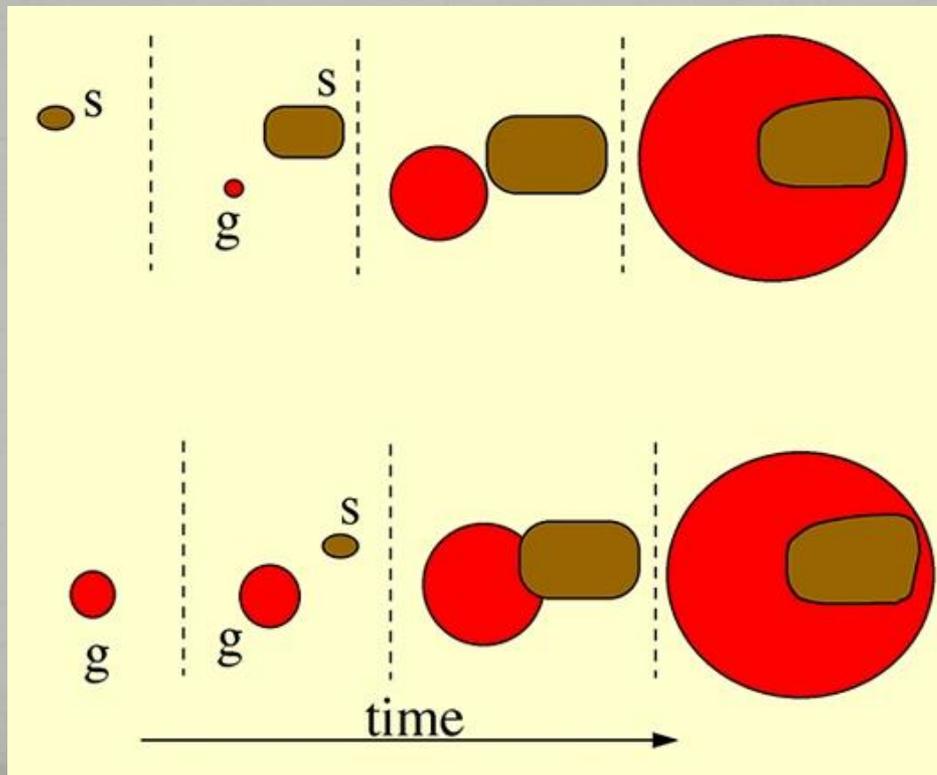
Bt

St

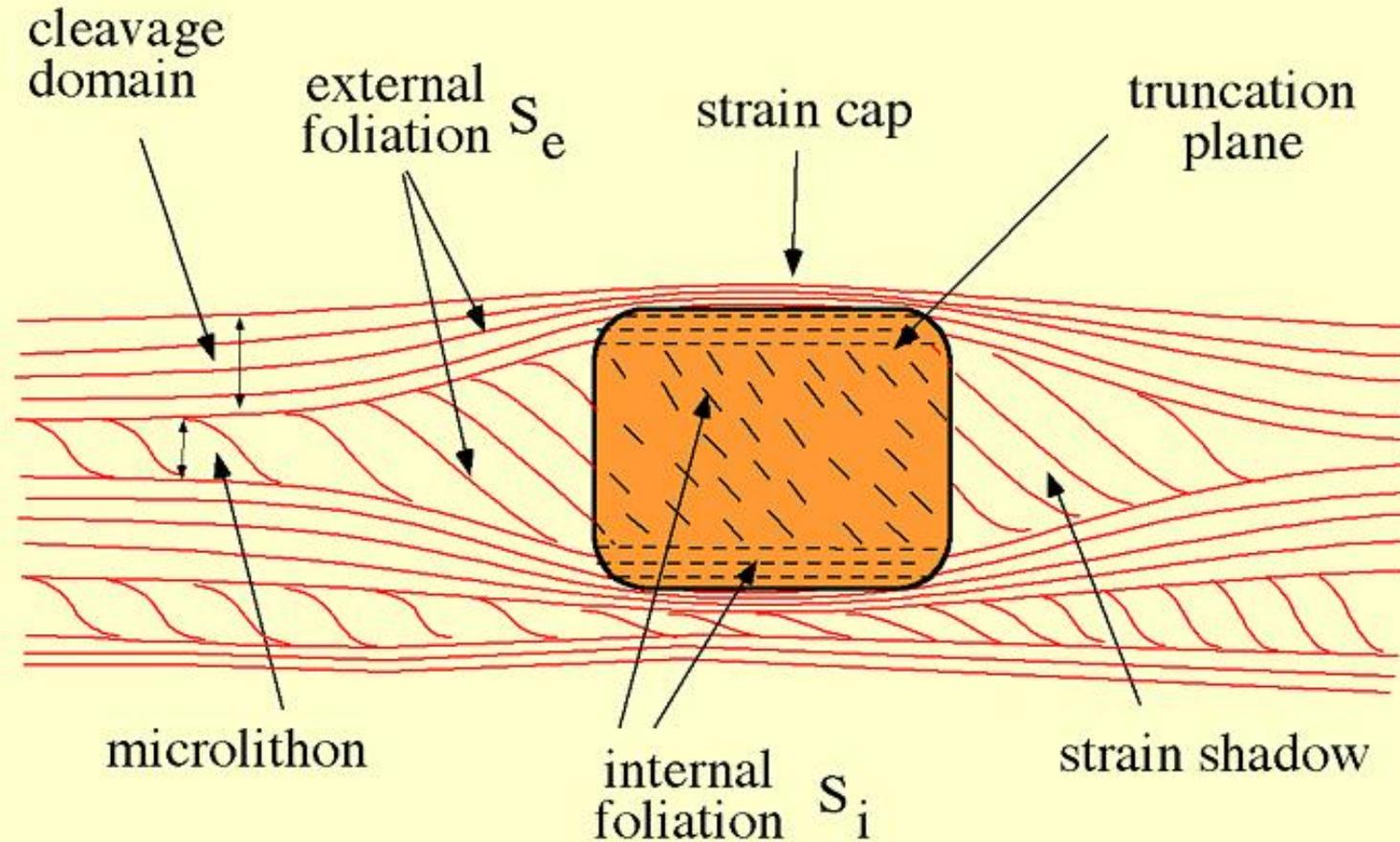


Porfiroblastos versus matriz

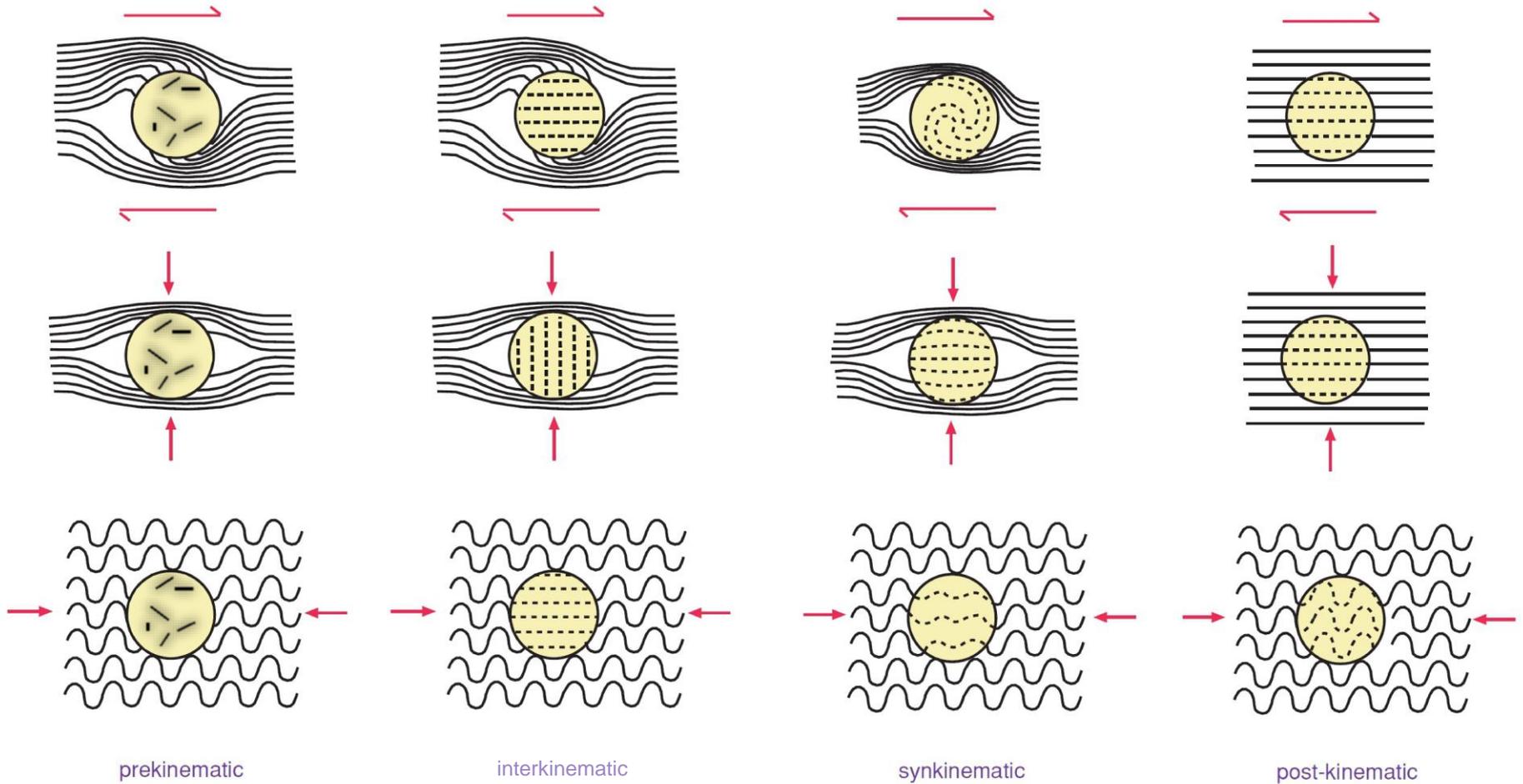
Geralmente os minerais presentes como inclusões em porfiroblastos pertencem à mesma paragênese metamórfica, podendo ser produtos ou reagentes em excesso das reações metamórficas que produziram os porfiroblastos.



Porfiroblasto e matriz

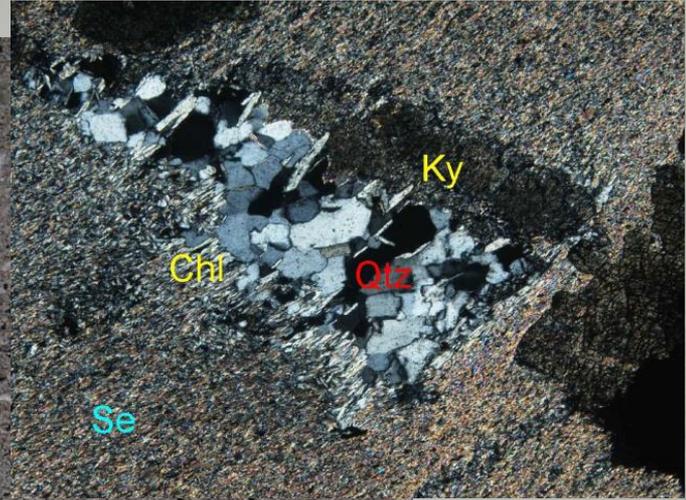
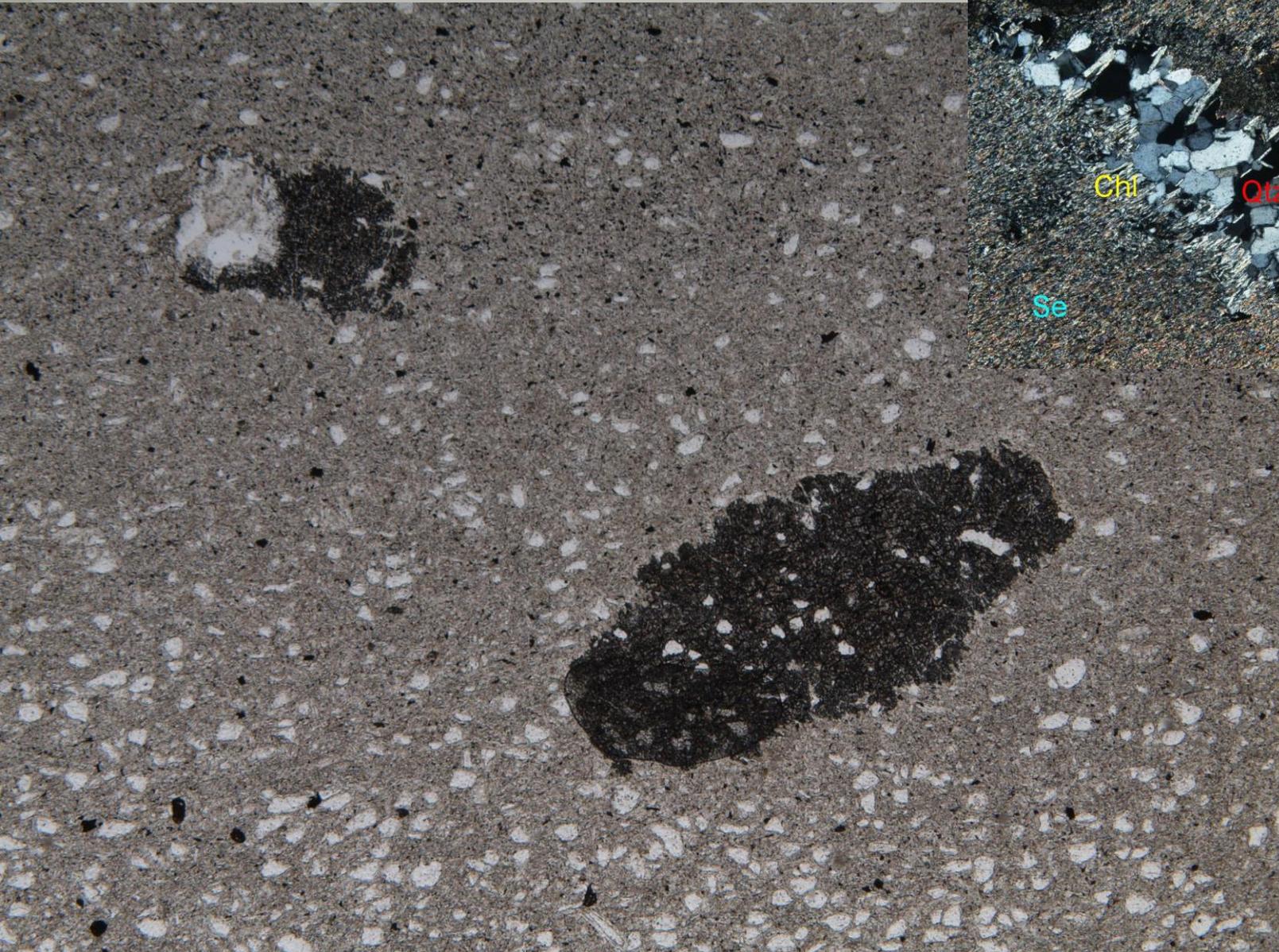


Porfiroblastos versus foliações

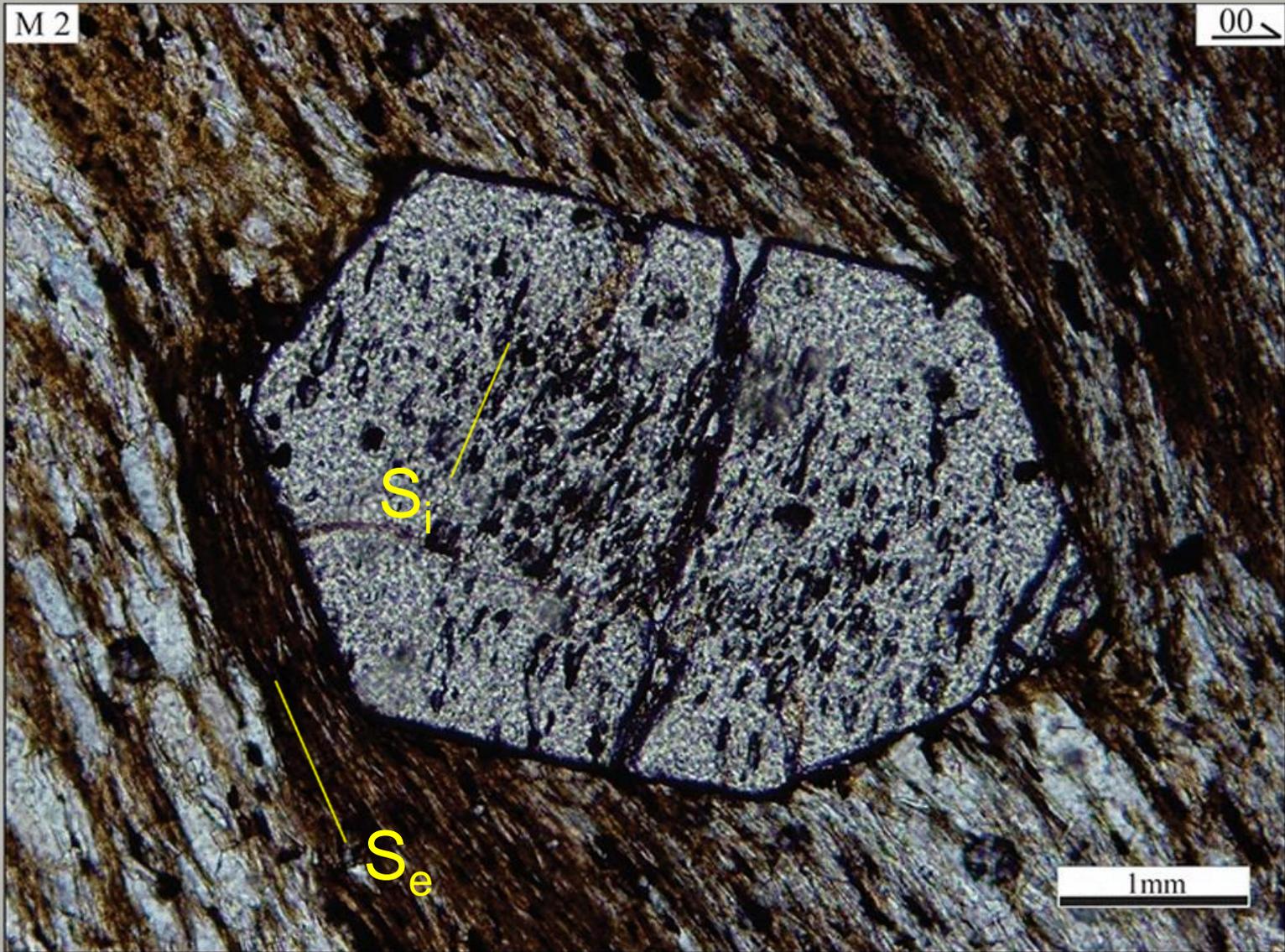


Modificado de Vernon (2004). A practical guide to rock microstructure. Cambridge.

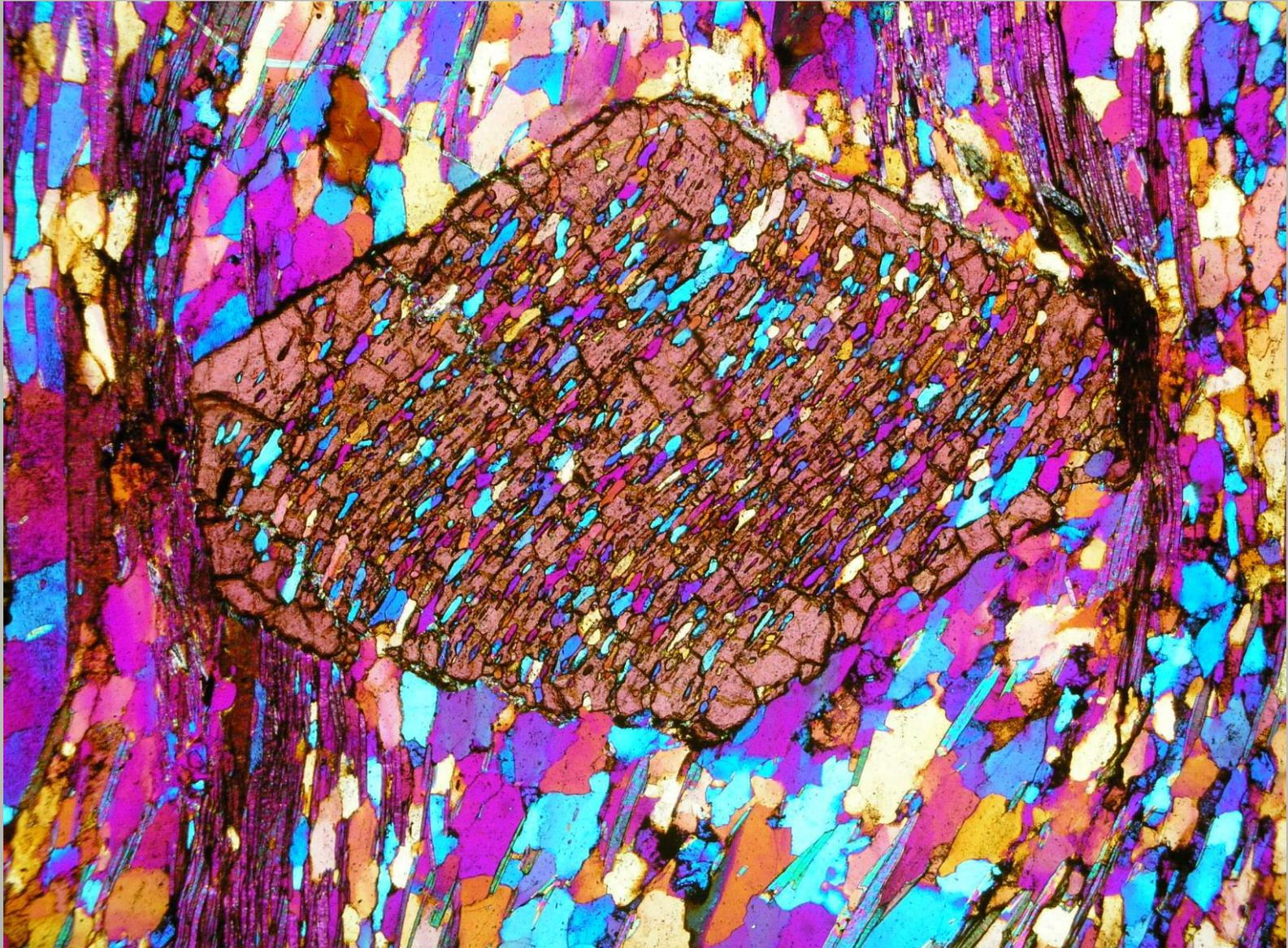
Cianita pré-cinemática



Granada intercinemática (pós- S_i , pré- S_e)

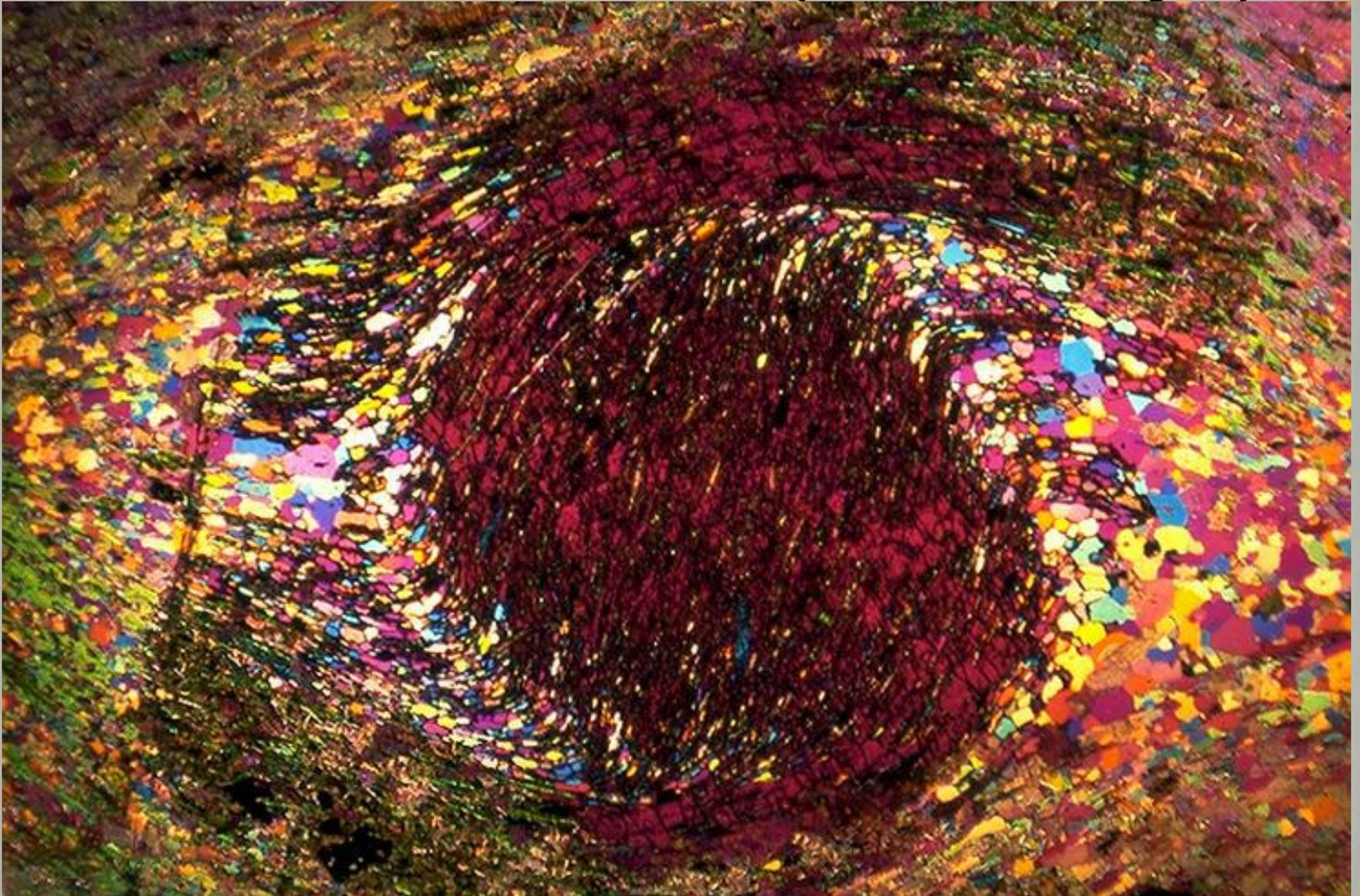


Estauroлита син-кинематика (~50° де ротація)



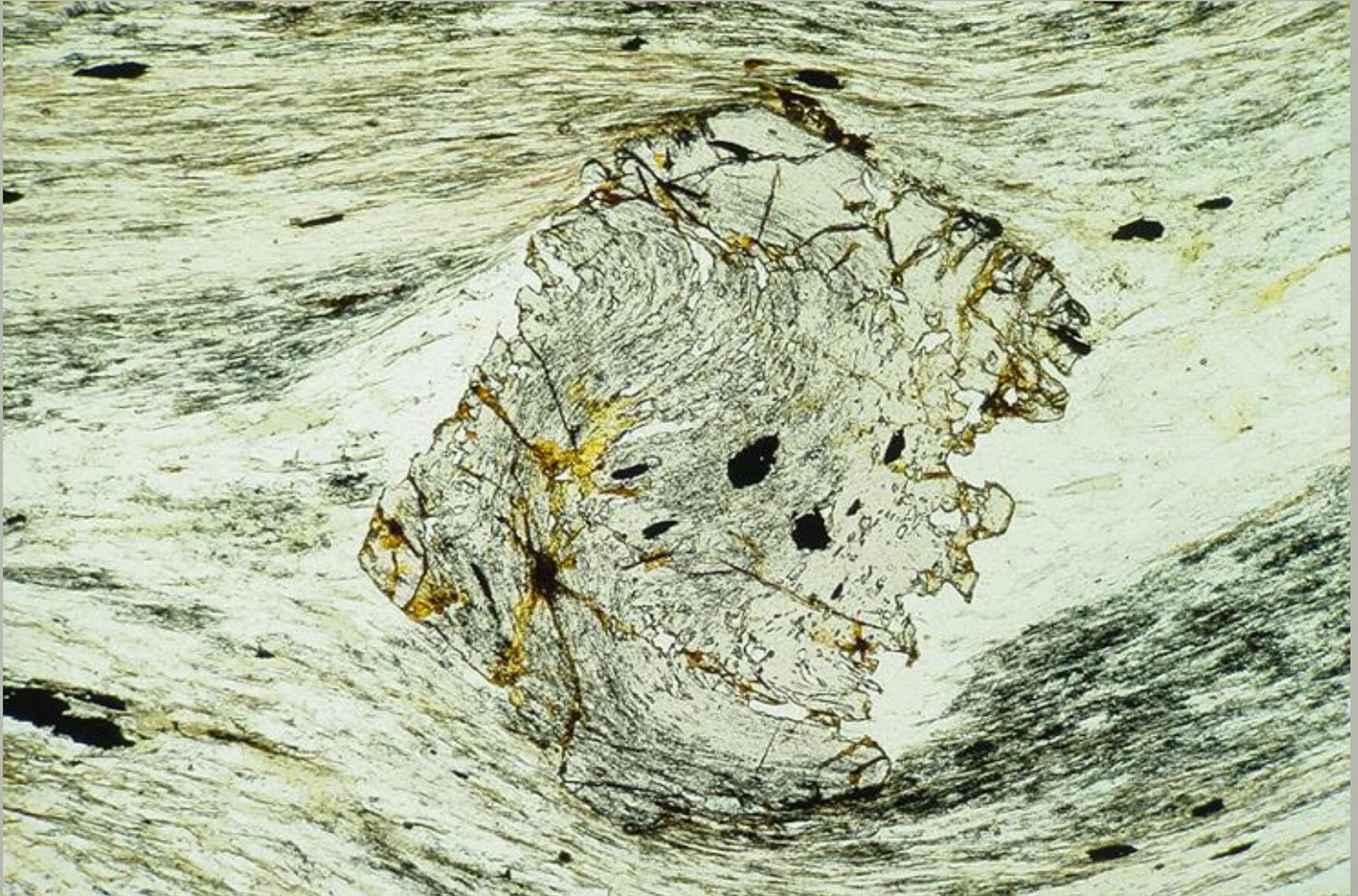
Faleiros et al., 2010. *Tectonophysics* 485: 193-214.

Granada sin-cinemática (90° de rotação)



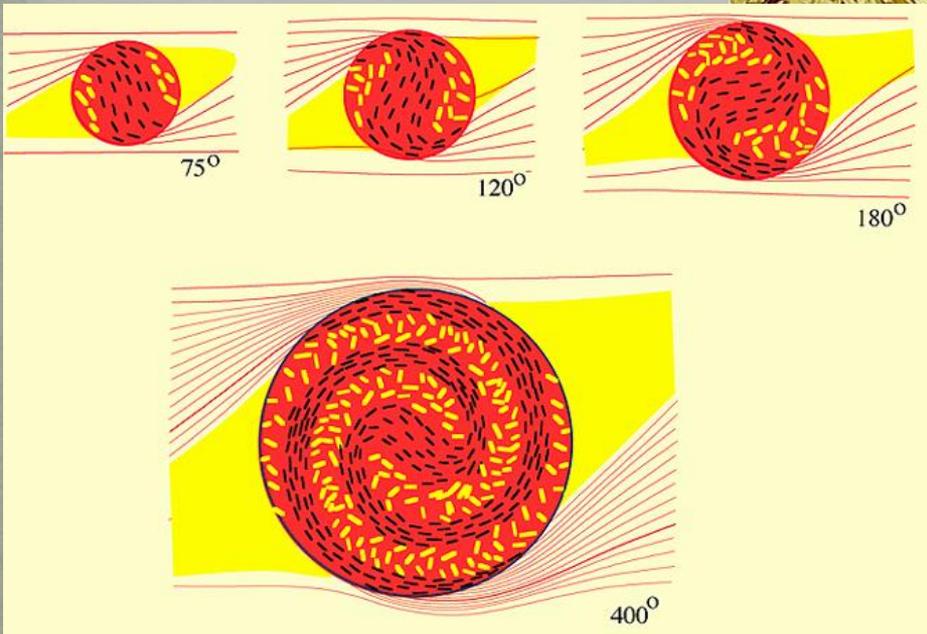
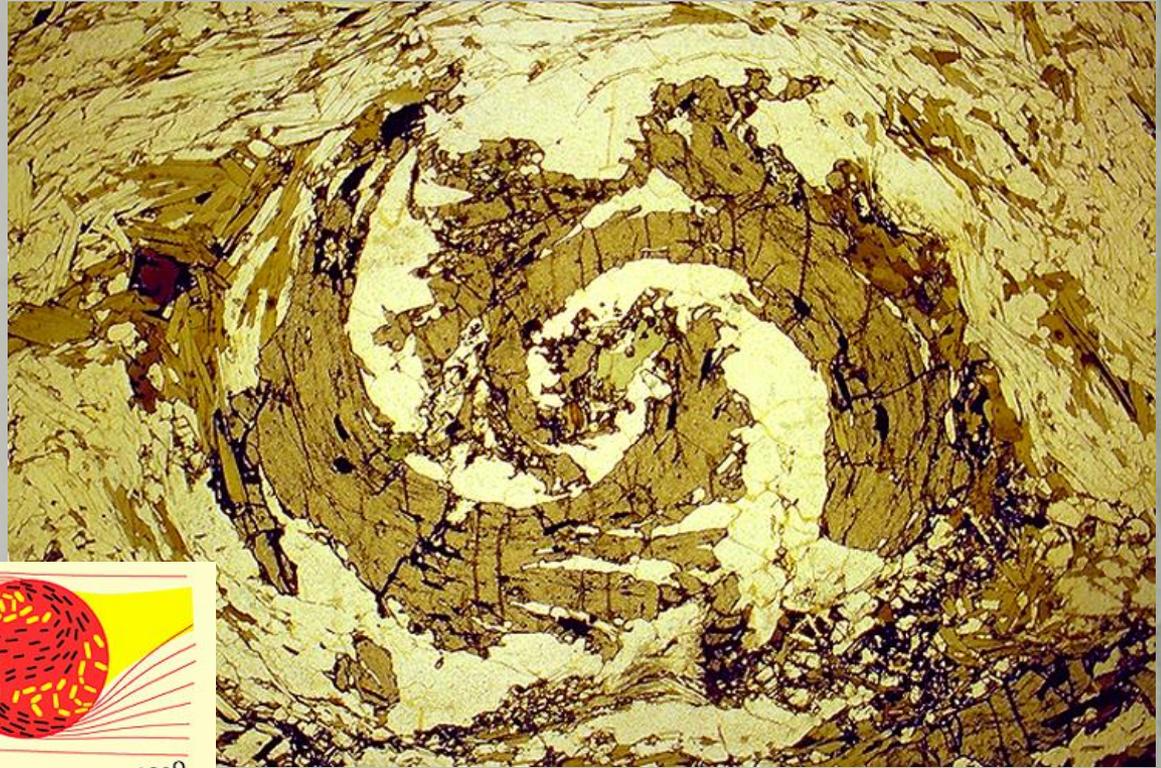
Passchier & Trow, 2005. *Microtectonics*, 2nd edition. Springer.

Granada sin-cinemática (~150° de rotação)

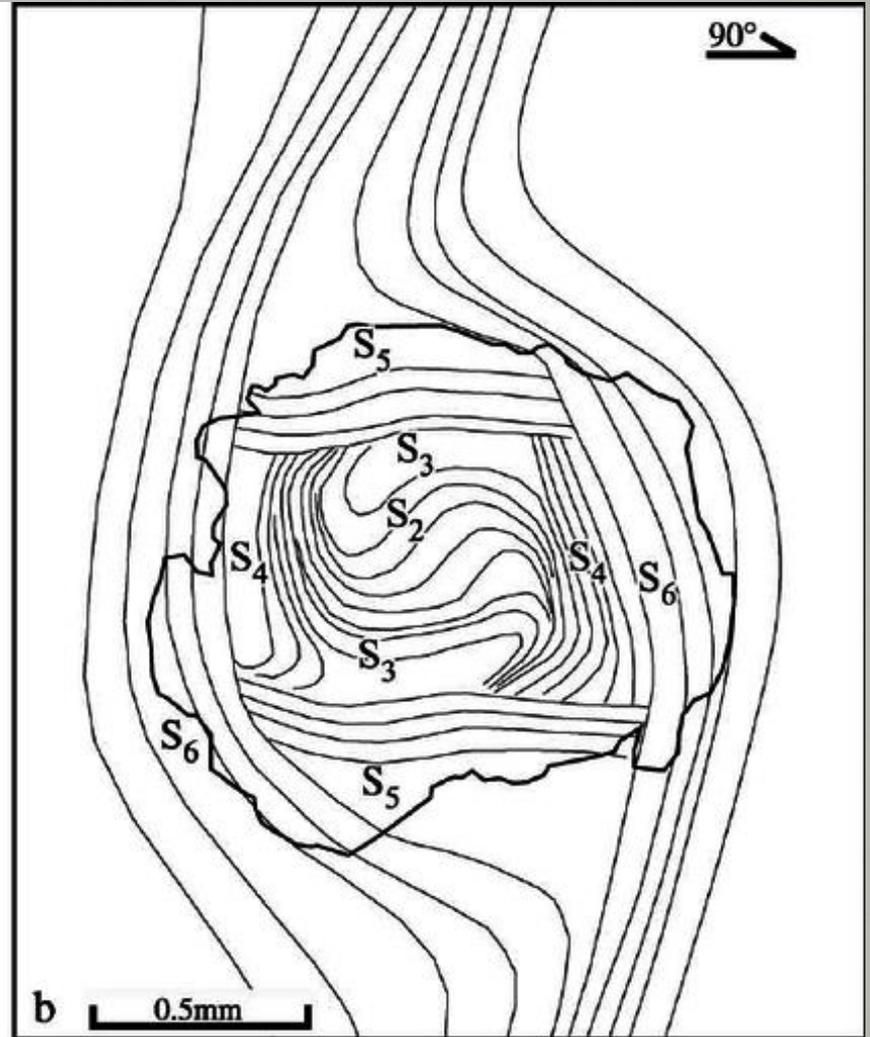
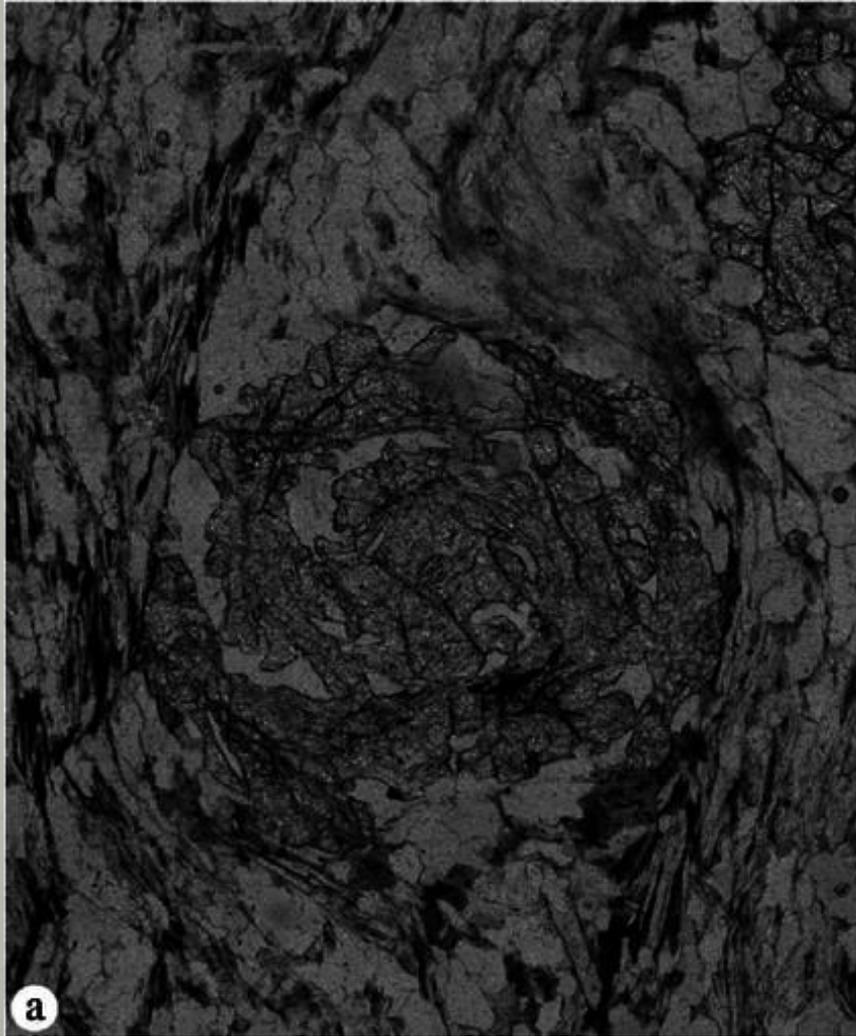


Passchier & Trow, 2005. *Microtectonics*, 2nd edition. Springer.

Granada sin-cinemática (porfiroblasto snowball)



Granada espiral (multifásica?)

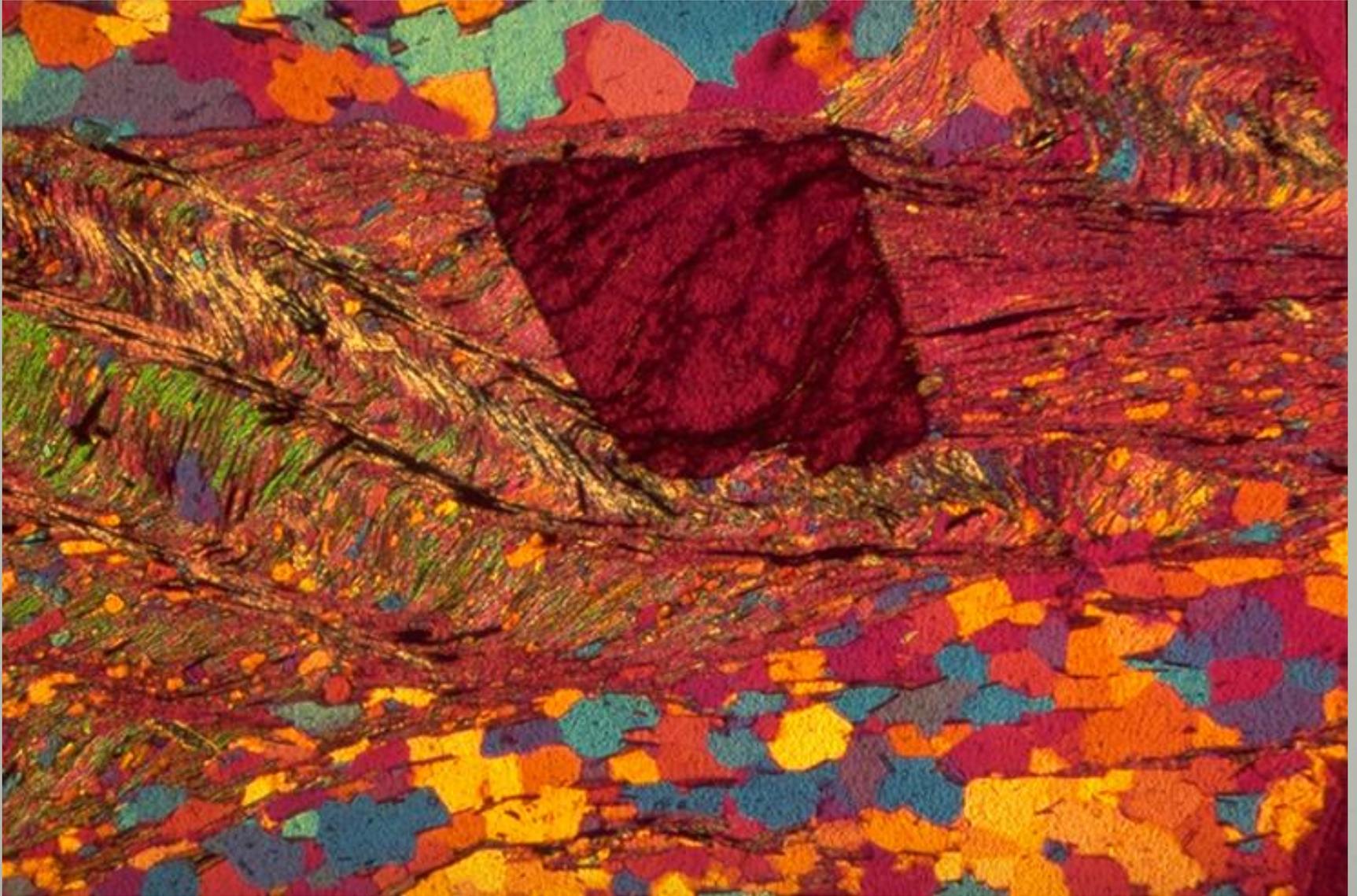


Cloritoide sin-cinemático (deformação coaxial)



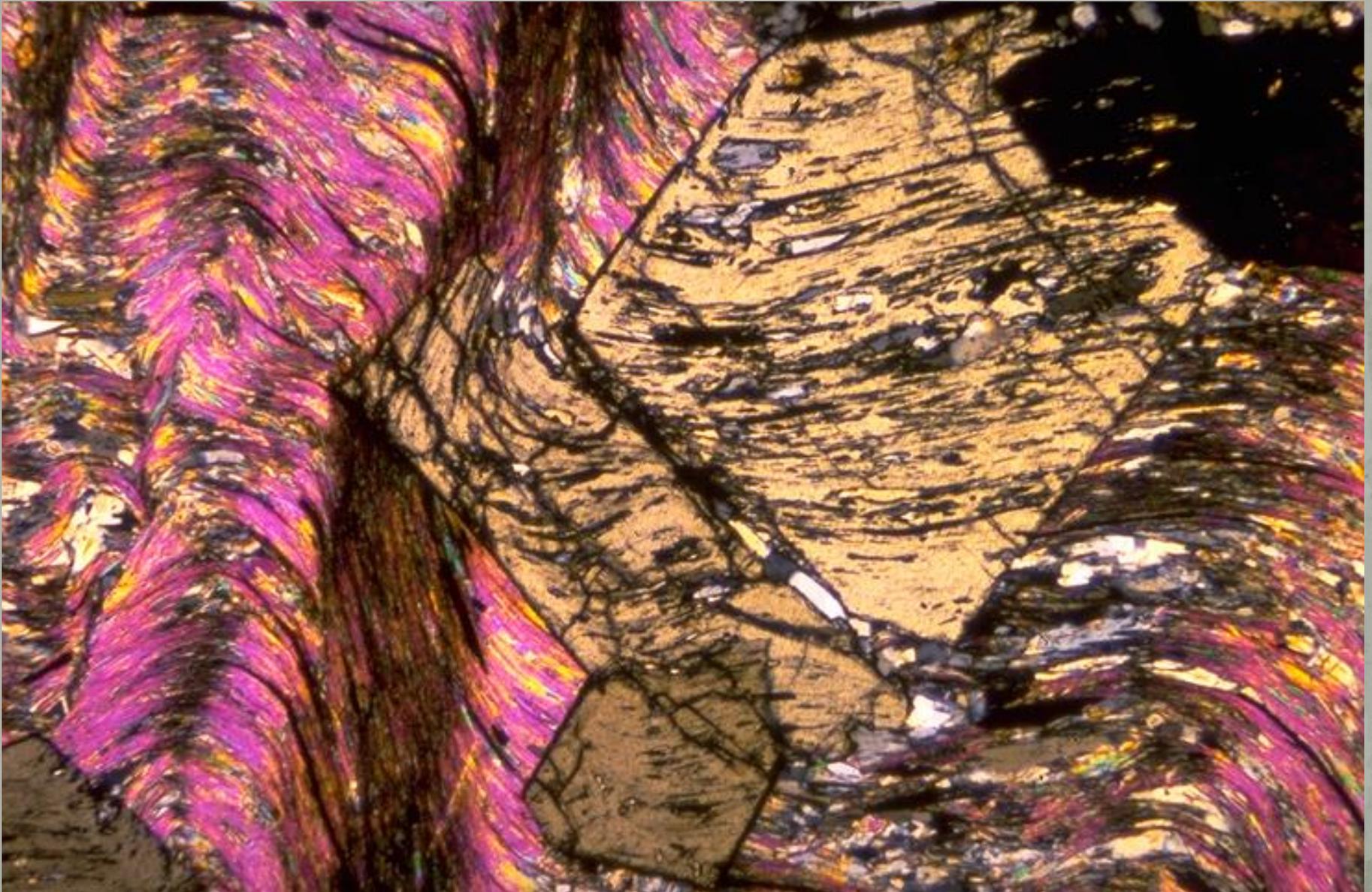
Passchier & Trow, 2005. Microtectonics, 2nd edition. Springer.

Granada sin-crenulação S2



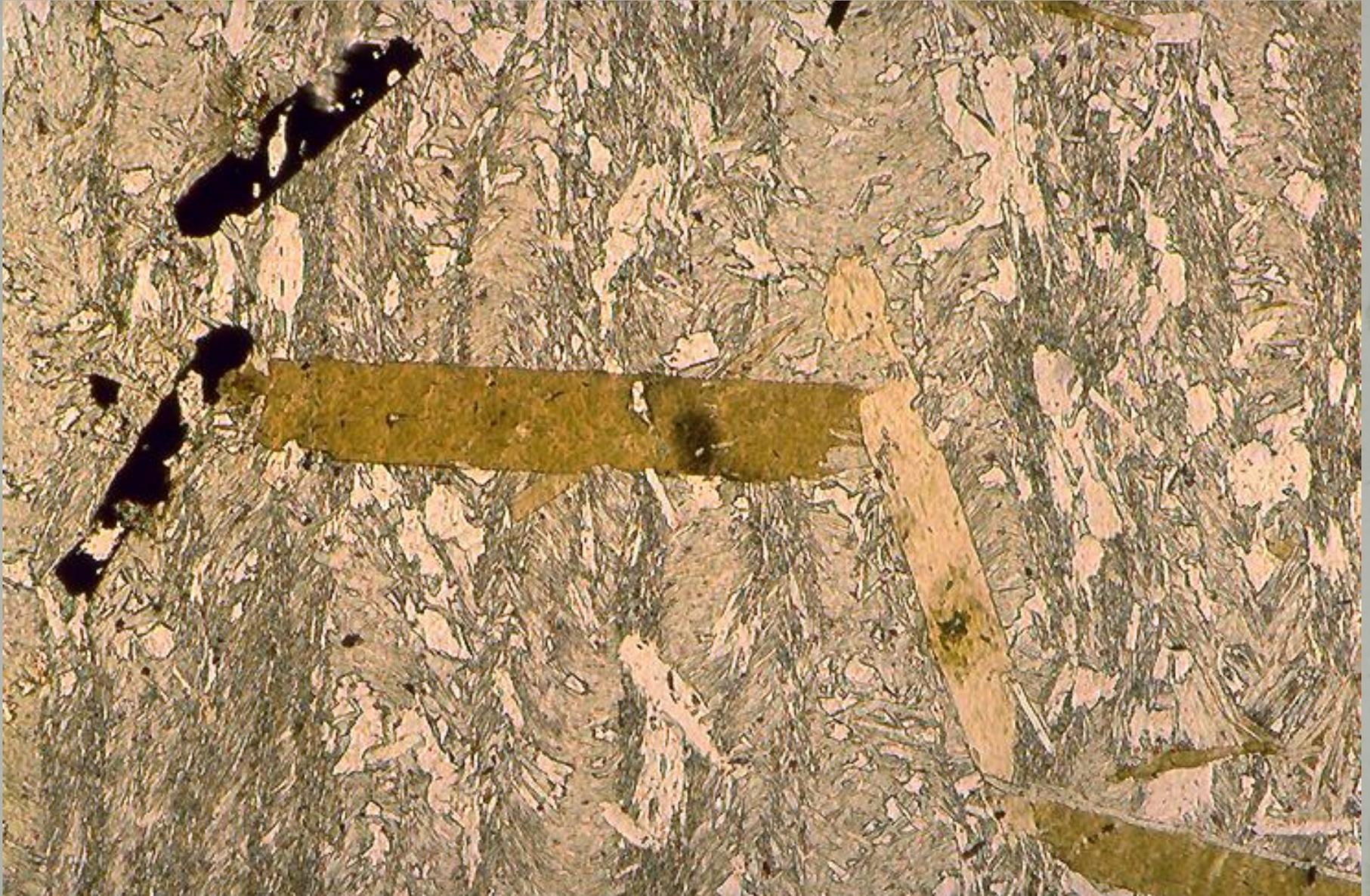
Passchier & Trow, 2005. Microtectonics, 2nd edition. Springer.

Porfiroblasto pós-cinemático (pós-crenulação S2)



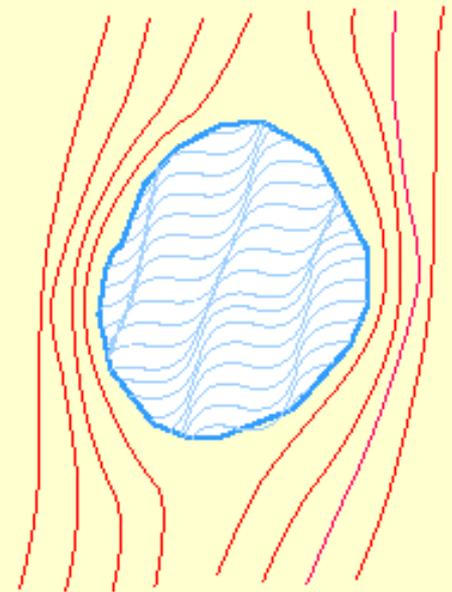
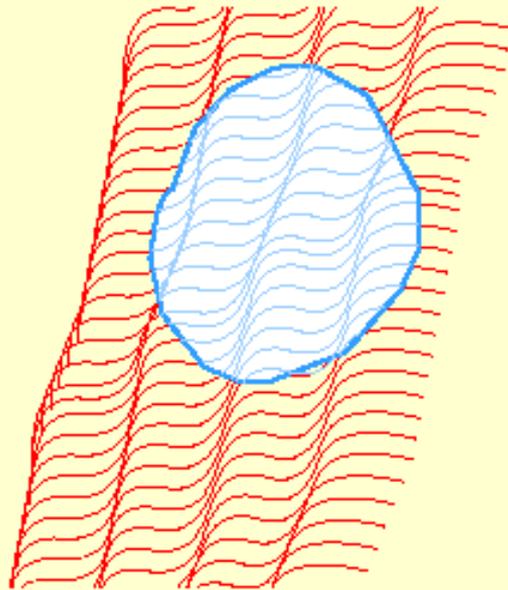
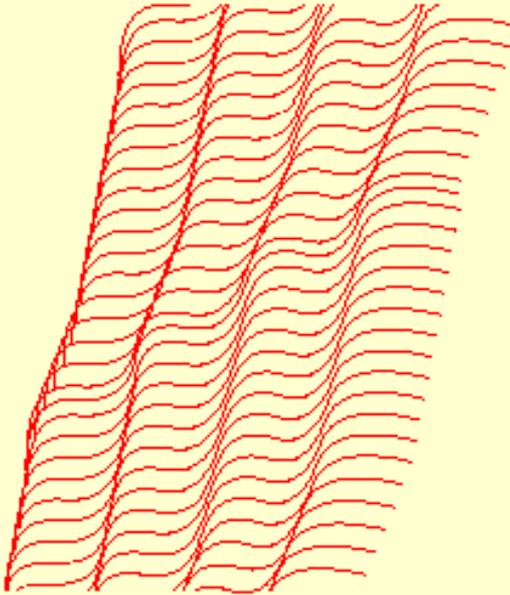
Passchier & Trow, 2005. Microtectonics, 2nd edition. Springer.

Biotita pós-cinemática (pós-S2)



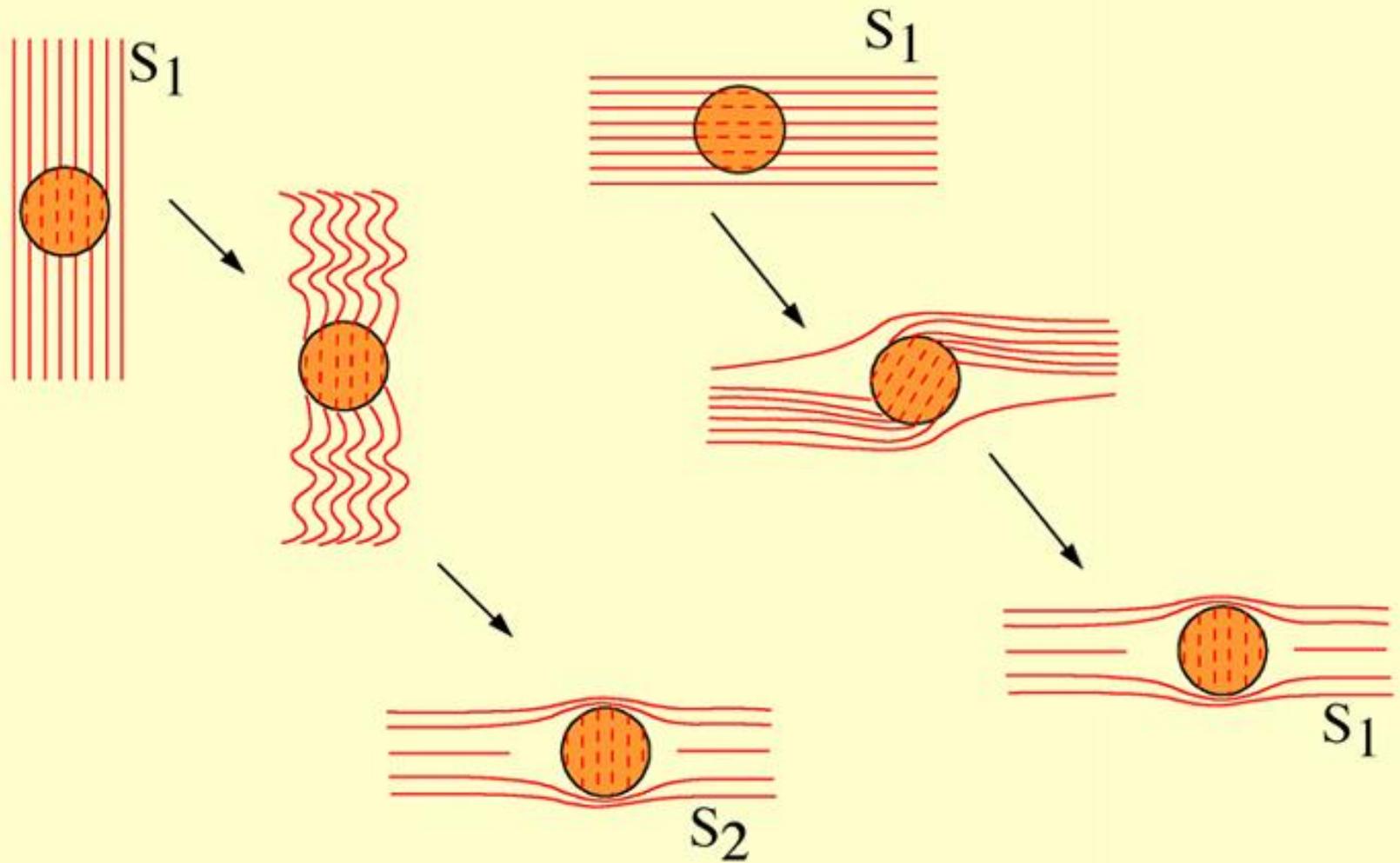
Passchier & Trow, 2005. *Microtectonics*, 2nd edition. Springer.

Relações complexas

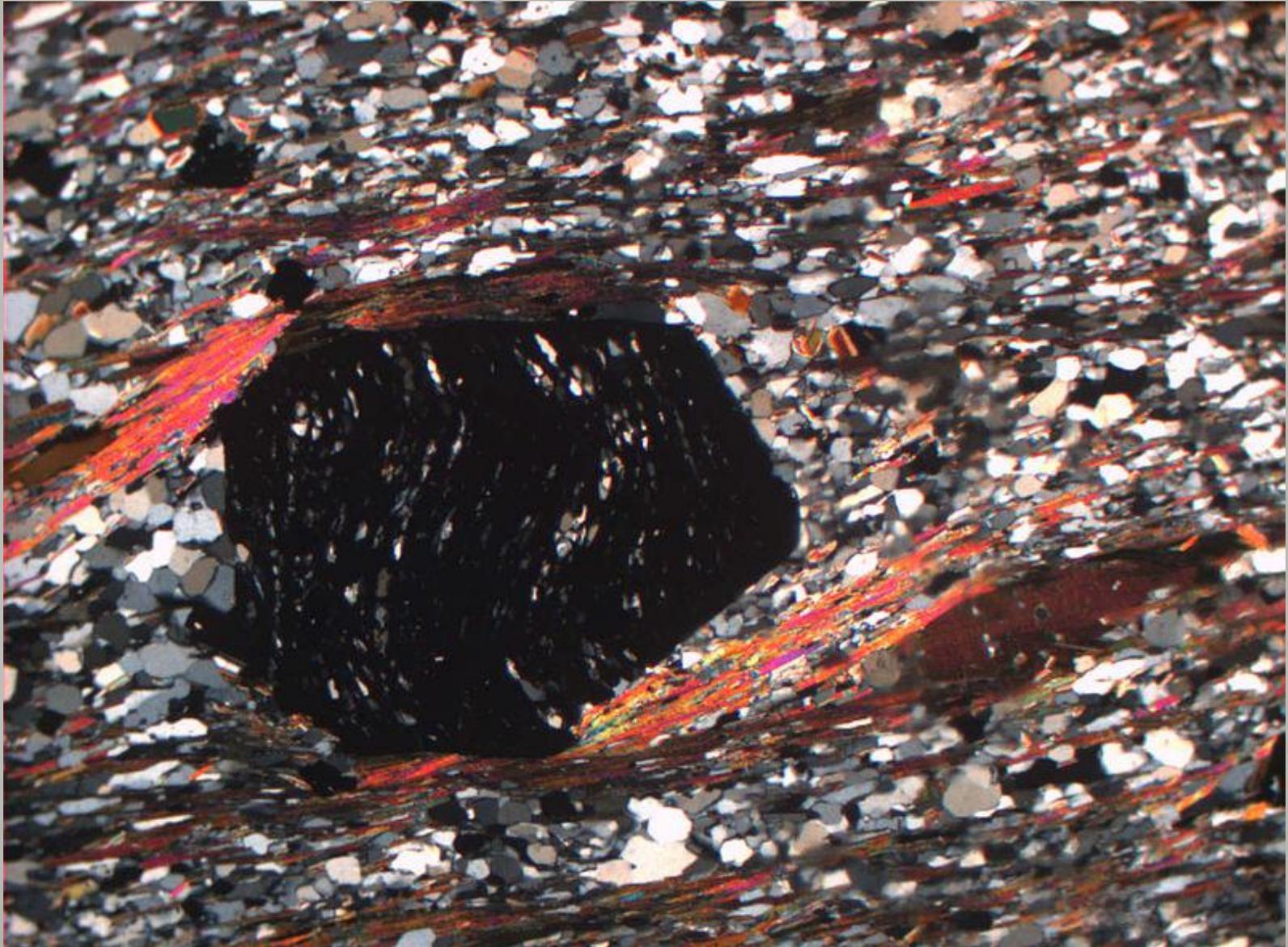


Passchier & Trouw, 2005. *Microtectonics*, 2nd edition. Springer.

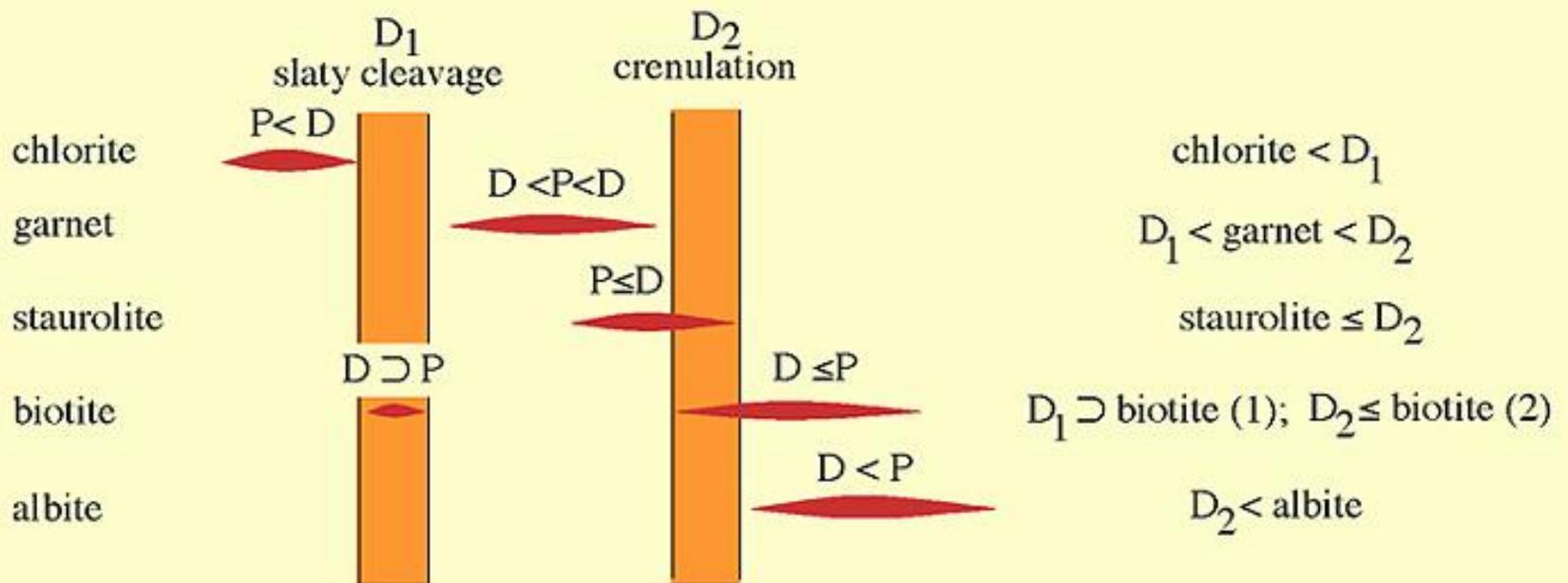
Quando a conexão entre S_i e S_e se perde...



Quando a conexão entre S_i e S_e se perde...



Relações entre fases de deformação, estruturas e crescimento de minerais metamórficos



Passchier & Trouw, 2005. Microtectonics, 2nd edition. Springer.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP
 Departamento de Mineralogia e Geotectônica
 GMG0332 - Petrologia Metamórfica

Nome: _____ Data: ___ / ___ / ____

Exercício de reconhecimento das relações entre blastese e deformação

As imagens em anexo são de uma amostra de biotita - granada – muscovita - quartzo xisto porfiroblástico com estaurólita e clorita (MP-20), e procuram destacar as relações entre os porfiroblastos de biotita (Bt), granada (Grt) e estaurólita (St) e os minerais muscovita (Mu), clorita (Chl) e quartzo (Qtz), que definem as foliações na matriz e dentro dos porfiroblastos. Estude atentamente as imagens, com especial atenção para: quais os minerais que definem cada foliação na matriz e dentro dos porfiroblastos; observe as relações entre a(s) foliação(ões) da matriz e a(s) interna(s) nos porfiroblastos, caracterizando as relações de continuidade, truncadura e/ou amoldamento; observe as relações entre porfiroblastos e sombras de pressão. Com base nestas relações, determine a sequência de cristalização das fases minerais (não se esqueça que determinadas fases podem se formar ou recrystalizar ao longo de várias etapas da história metamórfica de uma rocha) e a sua relação com os episódios de deformação, marcados pelo desenvolvimento de gerações distintas de foliação. Utilize a terminologia **S_n** para a superfície / foliação mais antiga observada e **S_{n+1}**, **S_{n+2}**, etc para as subsequentes. Se necessário, use os intervalos entre os episódios deformacionais (**pós-S_n**, etc). Preencha o quadro ilustrativo abaixo das relações entre blastese e deformação, indicando a formação dos minerais durante e/ou entre e após os episódios de deformação com traço contínuo e pontilhado, sugerindo a maior ou menor segurança na interpretação.

Relações de temporaneidade relativa entre os minerais na textura:

Etapas →									
↓ Minerais									

Em Rochas Metamórficas: Relações de blastese / recrystalização dos minerais com a(s) foliação(ões)

