



**DOBRAS E PRINCÍPIOS DE ANÁLISE
DO DOBRAMENTO – 1**

DESCRIÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE DOBRADA

1- Elementos estruturais de uma superfície dobrada:

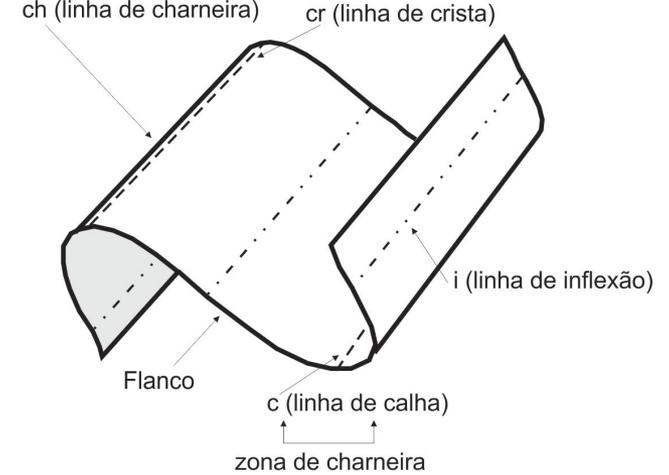
Linha de charneira

Linhas de crista e de calha

Linha de inflexão

Zona de charneira

Flancos da dobra



Concavidade negativa(-)
ou forma convexa
ANTIFORME

Concavidade positiva (+)
ou forma côncava
SIFORME

2- Caracterização da dobra com base em uma superfície dobrada:

Sinforme (concavo)

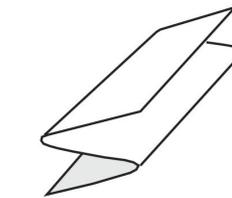
Antiforme (convexo)

Dobra neutra

Dobra vertical

Monoclinal

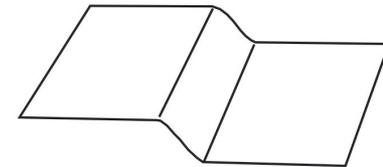
Dobras escalonadas



Dobra neutra

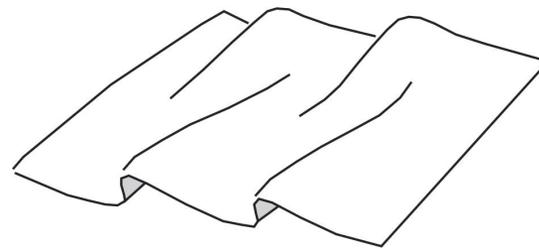


Dobra vertical

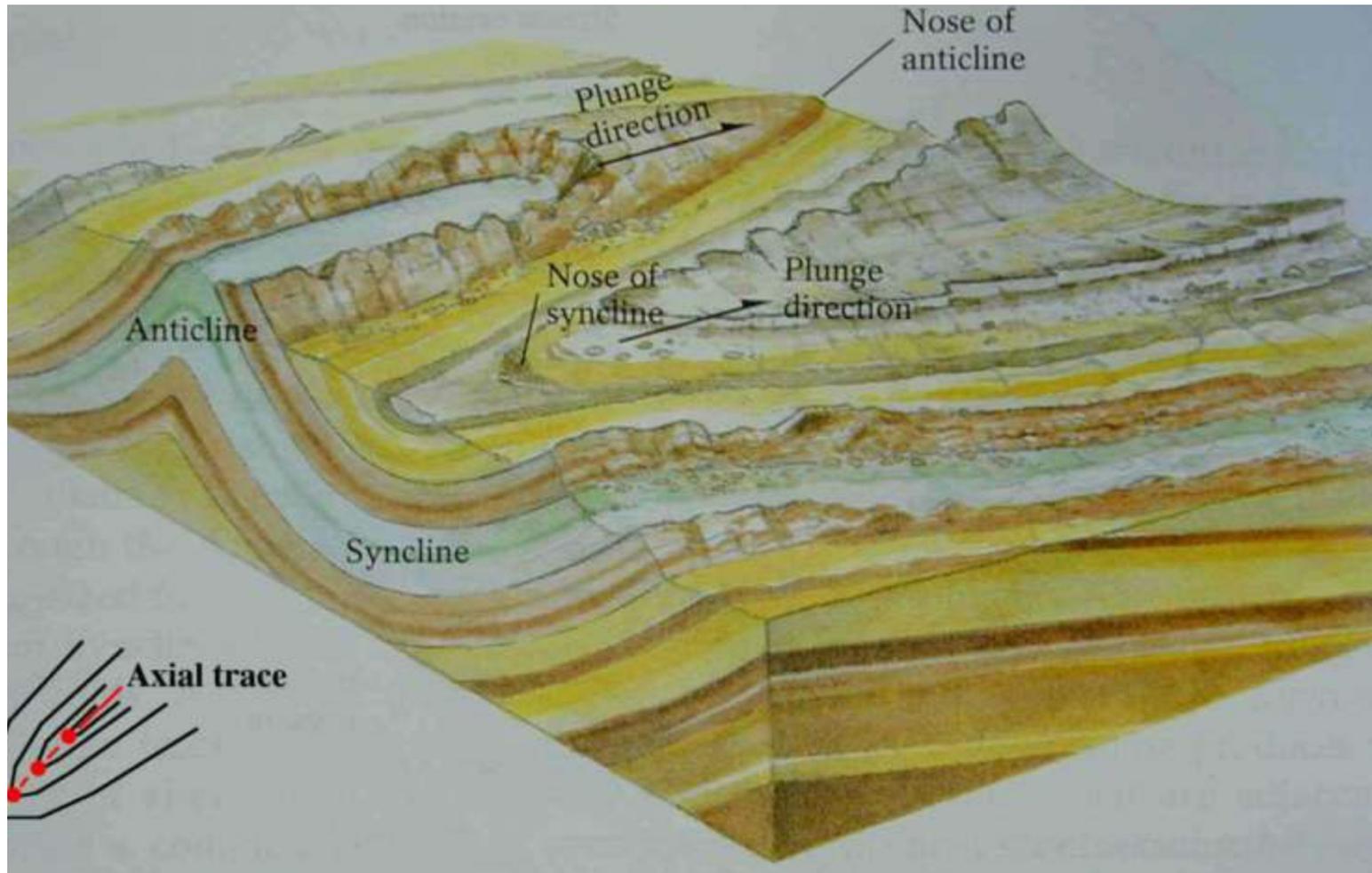


Monoclinal

Dobra escalonada (*en echellon*)



CAIMENTO DA ZONA DE CHARNEIRA E TERMINAÇÃO PERICLINAL DA DOBRA

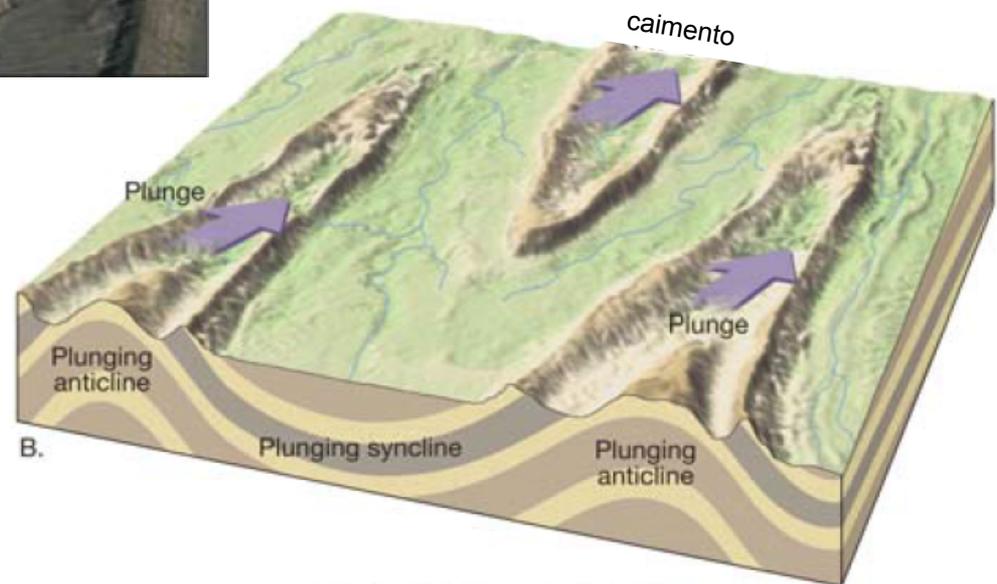


As camadas, na zona de charneira, mergulham, nas estruturas sinformais, para o interior da dobra e, nas estruturas antiformais, para o exterior da dobra.

As zonas de charneiras, em mapas, são as **terminações periclinais** das dobras.

A terminação periclinal, em uma projeção horizontal (mapa, imagem de satélite, fotografia aérea), define a forma da dobra.

CAIMENTO DA ZONA DE CHARNEIRA E TERMINAÇÃO PERICLINAL DA DOBRA



Em mapa, a forma (antiformal ou sinformal) da dobra pode ser definida com base no mergulho de sua terminação periclinal

CAIMENTO DA ZONA DE CHARNEIRA E TERMINAÇÃO PERICLINAL DA DOBRA

Serra da Canastra na região de Capitólio – MG.



3.48 km

© 2011 MapLink/Tele Atlas

Image © 2011 DigitalGlobe

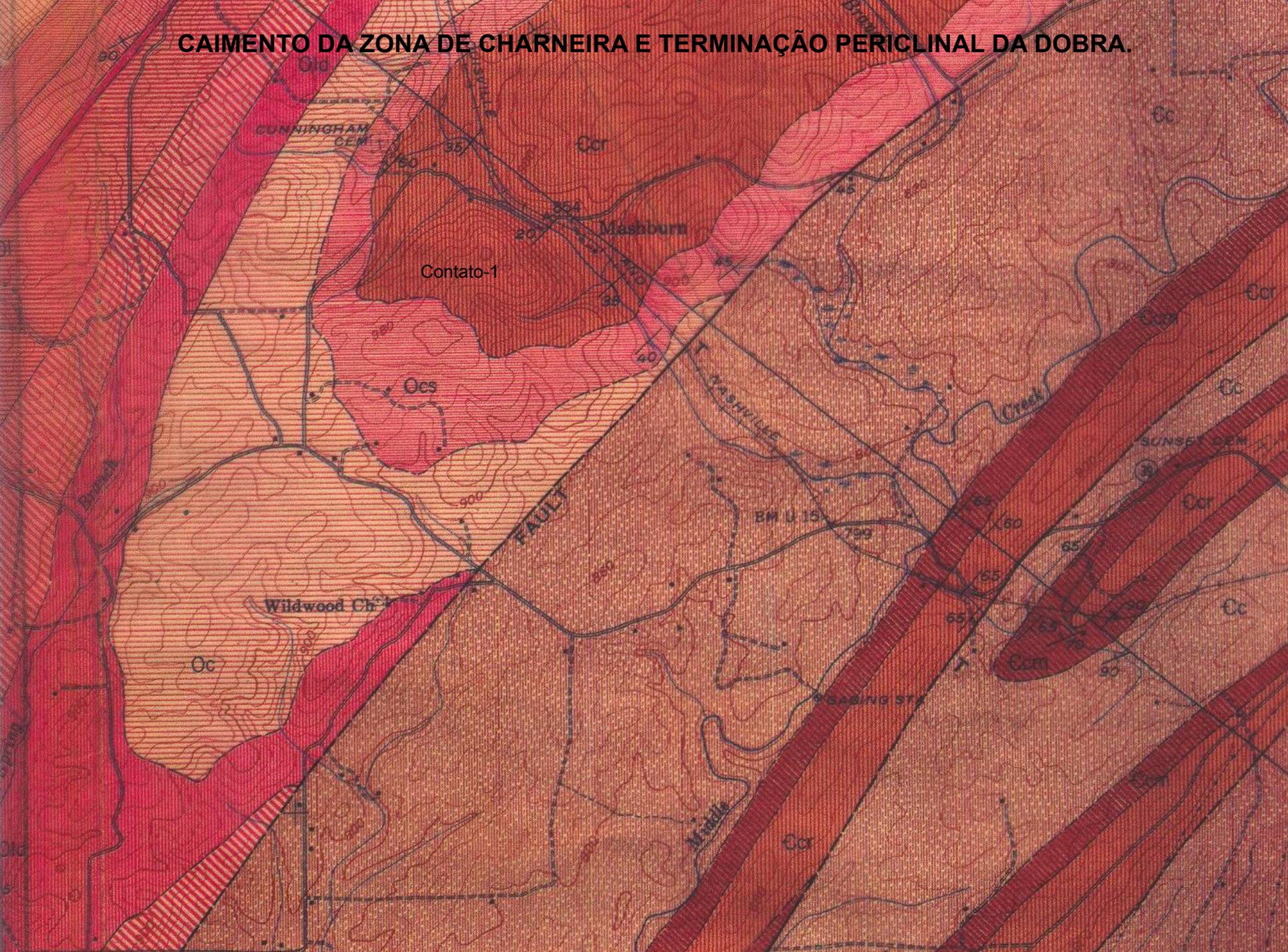
20°38'11.18"S 46°08'58.04"O elev 1002 m

©2010 Google

Altitude do ponto de visão 16.58 km

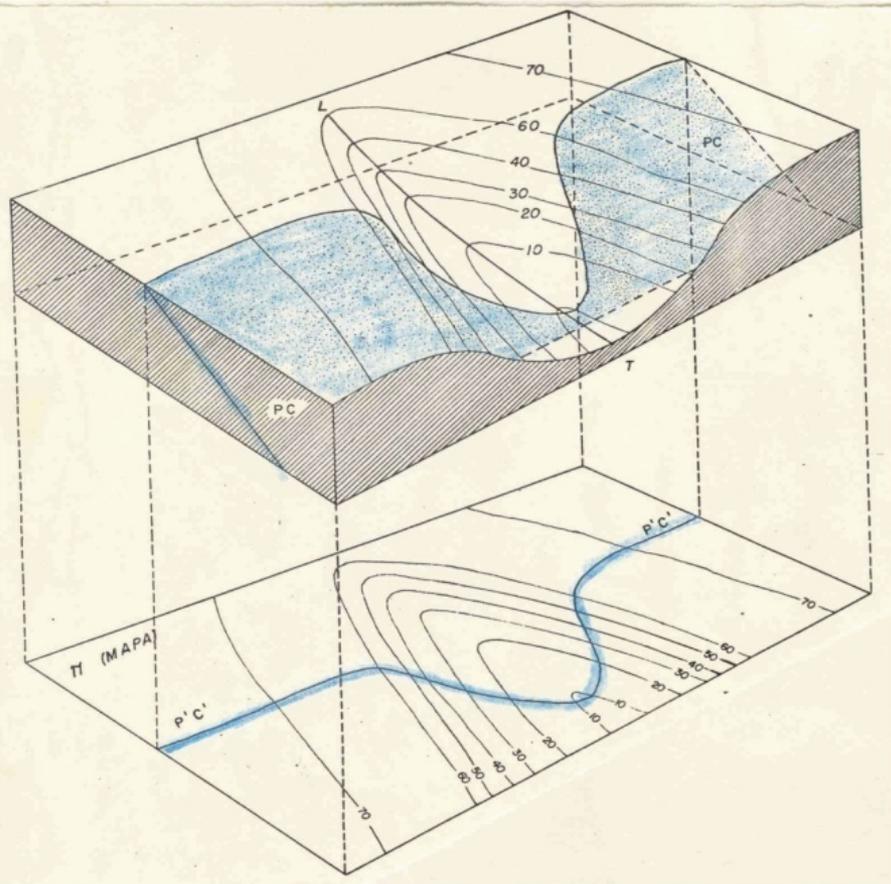
Data das imagens: 3/28/2007

CAIMENTO DA ZONA DE CHARNEIRA E TERMINAÇÃO PERICLINAL DA DOBRA.



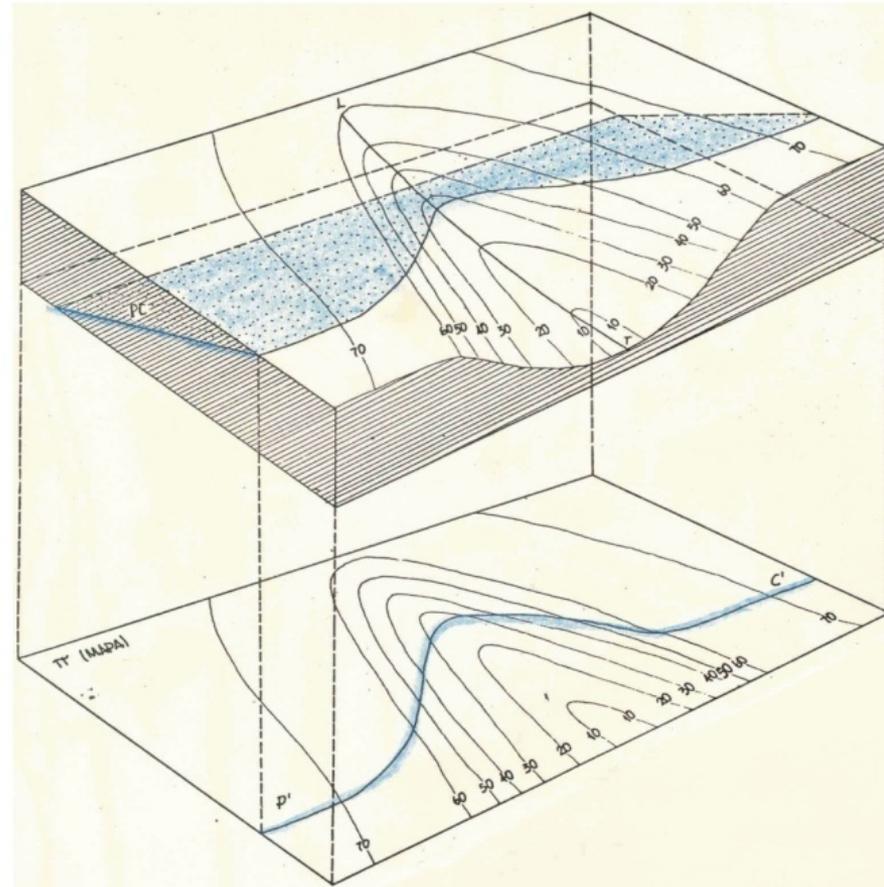
REGRA DOS Vs

Camada mergulhando no sentido do vale.



Limite da camada (contato) convexo no sentido da declividade do vale (juzante).

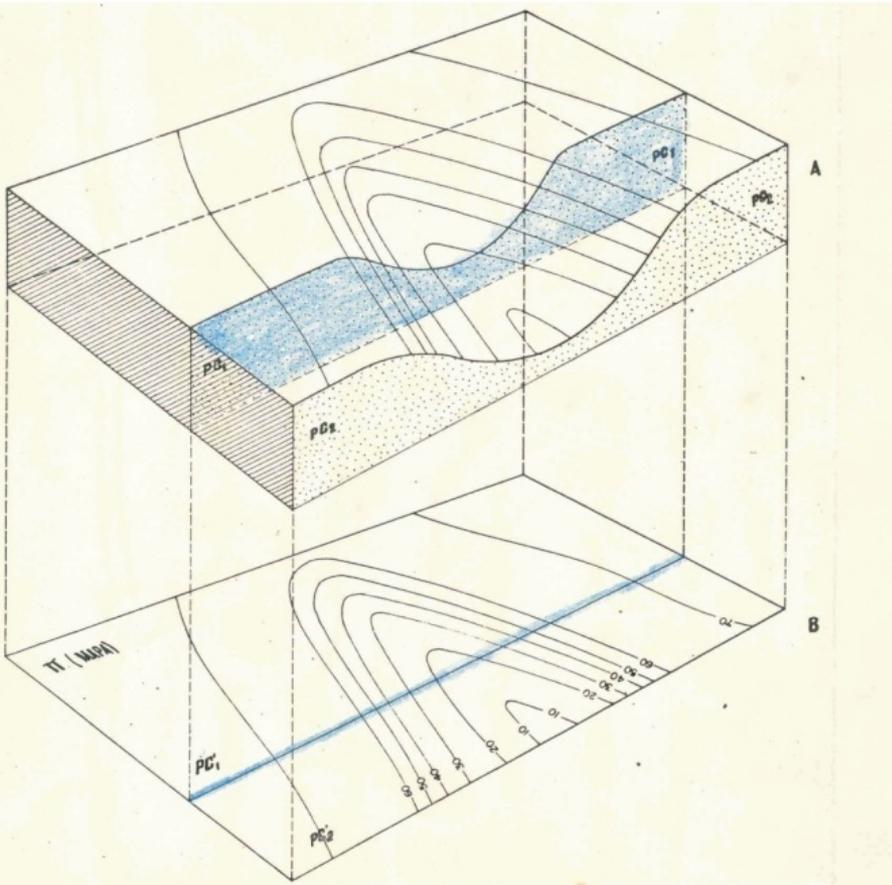
Camada mergulhando contra o vale (contato 1).



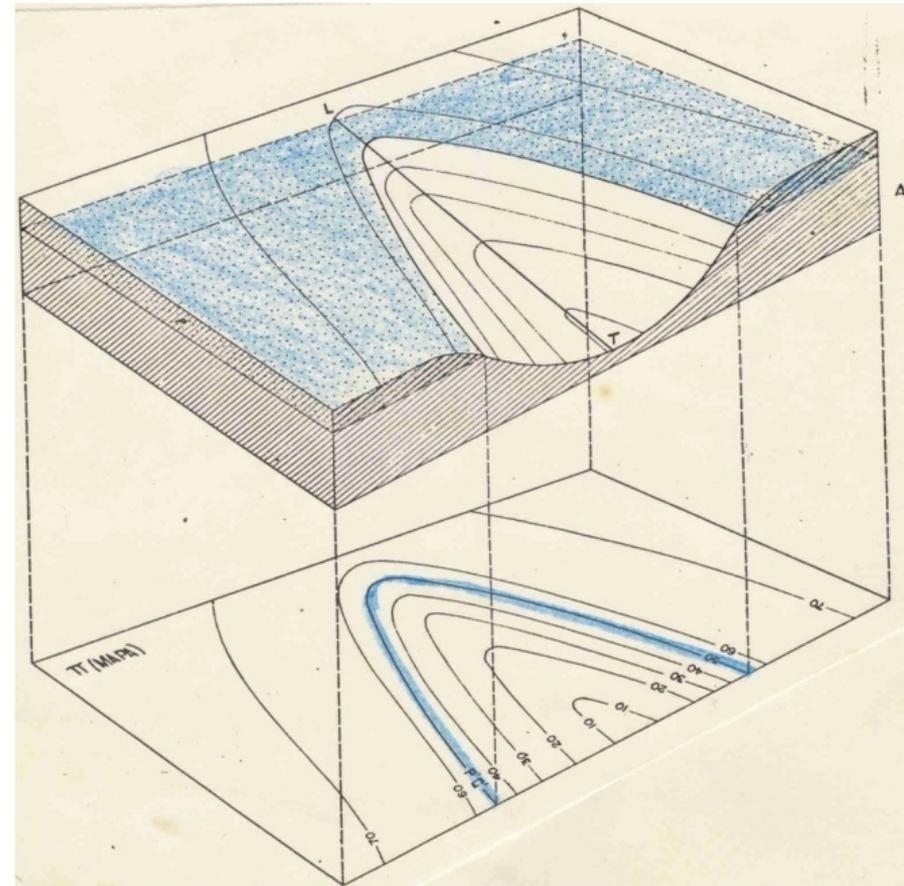
Limite da camada (contato) convexo no sentido contrário da declividade do vale (montante).

REGRA DOS Vs

Camada vertical



Camada horizontal



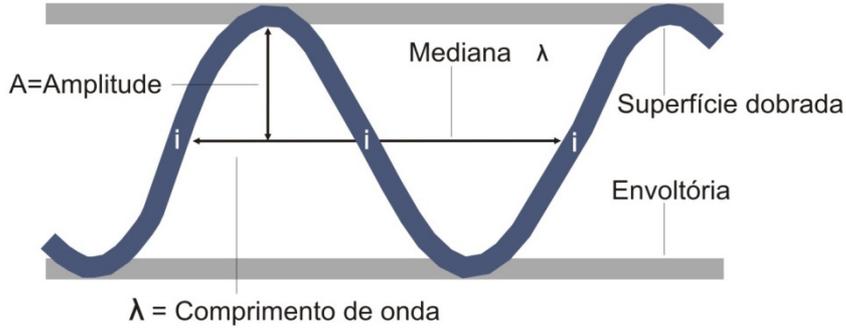
Limite da camada corta retilineamente as curvas de nível.

Limite da camada paralelo as curvas de nível.

DESCRIÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE DOBRADA

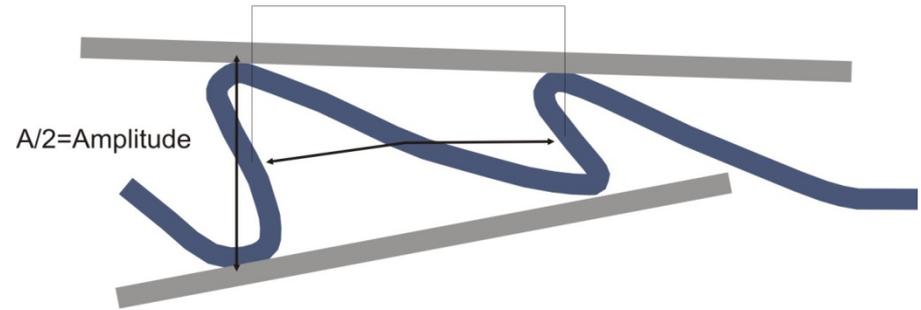
3- Dimensões e simetria do dobramento

Dobra Simétrica



Dobra Assimétrica

$\lambda = \text{Comprimento de onda}$



Envoltórias paralelas – dobra simétrica

A simetria ou assimetria das dobras podem indicar parâmetros de fluxo, tais como a orientação da superfície dobrada em relação ao campo de esforço. Superfícies paralelas ao eixo de estiramento instantâneo mínimo, ou negativo (*ISA3-instantaneous stretching axe*) do elipsóide de deformação tendem a desenvolver dobras simétricas.

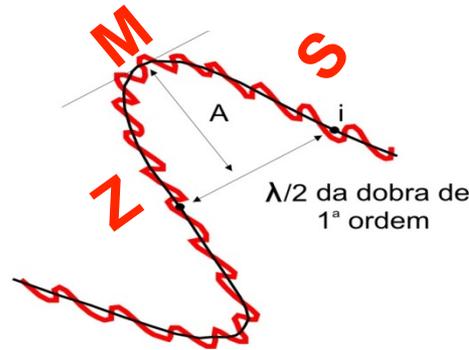
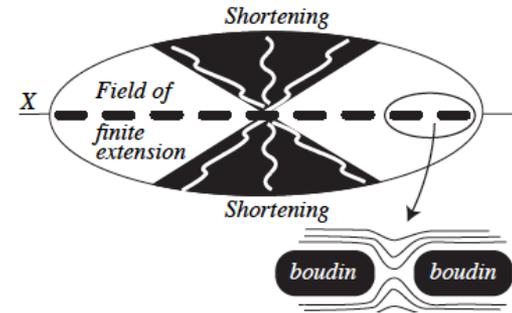
Envoltórias oblíquas – dobra assimétrica

4- Dobra de primeira ordem e dobras parasitas

As dobras maiores, de primeira ordem, podem admitir dobras menores, de segunda ordem, ditas **dobras parasitas**.

As dobras de primeira ordem, visíveis na escala de mapas geológicos, fotografias aéreas, imagens de satélite, raramente são visíveis na escala de afloramentos. As dobras parasitas são, nos afloramentos, as principais evidências do dobramento maior e permitem reconstruir a forma e posição da dobra de primeira ordem.

A assimetria e vergência das dobras parasitas indicam sua posição no dobramento maior.

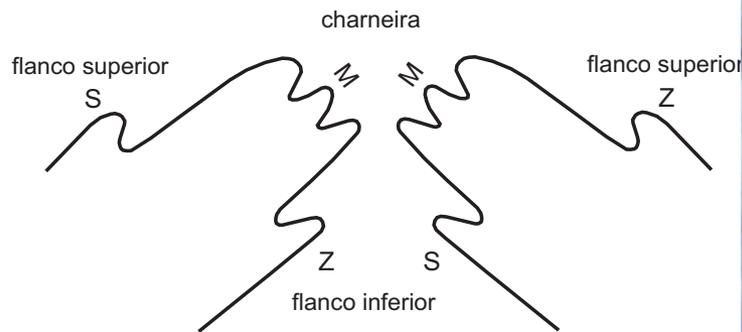


DESCRIÇÃO DE UMA SUPERFÍCIE DOBRADA

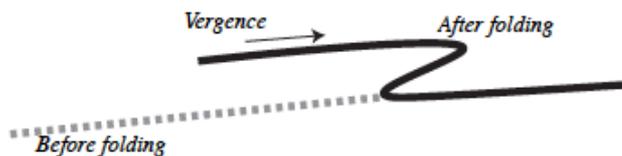
Flancos superior e inferior

- As dobras parasitas são simétricas (em – **M**) na zona de charneira do dobramento maior e assimétricas (em – **Z** e em – **S**), nos flancos.
- Os flancos superior e inferior são relativos à estrutura antiformal.
- Na dobra assimétrica de flanco superior o antiforme parasita sobrepõe o sinforme parasita e o contrário ocorre no flanco inferior.
- As formas das dobras parasitas assimétricas invertem-se conforme o sentido da visada em relação a linha de charneira da dobra (veja a figura abaixo), ou conforme a vergência do dobramento. Descrevê-las corretamente implica indicar o sentido do caimento da linha de charneira, ou orientar a vergência.

A vergência das dobras parasitas assimétricas (em S ou Z) está direcionada para a zona de charneira da estrutura antiformal de primeira ordem.



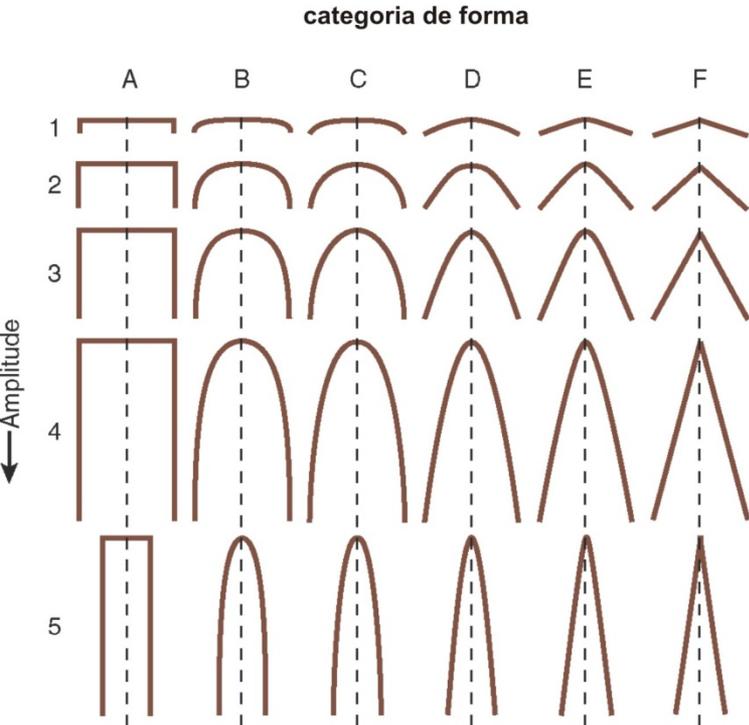
A inclinação da superfície dobrada, ou o sentido de deslocamento do flanco superior em relação ao flanco inferior (ou o sentido de rotação do flanco curto), indica o sentido do deslocamento da estrutura no espaço, ou a **vergência** da dobra.



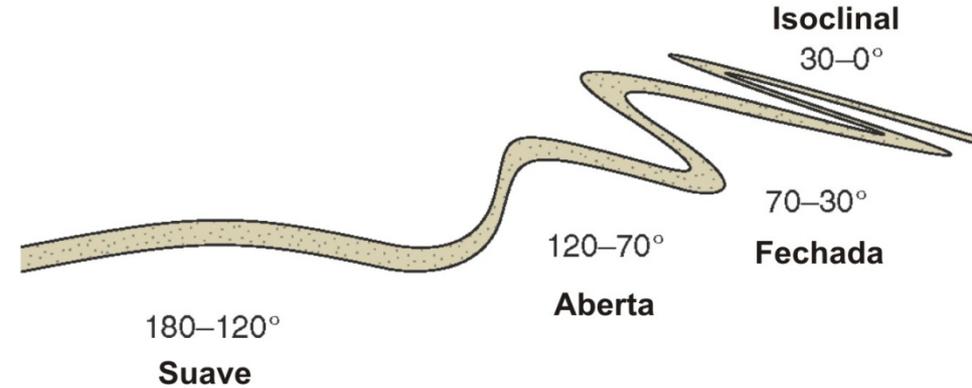
Dobra na Nappe de Morcles – Alpes Suíços

CLASSIFICAÇÃO DE DOBRAS COM BASE EM UMA SUPERFÍCIE DOBRADA

Análise visual do comportamento harmônico das dobras



CLASSIFICAÇÃO DE DOBRAS BASEADA NO ÂNGULO INTERFLANCOS

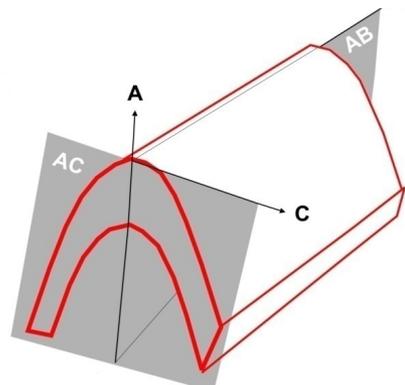


30 tipos básicos de dobras, admitindo-as como simétricas e descritas em uma seção de meio-comprimento de onda. Análise da harmonia com base na correlação entre forma (A-F) e comprimento de onda (1-5) (Hudleston, *Tectonophysics* **16** (1973) 1-46).

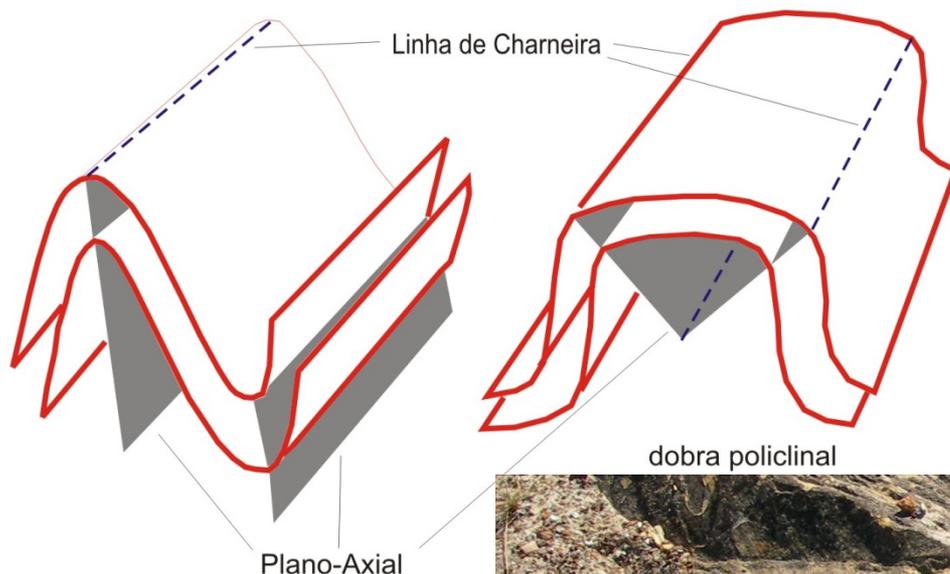
ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE DUAS SUPERFÍCIES DOBRADAS ADJACENTES

A superfície que une linhas de charneira de duas superfícies adjacentes define o **plano axial**

Traço do plano axial é observado (ou construído) no plano ortogonal à linha de charneira da dobra. É o traço de união entre os pontos de intersecção das linhas de charneiras de superfícies dobradas contíguas no perfil da dobra.



Duas superfícies dobradas



O plano axial é ortogonal ao esforço compressivo principal

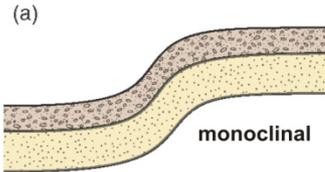
O perfil da dobra encontra-se no plano perpendicular à linha de charneira.

Observem que o traço do plano axial não é uma linha reta, na medida que depende das relações mecânicas entre as diferentes camadas dobradas.



FORMAS BÁSICAS DE DOBRAS

ESTRATIGRAFIA DESCONHECIDA

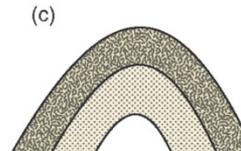


MONOCLINAL

SINFORME E ANTIFORME



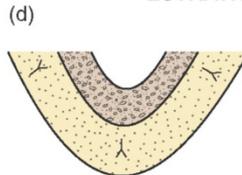
sinforme



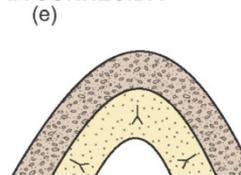
antiforme

Concavidade voltada para cima e
concavidade voltada para baixo

ESTRATIGRAFIA CONHECIDA



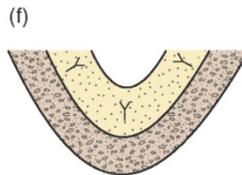
sinclinal



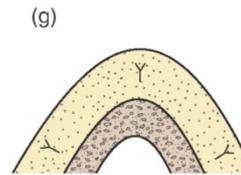
anticlinal

SINCLINAL E ANTICLINAL

Camada mais jovem no interior da
dobra (sinclinal) ou no exterior
(anticlinal)



anticlinal sinfórmico

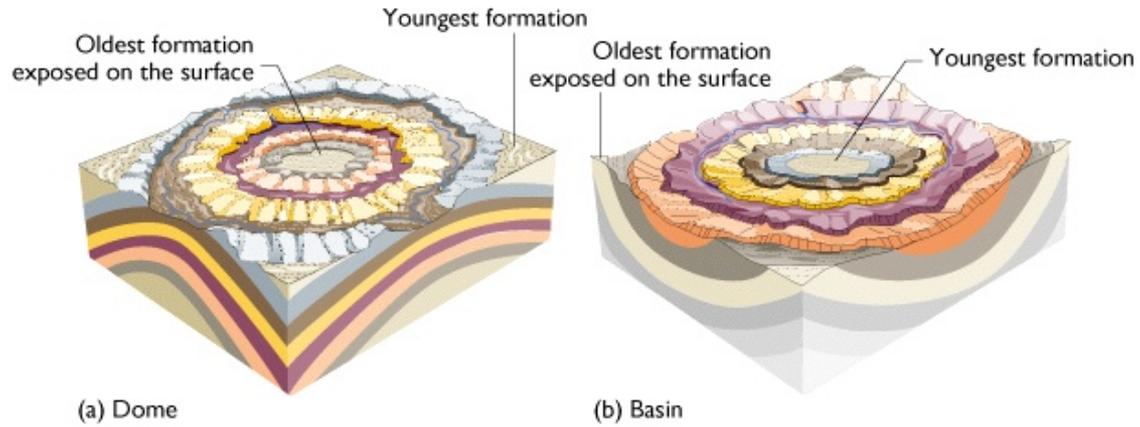


sinclinal antifórmico

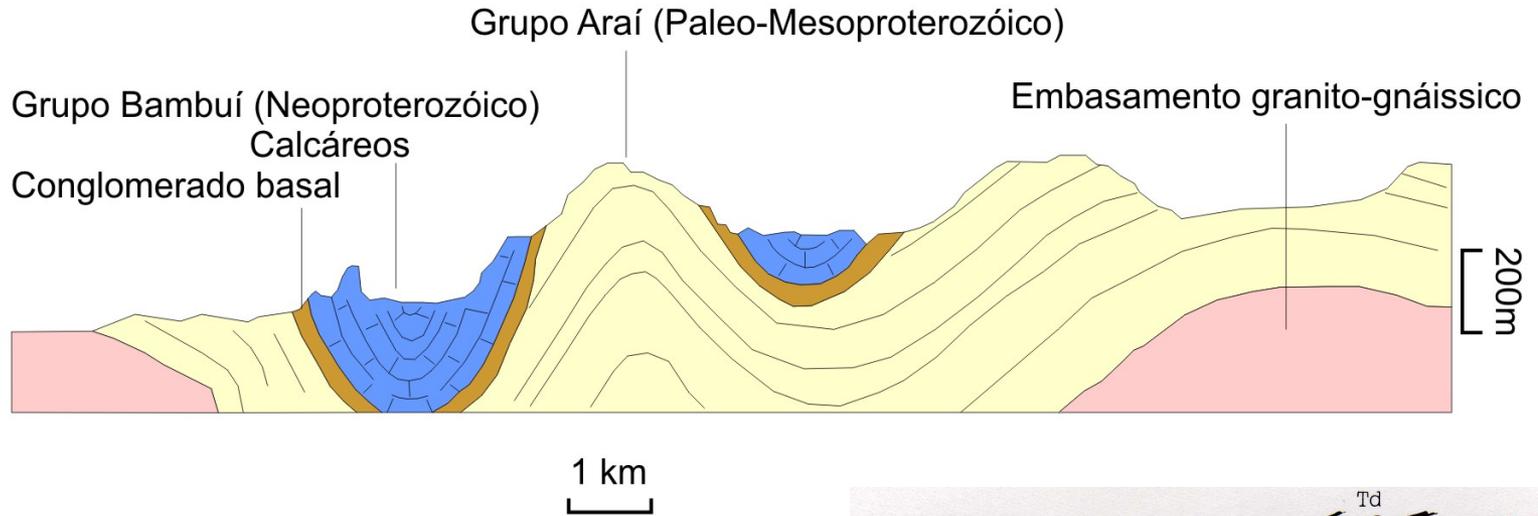
Concavidade para cima e camada
mais antiga no interior da dobra,
ou concavidade para baixo e
camada mais jovem no interior

ANTICLINAL SINFÓRMICO E
SINCLINAL ANTIFÓRMICO

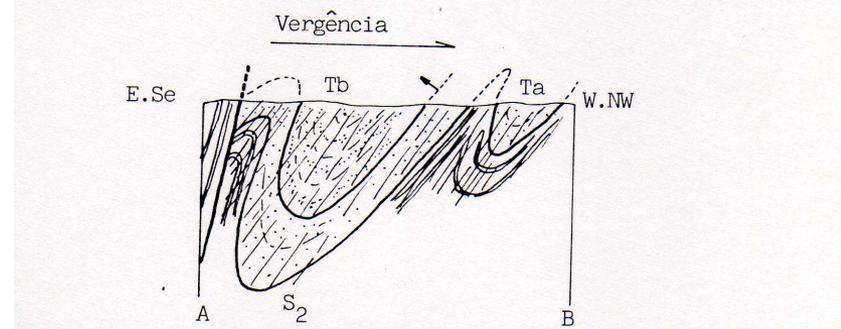
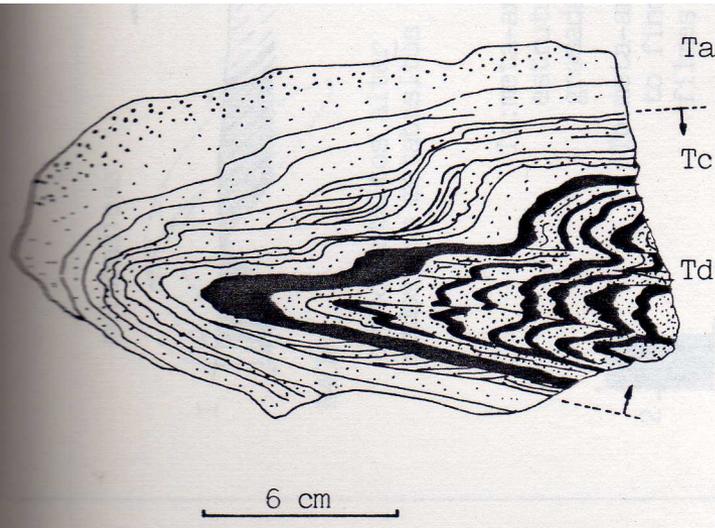
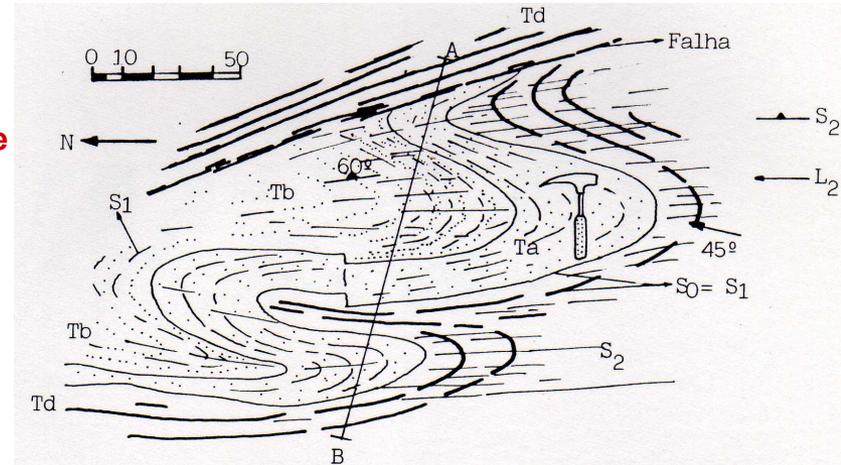
FORMAS BÁSICAS DE DOBRAS DEFINIDAS PELAS RELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS - DOMO E BACIA



FORMAS BÁSICAS DE DOBRAS DEFINIDAS PELAS RELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS – ANTICLINAIS E SINCLINAIS

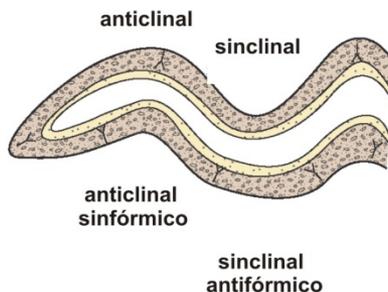


As relações estratigráficas são estabelecidas pela idade das rochas e pela forma e ordenação das estruturas sedimentares e ígneas

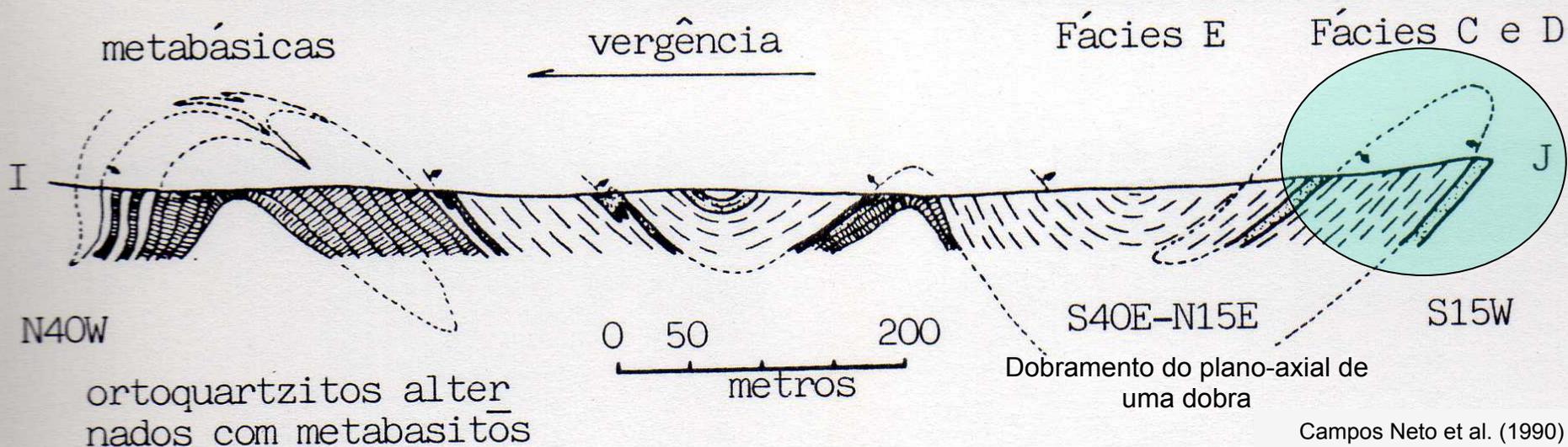


Anticlinal sinfórmico e sinclinal antifórmico – superposição de dobramento

(h)



DOBRAMENTO SUPERPOSTO

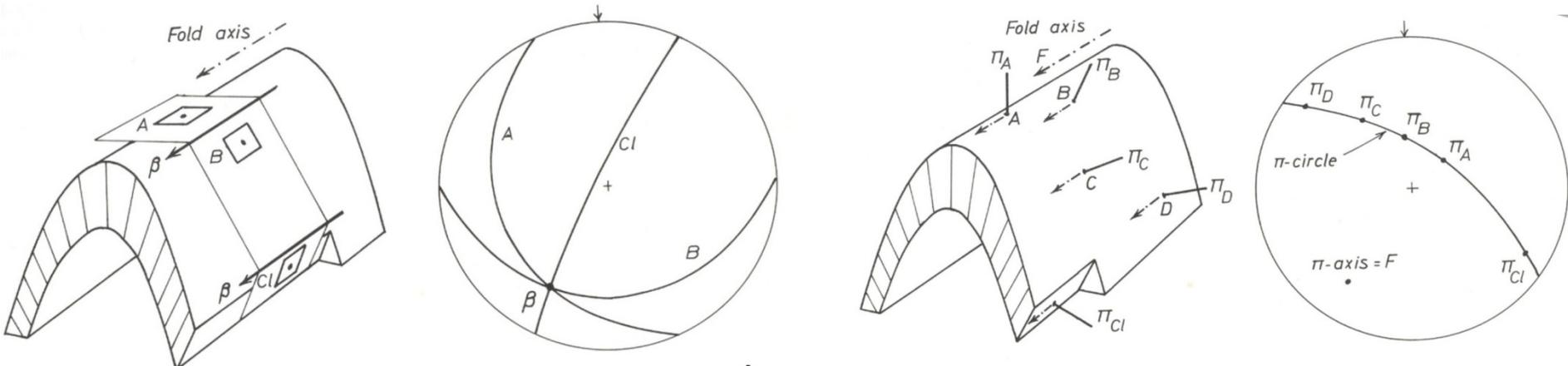


Campos Neto et al. (1990)

GEOMETRIA DO DOBRAMENTO

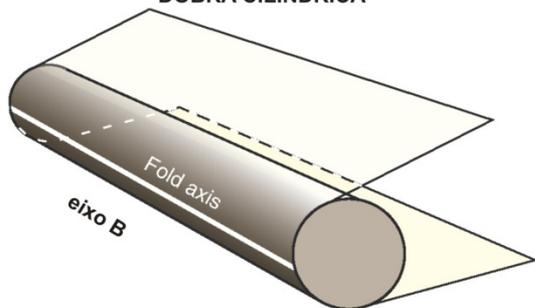


Definição da geometria de um dobramento cilíndrico

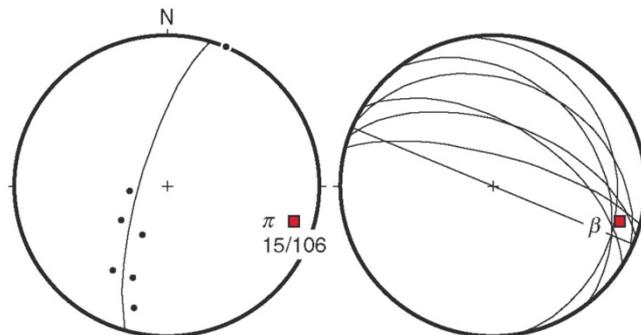


GEOMETRIA DO DOBRAMENTO

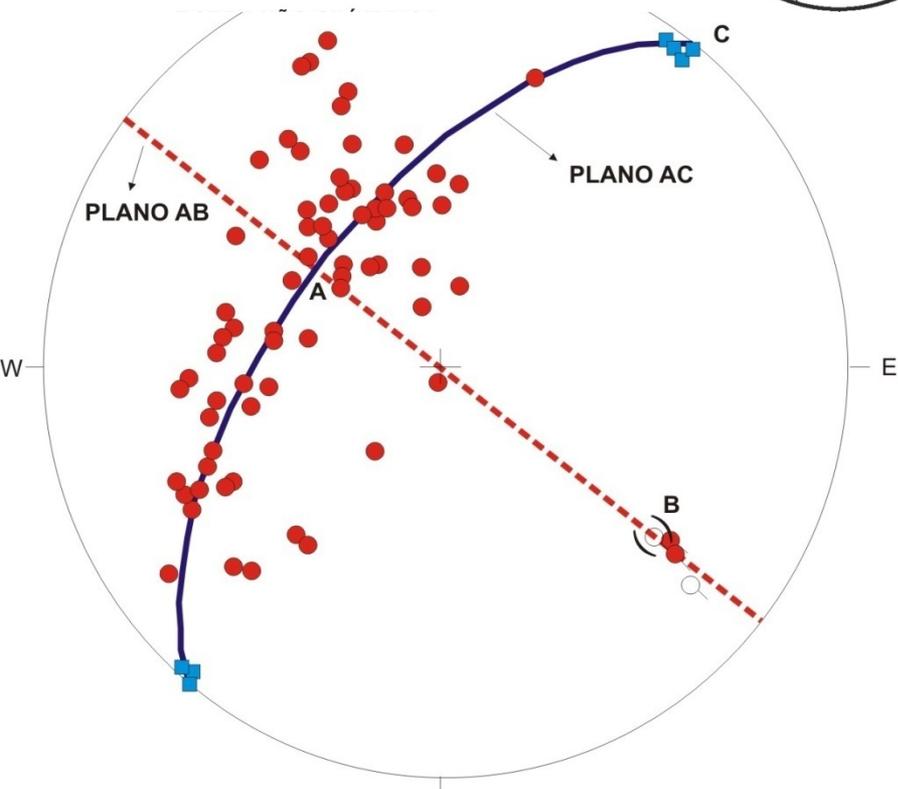
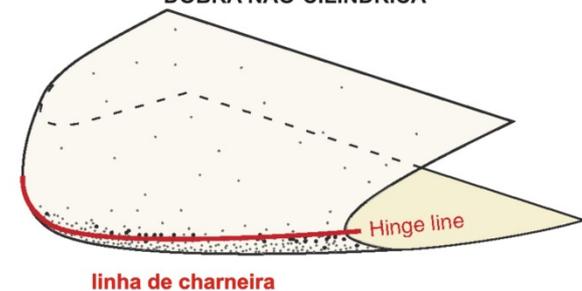
DOBRA CILÍNDRICA



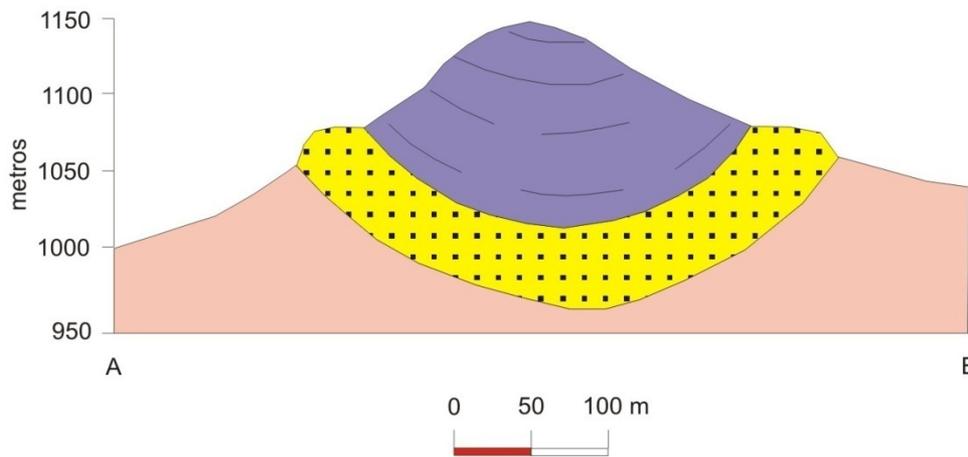
Geometria cilíndrica da dobra



DOBRA NÃO-CILÍNDRICA



Os planos tangentes à superfície dobrada interceptam-se paralelamente à geratriz do cilindro → projeção estereográfica das superfícies dobradas interceptam-se em um ponto, o eixo da dobra. Os pólos destas superfícies (ortogonais aos planos) estão contidos em um plano ortogonal ao eixo-B – plano AC de simetria.



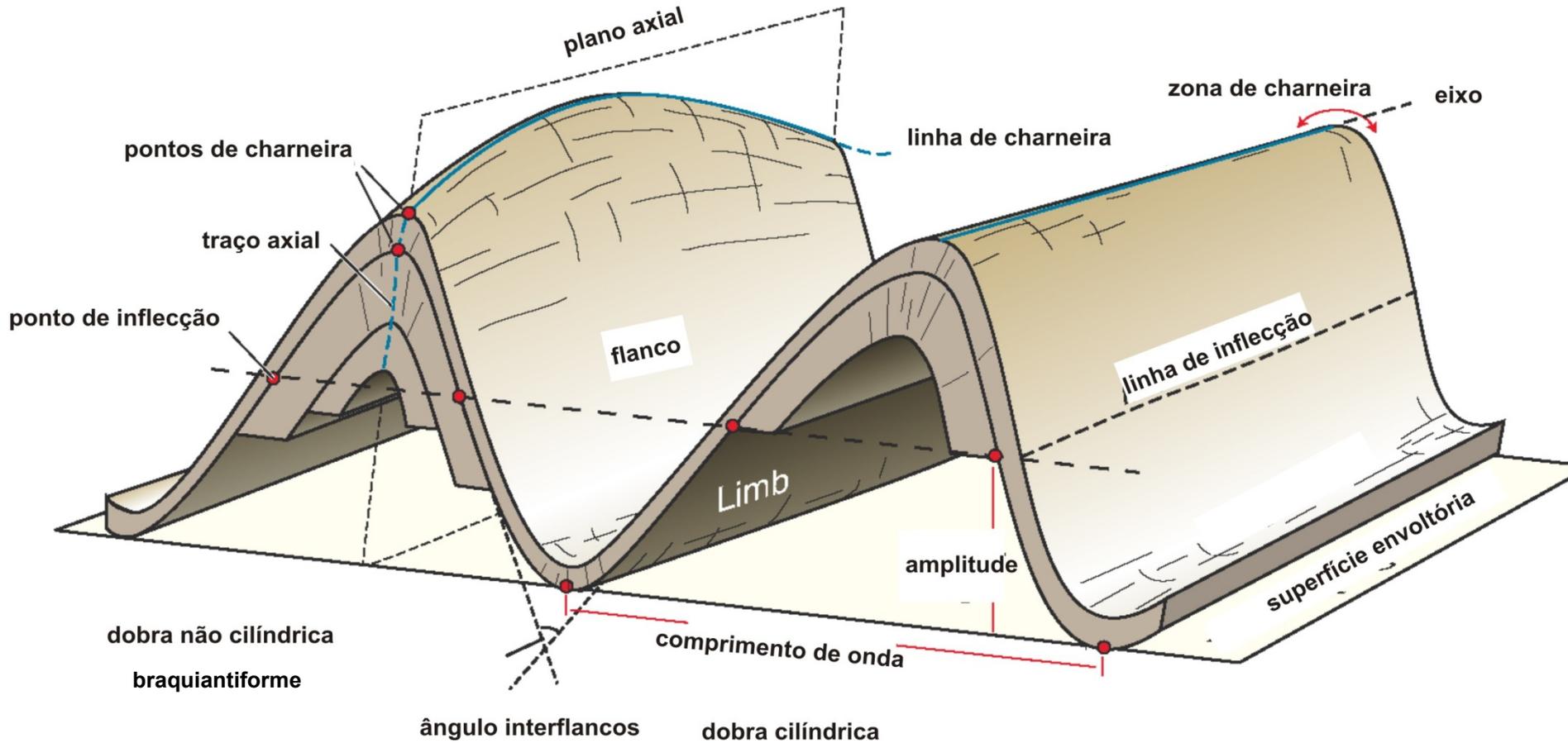
● Pólo da estratificação S_0 (59)

■ Pólo do plano axial de pequenas dobras (6)

○ Linha de charneira de pequenas dobras (3)

○ Eixo-B construído

SÍNTESE DOS ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DO DOBRAMENTO



ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE DUAS SUPERFÍCIES DOBRADAS ADJACENTES E CLASSIFICAÇÕES DAS DOBRAS

Com base em duas superfícies dobradas adjacentes as dobras podem ser classificadas levando em conta:

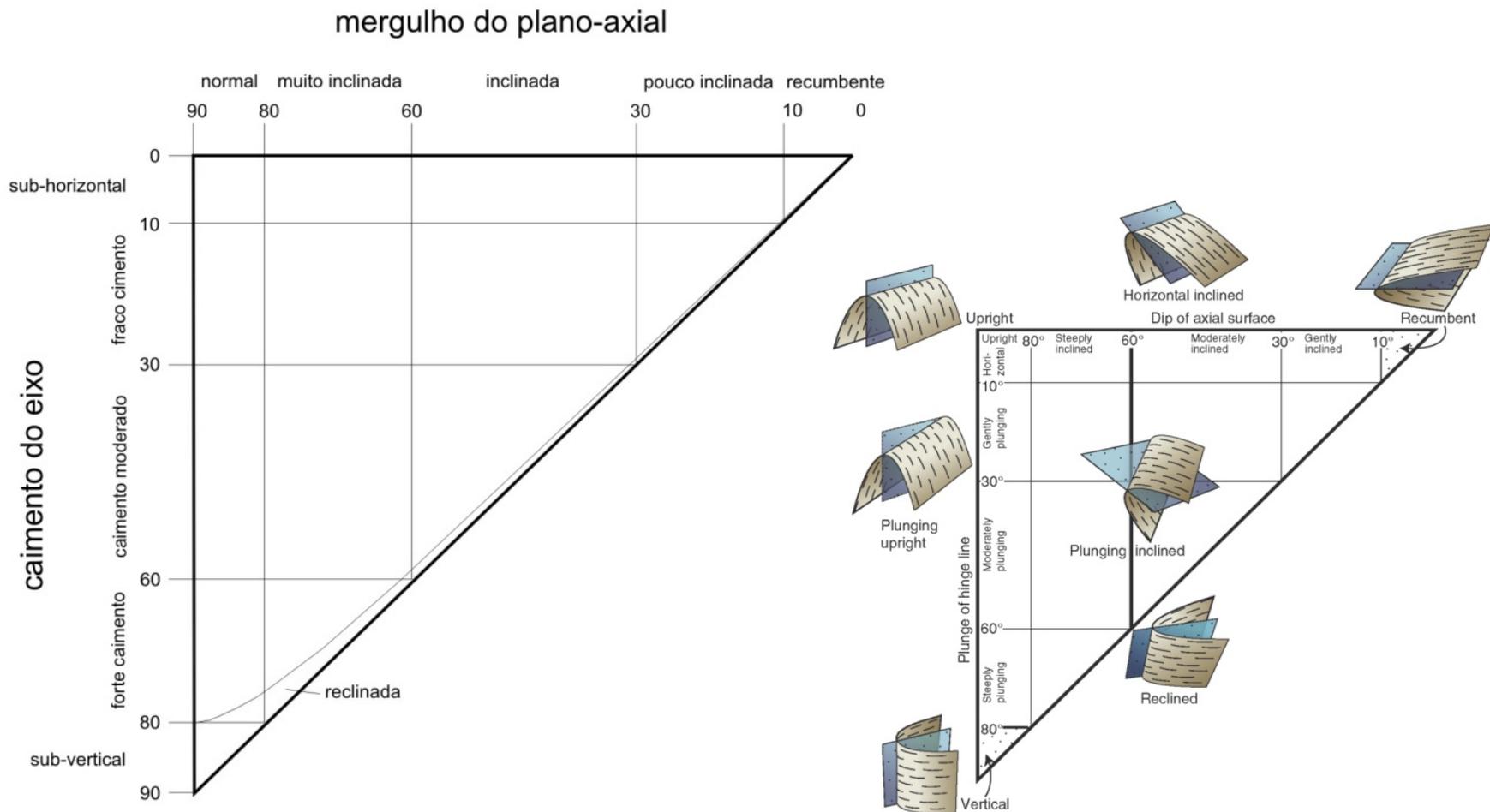
- 1- a orientação do plano axial em relação ao caimento da linha de charneira;
- 2- a variação da forma da camada dobrada (ou entre duas superfícies dobradas adjacentes).



ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE DUAS SUPERFÍCIES DOBRADAS ADJACENTES

Classificação de dobras baseada na orientação de seus elementos estruturais

Classificação de dobras baseada na relação entre o mergulho do plano-axial e o caimento da linha de charneira Fleuty (1964)



Considerando as dobras com a linha de charneira horizontal, como as classificariamos?



Alternâncias rítmicas entre mica xistos e quartzitos – Unidade Serra da Boa Vista-Sistema de Nappes Andrelândia

Seção próxima a linha de charneira com plano axial mergulhando para o interior do barranco – dobra inclinada com aparência de recumbente no corte observado.



VERGÊNCIA DO DOBRAMENTO

A **direção de vergência** de um sistema regional de dobramento é dada pelo sentido de deslocamento do flanco superior em relação ao flanco inferior, ou o sentido de rotação do flanco inferior das dobras parasitas, ou o sentido contrário ao mergulho do plano axial. Dobras normais não possuem vergência.

Dobras parasitas antiformais possuem **deslocamento** em direção a zona de charneira da antiforma maior.

VERGÊNCIA É UM CONCEITO CINEMÁTICO E INDICA O DESLOCAMENTO HORIZONTAL DA CAMADA ROCHOSA QUANDO DO BRAMENTO.



VERGÊNCIA DO DOBRAMENTO

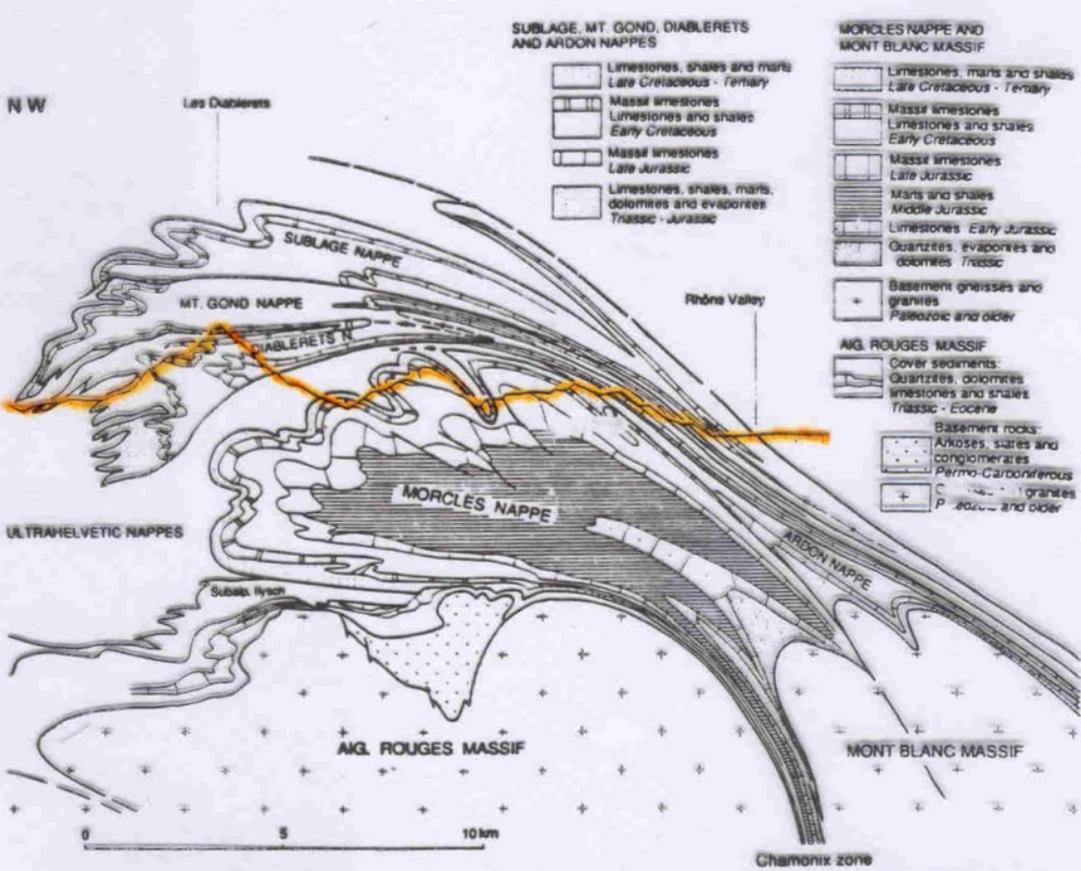
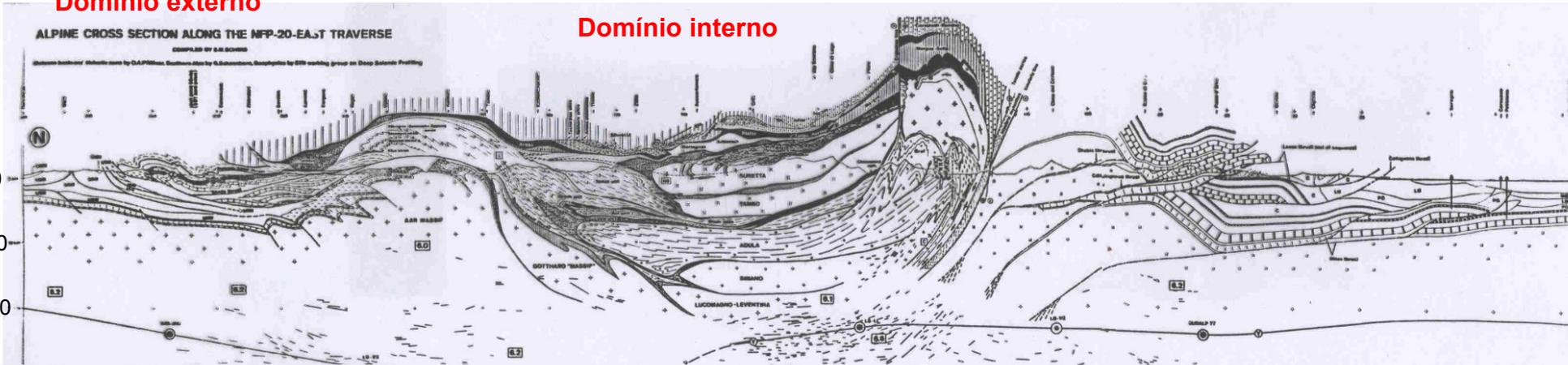


Nas dobras recumbentes, ou neutras, a vergência só pode ser definida se as relações estratigráficas forem conhecidas. Nestes casos a vergência é indicada pela charneira **anticlinal, portanto tem-se os flancos normais e inversos**. Desconhecendo-se as relações estratigráficas, os flancos superior (longo) e inferior (curto) de uma dobra recumbente assimétrica podem ser utilizados para indicar a vergência (sentido contrário à deflexão do flanco inferior ao dobrar-se).

NAPPES DE DOBRAMENTO – NAPPES ALPINAS

Domínio externo

Domínio interno



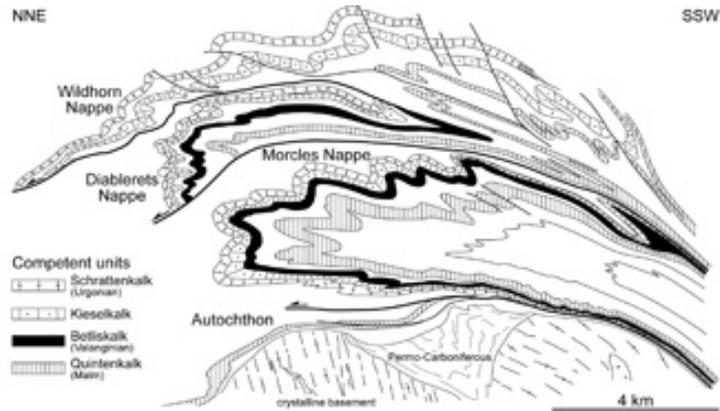
As nappes de dobramento são anticlinais recumbentes, cujo flanco invertido (inferior) possui dimensões superiores a 11 km. São extensas dobras sem raízes que tiram as unidades de sua paleogeografia. São estruturas alóctones.

Vergência do dobramento e polaridade tectônica (estrutural e metamórfica – nível de exposição da crosta)

Intensa deformação do flanco inferior e rompimento das estruturas sinformais – pilhas de nappes de anticlinais.

NAPPES DE DOBRAMENTO – NAPPES ALPINAS

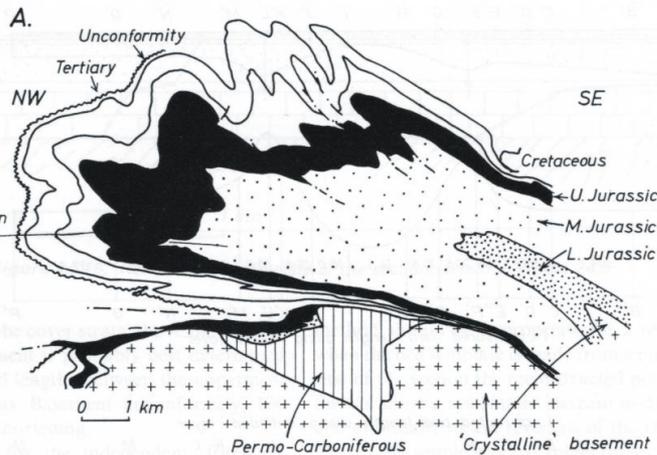
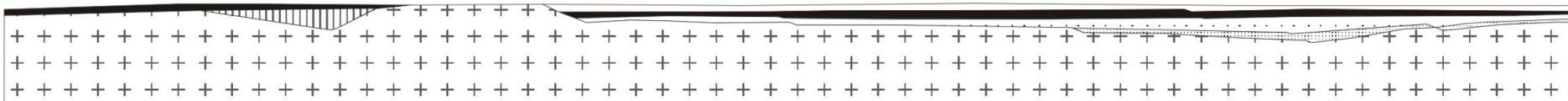
Dobras, encurtamento e espessamento da crosta superior e transporte orogênico



Nappe de Morcles – nappe anticlinal ou nappe de cobertura.

Futuro segmento autóctone

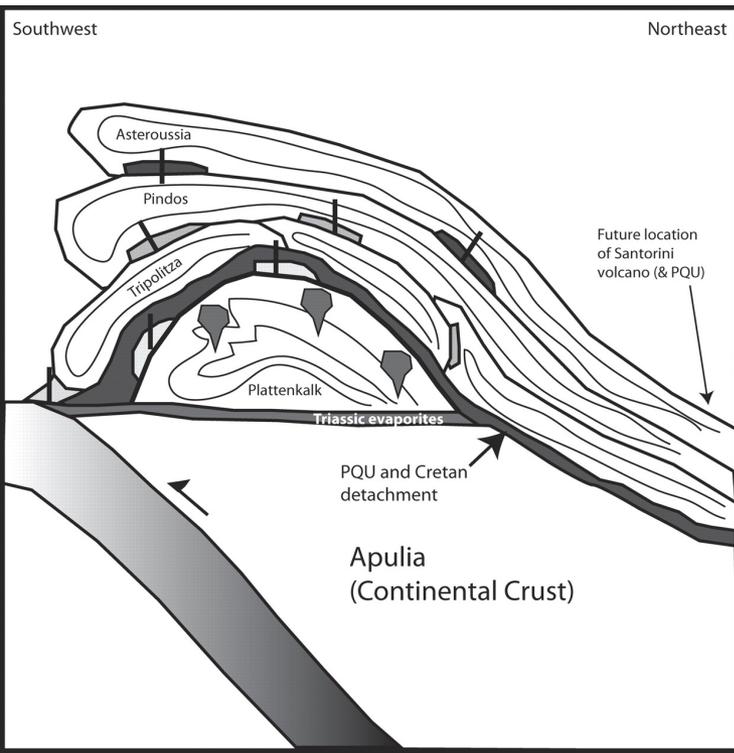
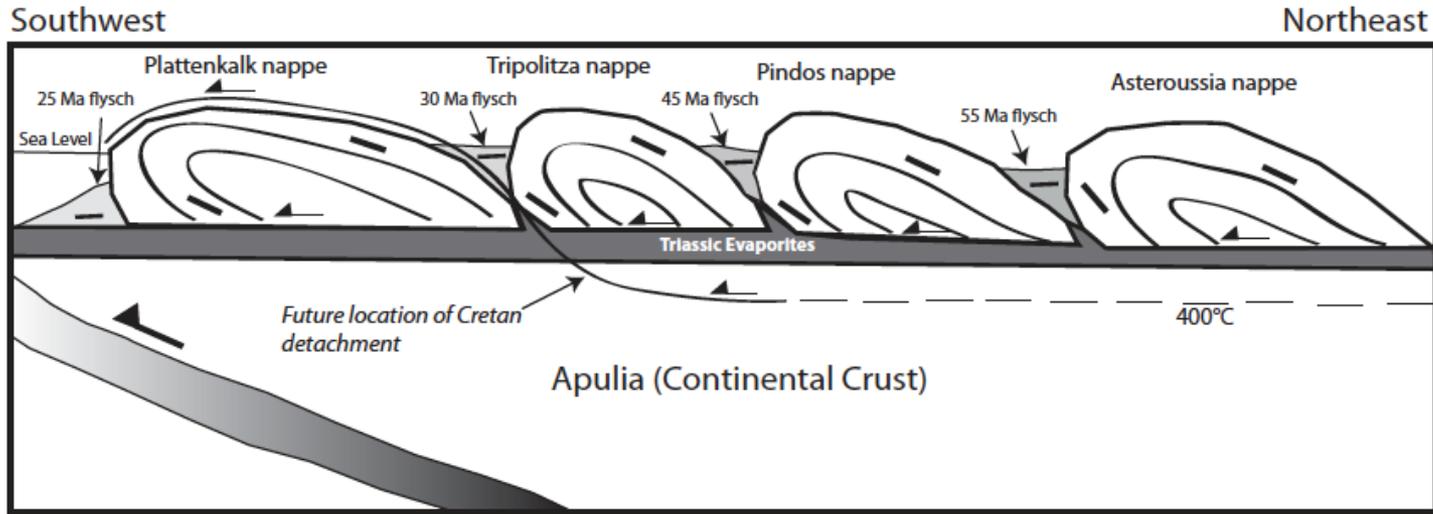
Futuro segmento alóctone



Encurtamento da crosta em cerca de 70%

NAPPES DE DOBRAMENTO – NAPPES ALPINAS

Tectônica e Sedimentação _ Migração de uma pilha de nappes

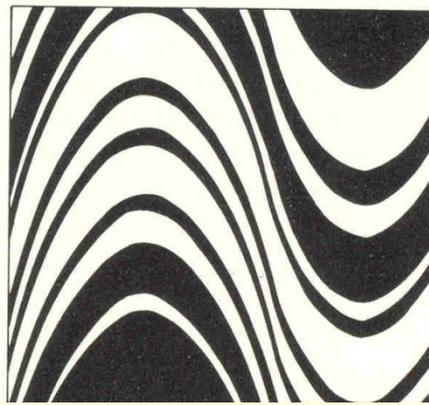


O avanço da pilha de nappes alpinas, anticlinais (ilha de Creta – Grécia) é evidenciada pela idade dos depósitos *flysch* – duração mínima do processo geodinâmico foi de 30 m.y.

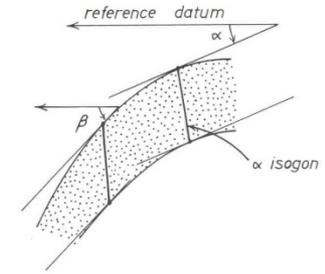
CLASSIFICAÇÃO DAS DOBRAS COM BASE NAS SUPERFÍCIES DOBRADAS ADJACENTES

isopaca

anisopaca



Espessura ortogonal ($e\alpha$) e espessura paralela ao plano axial ($e0$)



Espessura ortogonal e método de traçado de isógonas de mergulho

Dobras na classe 1 – isógonas convergentes (arco externo maior que arco interno)

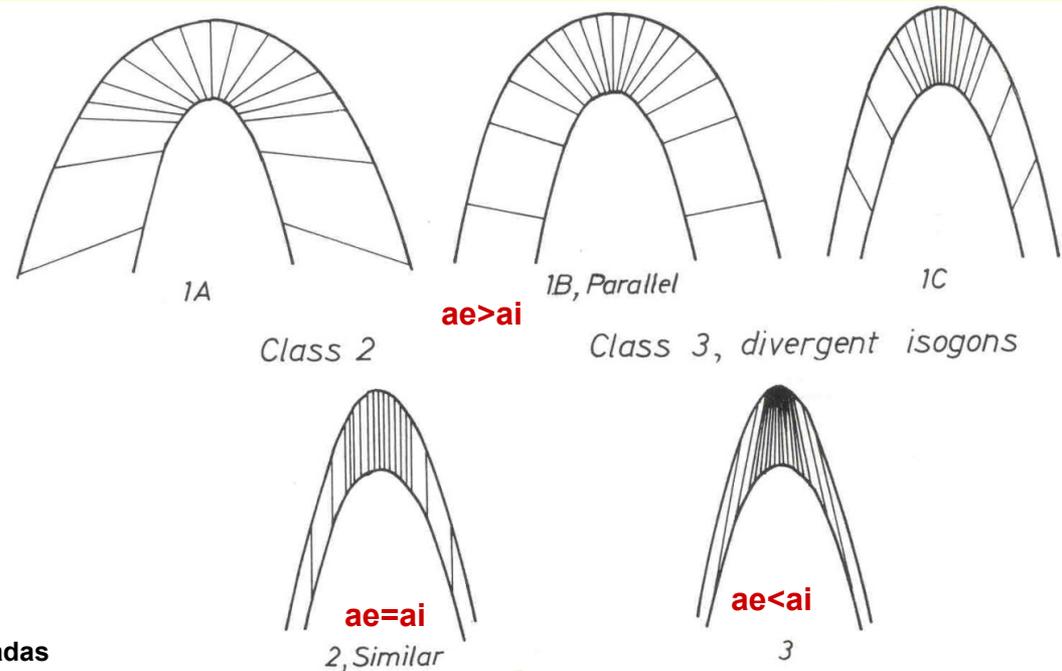
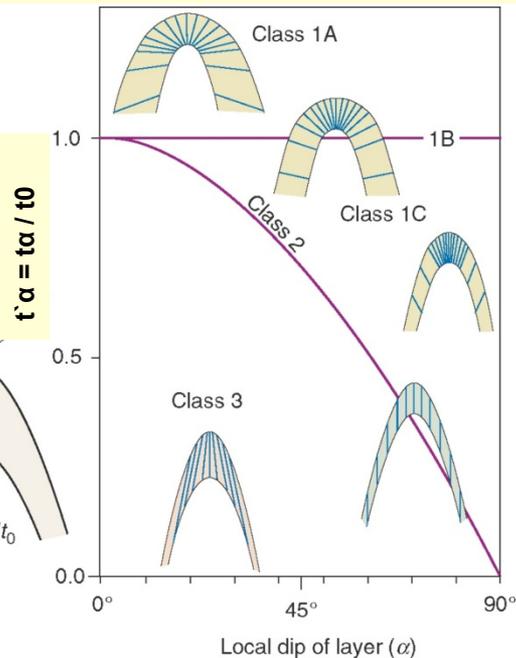


Diagrama de classes de dobras, onde as espessuras normalizadas são plotadas contra os mergulhos da superfície dobrada

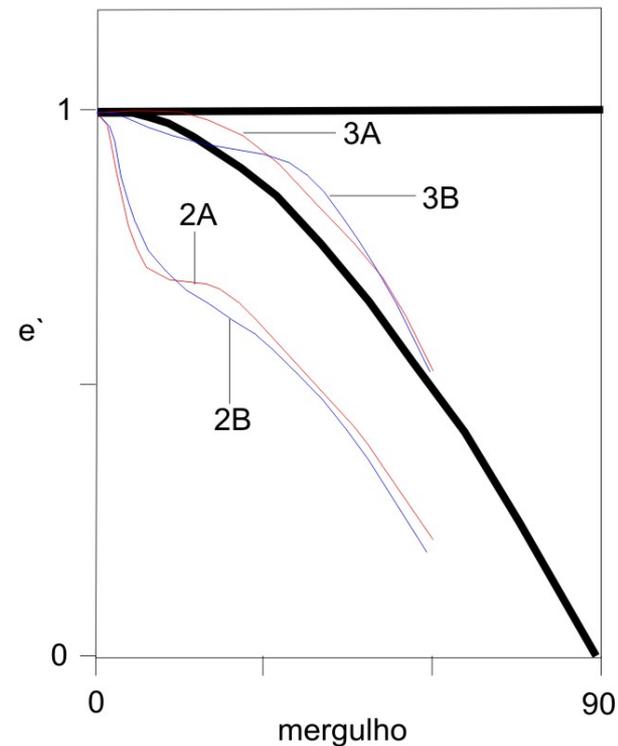
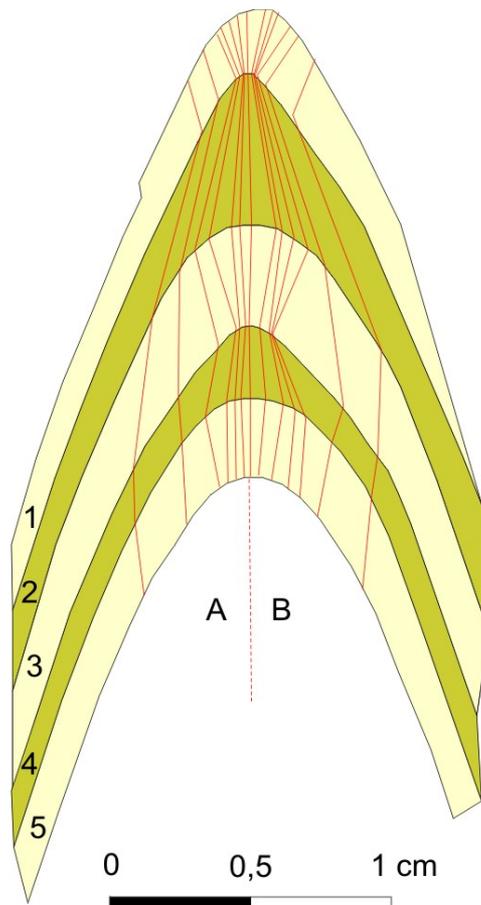
Classe 2 – dobra similar, isógonas paralelas e paralelas a $e0$

Classe 3 – isógonas divergentes

CLASSIFICAÇÃO DAS DOBRAS COM BASE NAS SUPERFÍCIES DOBRADAS ADJACENTES

Isógonas de mergulho

Nível mais competente controla a forma da dobra. Nível mais incompetente amolda-se.



Isógonas de mergulho e gráfico de forma de dois estratos dobrados.
(as dobras não podem afetar um número ilimitado de estratos sem alterar sua forma)

CLASSIFICAÇÃO DAS DOBRAS COM BASE NAS SUPERFÍCIES DOBRADAS ADJACENTES



Definir as classes das dobras dos diferentes estratos

Correlação entre a orientação das clivagens e as isógonas de mergulho

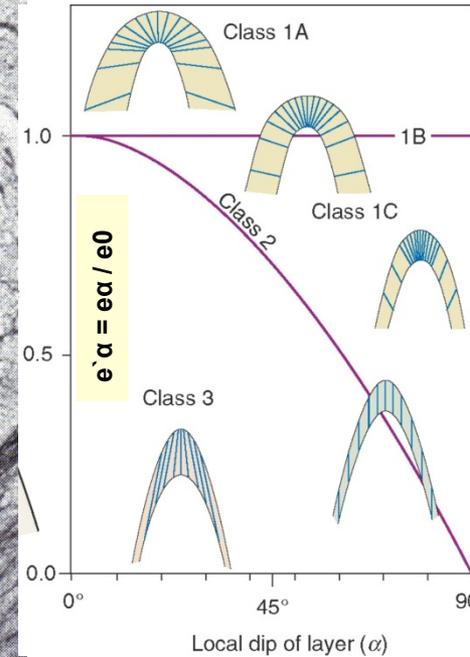
CLASSIFICAÇÃO DAS DOBRAS COM BASE NAS SUPERFÍCIES DOBRADAS ADJACENTES

Abertura do arco externo maior que a abertura do arco interno.

Espessura paralela ao plano axial maior que a espessura ortogonal no flanco da dobra.

Espessamento de charneira.

Padrão paralelo da clivagem no nível mais incompetente e padrão convergente no nível mais competente. Padrão divergente no nível de competência intermediária



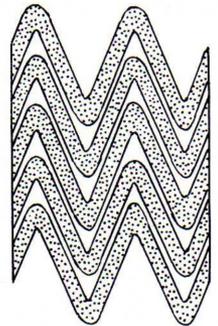
CLASSIFICAÇÃO DAS DOBRAS COM BASE NAS SUPERFÍCIES DOBRADAS ADJACENTES

A alternância regular entre níveis competentes dobrados na sub-classe 1B (dobra isopaca) e níveis incompetentes na classe 3 produz o **dobrimento em chevron**.



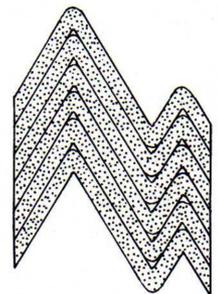
Modelo de dobras desenvolvidas em estratos com alternâncias regulares de espessura e viscosidade

Dobras em chevron regulares



Alto contraste de viscosidade e proporção moderada entre os estratos competentes e incompetentes

Alto contraste de viscosidade e proporção baixa entre os estratos competentes e incompetentes

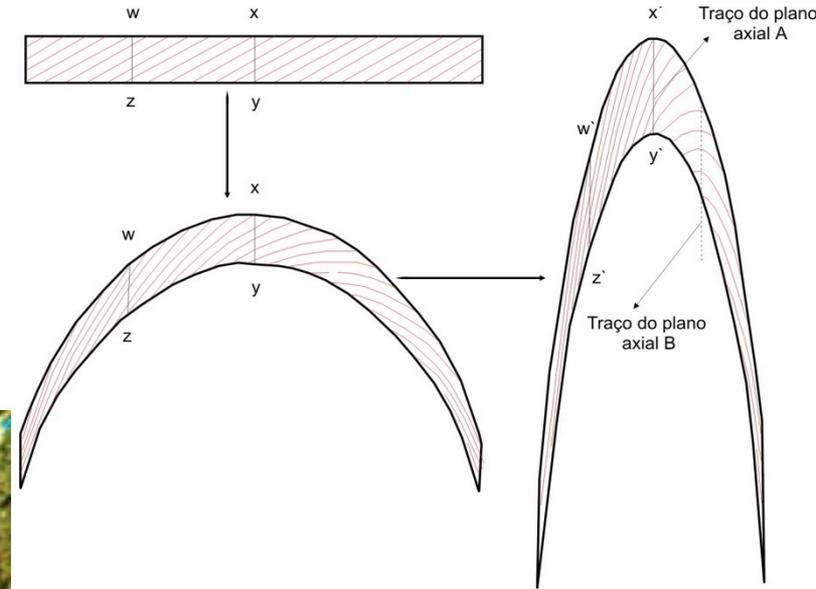
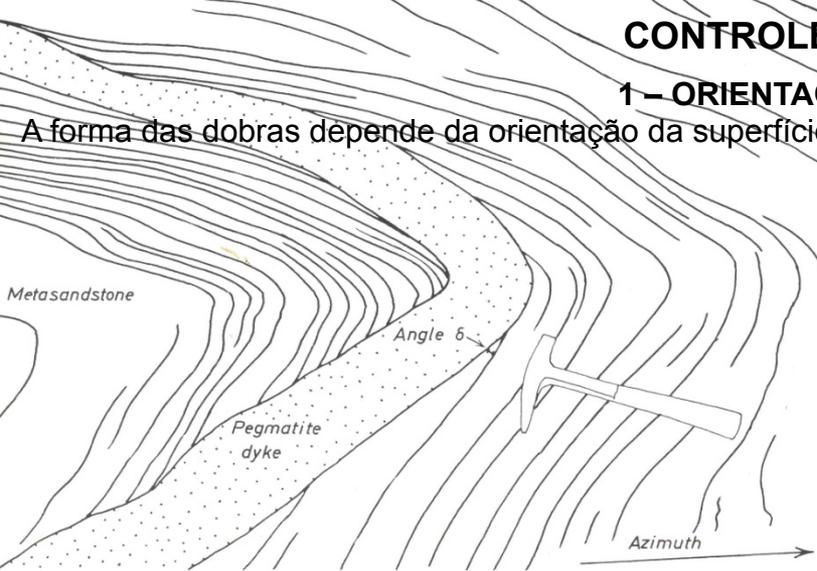


Dobras em chevron irregulares

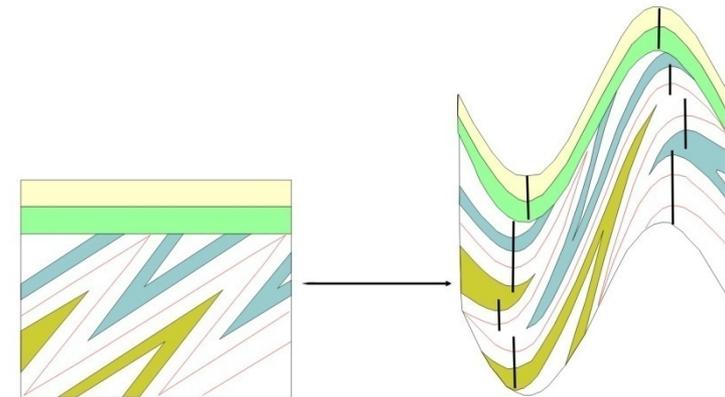
CONTROLE DA FORMA DAS DOBRAS

1 – ORIENTAÇÃO DA SUPERFÍCIE DOBRADA

A forma das dobras depende da orientação da superfície dobrada em relação aos eixos de estiramento instantâneos do elipsoide de deformação.



Superfícies dobradas originalmente não paralelas – traços múltiplos do plano axial



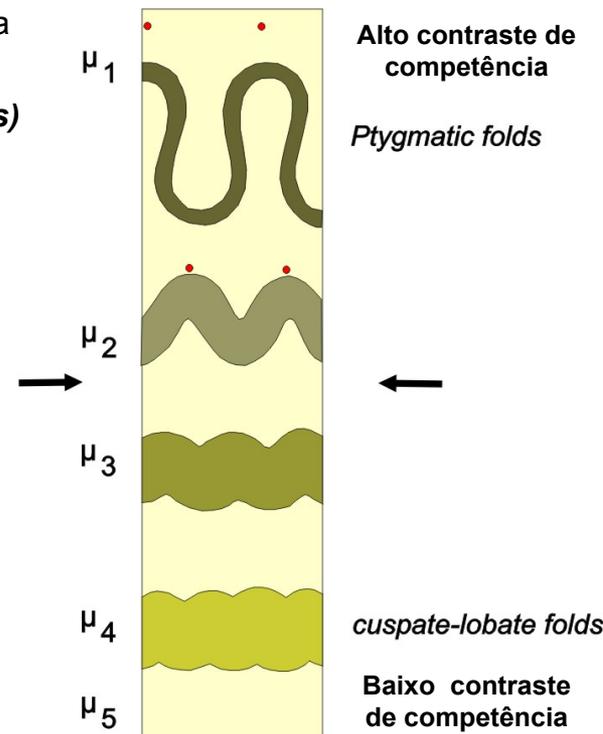
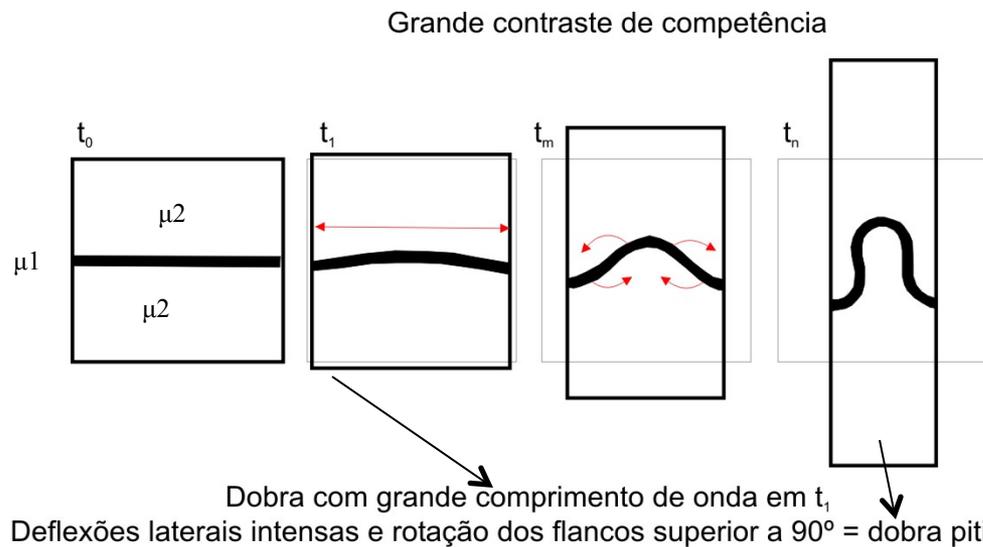
Dobramento similar de dobras pré-existent e de uma superfície de discordância angular. Verificar a modificação escalonada da posição dos traços dos planos-axiais das novas dobras, controlada pelas diferentes orientações das superfícies dobradas.

CONTROLE DA FORMA DAS DOBRAS

2 – CONTRASTE DE COMPETÊNCIA (DOBRAMENTO POR *BUCKLING*)

Conjunto de estratos com diferentes competências submetidos a uma contração ao longo da estratificação.

As dobras são formadas pela deflexão do estrato mais competente - *buckling* (*buckle folds*)



CONTROLE DA FORMA DAS DOBRAS

Contraste reológico (ou de competência) e dobramento pitigmático

Gnaisse cortado por vênula de leucogranito

O dobramento pitigmático da vênula granítica pressupõe, quando da deformação, um grande contraste de viscosidade com o gnaisse encaixante.



Deformação contemporânea ao metamorfismo

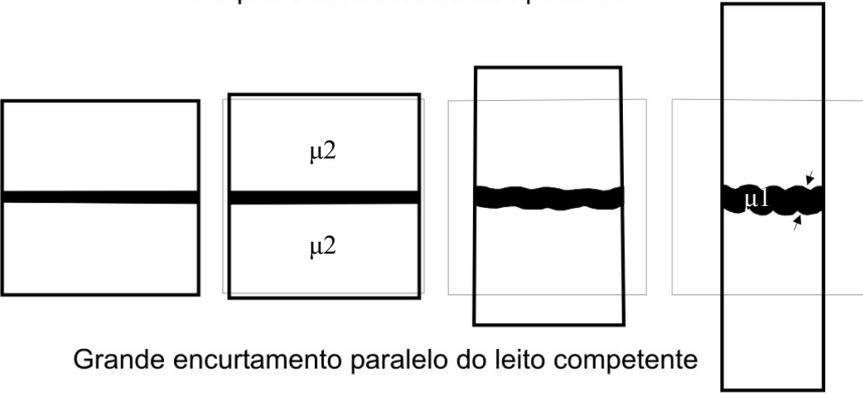
Contato entre metarenito (bege) e ardósia (cinza) cortado por veios de quartzo.

Os veios de quartzo estão pitigmaticamente dobrados na ardósia (grande contraste reológico) enquanto que no quartzito os veios encontram-se em dobras com grande comprimento de onda e pequena amplitude (baixo contraste de competência).



CONTROLE DA FORMA DAS DOBRAS

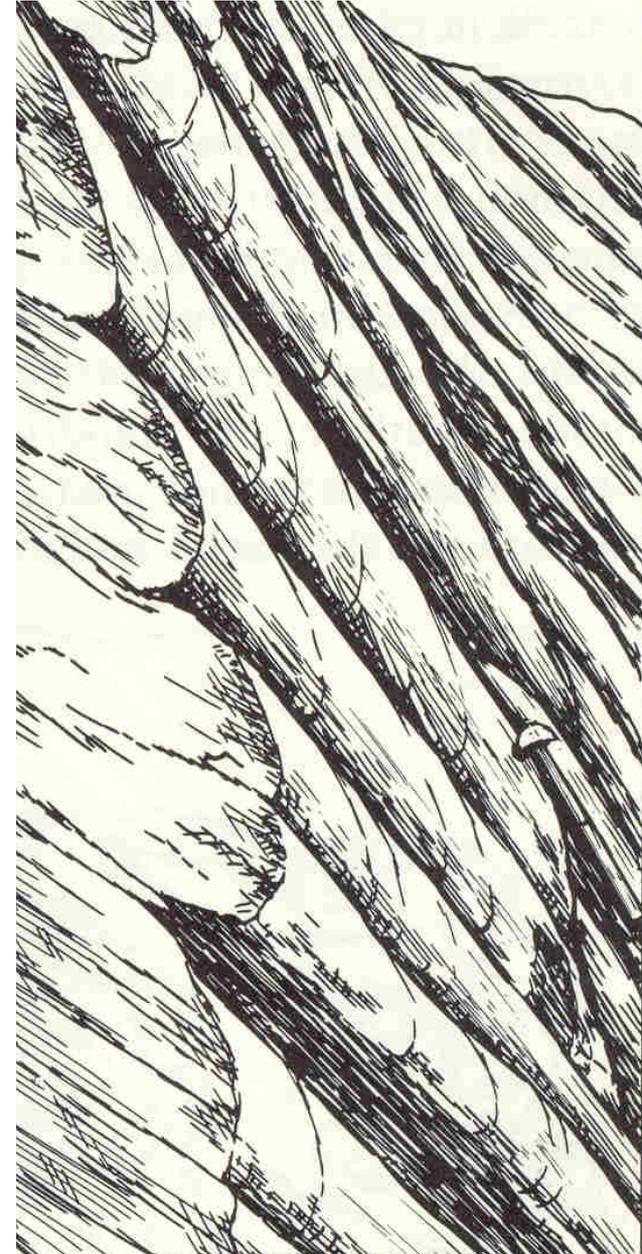
Pequeno contraste de competência



Grande encurtamento paralelo do leito competente

**Dobras em
cúspide e lobadas**

**Baixo contraste de competência
(*mullions*)**

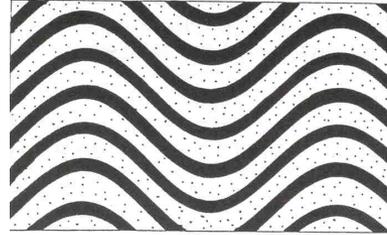


CONTROLE DA FORMA DAS DOBRAS

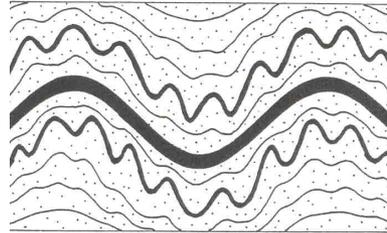
3 – ALTERNÂNCIAS SEQUENCIAIS DE COMPETÊNCIA E DOBRAMENTO HARMÔNICO



C. Harmonic folding



D. Polyharmonic folding



Seqüências multi-estratificadas apresentam um largo espectro de diferentes formas e comprimentos de onda de dobras, dependendo das variações de competência e espessura dos estratos.

Quando os estratos competentes estão relativamente próximos, forma-se um dobramento harmônico (dobras de igual comprimento de onda, onde os planos axiais interconectam os estratos competentes).

Dobras poli-harmônicas são geradas quando os estratos de mesma competência possuem diferentes espessuras.



Nas seqüências multi-estratificadas dobras que se repetem com formas semelhantes na direção do traço axial são harmônicas.



CONTROLE DA FORMA DAS DOBRAS

Dobramento Harmônico e Poli-Harmônico



CONTROLE DA FORMA DAS DOBRAS

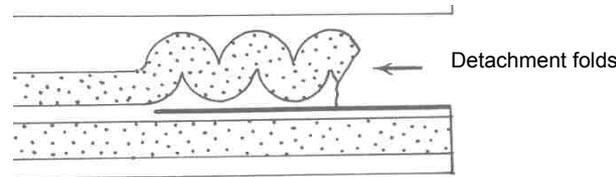
Dobramento desarmônico e *découlement*

Dobras desarmônicas



Dobras com comprimentos de onda e formas variáveis

Découlement e estilo do dobramento de níveis rasos de crosta superior



Dobramento descontínuo e sem vergência definida, dobras normais, em caixa e dobra-falha (para manutenção de padrão isopaco), descoladas do embasamento – domínio externo do segmento orogênico – Encurtamento e espessamento da crosta superior rasa.

Montanhas do Jura

Grenchenberg

S

N

Blochmontkette

Tertiary
U. Jura
M. Jura
L. Jura
Trias
Basement

Schwarzwald crystalline basement

0 5 10 km