

TECTÓNICA EXPERIMENTAL EM REGIME COMPRESSIVO PARA OS ENSINOS BÁSICOS E SECUNDÁRIO: A GERAÇÃO DE UMA CADEIA DE MONTANHAS.

Vanda Alves¹, Sílvia Calado¹, Sílvia Ferreira¹, Isabel Paixão¹ & Paulo E. Fonseca²

RESUMO – O artigo descreve uma actividade experimental direccionada para os alunos da disciplina de Ciências Naturais do 3º ciclo do ensino básico (7º ano) ou para a disciplina de Geologia do ensino secundário (12º ano). A actividade experimental descrita deverá ser incluída, respectivamente, nos temas *Mundos: Terra em Transformação* (Ministério da Educação, 2001) ou *Tectónica de Placas: Um Modelo Unificador* (Ministério da Educação, 1995a) e, com ela, pretende-se que os alunos adquiram os conhecimentos científicos referentes aos conceitos de Tectónica de Placas, zona de subducção, deformação, falhas e dobras, com base numa Aprendizagem por Descoberta Orientada (Ausubel et al., 1980). O artigo contém directrizes para o professor e uma análise da estratégia em termos de construção da Ciência — com maior incidência nas dimensões Epistemológica e Histórica — e dos processos de aprendizagem, relativamente à abordagem sociológica de Bernstein (1990).

Palavras-chave: Tectónica experimental, Simulação dinâmica da Terra, Tectónica de placas, Falhas, Dobras, Cordilheira dos Andes, Processos de aprendizagem, Estratégias de construção científica.

ABSTRACT - The paper describes an experimental tectonics that could involve students from the 3rd grade of Basic degree of Natural Sciences and/or Secondary School Geology class. The experimental tectonics that we illustrate therein must be included in the simulation phenomena of *Dynamic Earth* (Ministério da Educação, 2001) or *Plate Tectonics: Integrated Modeling* (Ministério da Educação, 1995a). The aim of the experiments is display to the students the generation of the tectonic structures, like faults and folds, associated at the Plate Tectonics mechanism, and subduction zones, based on *Oriented Study and Discover* (Ausubel et al., 1980). The other purpose of this paper is present some information for teachers based on strategies and analysis of Science Building — with a major relevance in Epistemological and Historical dimension. It is also included some ideas about learning processes associated at sociological approach (Bernstein, 1990).

Key Words: Experimental tectonics, Simulation of dynamic Earth, Plate tectonics, Faults, Folds, Andes mountain range, Learning processes, Strategies of science building.

“Si l’Astrophysique est la Science de l’incommensurable dans l’espace, la Géologie est la Science de l’incommensurable dans le temps. (...) La reduction d’échelle entraîne une reduction de la dimension temps.”
(André Prost, 1999)

“La leçon la plus évidente des pierres terrestres est que nous vivons sur une planète qui n’a jamais cesse de changer au fil des millions d’années”
(Maurice Mattauer, 1998)

¹ Estudantes da Licenciatura em Ensino da Biologia e da Geologia – variante de Biologia, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Portugal.

² Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa / LATTEX – Laboratório de Tectonofísica e Tectónica Experimental, Ed. C2, 5º Piso. 1749-016 Lisboa. Portugal.

Autor para correspondência: Paulo Emanuel Fonseca, Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Ed. C2, 5º Piso. 1749-016 Lisboa. Portugal. E-mail: gpetfons@fc.ul.pt

1. INTRODUÇÃO

O trabalho que seguidamente se apresenta foi produto de um estudo colectivo e cooperativo realizado, na sala de aula, no âmbito da disciplina de Metodologia da Geologia do 4º ano da Licenciatura em Ensino da Biologia e Geologia (variante de Geologia), ministrado no Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

A actividade experimental que se descreve tem a vantagem de poder ser facilmente adaptada, consoante o seu objectivo último, para mais do que um ano de escolaridade. Os princípios subjacentes à sua realização são amplos e unificadores, abrangendo qualquer área científica, diferentes grupos de alunos e diferentes assuntos que já se conheça ou que se esteja a pesquisar, tendo em linha de conta uma perspectiva de *Ensino por Descoberta* (Cachapuz et al., 2001). Ainda, segundo Domingos et al. (1987), o "*Laboratório deve constituir um dos fulcros de uma Ciência...*". No caso das Geociências, o "laboratório" mais importante é, neste contexto, o campo. Porém, devido às dimensões (e/ou escala) do que por vezes se quer observar e explicar, tem grande vantagem a utilização da tectónica experimental e de materiais analógicos. Além disso, o crescente interesse da investigação educativa do Trabalho Laboratorial na Educação alicerçada numa perspectiva epistemológica (centrada essencialmente, segundo Hodson (1994), na aprendizagem da Ciência, na aprendizagem sobre a natureza da Ciência e na prática da Ciência) encontra-se na preocupação de muitos autores (e.g., Hodson, 1992; 1994; Praia & Cachapuz, 1994; Praia, 1995, 2001; Praia & Marques, 1997; Marques et al., 2001)

Em Geologia, o princípio da realização de experiências que permitam conhecer melhor o nosso Planeta e os processos físicos nele intervenientes reside na elaboração de modelos reduzidos, ou seja, na redução da dimensão real, que corresponderá, necessariamente, a uma redução temporal (Prost, 1999). Ao longo do tempo, como fruto do estudo e da imaginação dos

cientistas, foram surgindo experiências fáceis, simples e pouco dispendiosas que podem ajudar a simular a Terra, a fim de entender melhor a sua história e o seu funcionamento nos princípios físicos mais elementares (Prost, 1999). Embora estes pressupostos sejam importantes, há que não esquecer outros também fundamentais: o envolvimento dos alunos em todos os passos do inquérito científico, desde a possibilidade de formular problemas e hipóteses, de planear experiências, de executar as experiências e interpretar resultados, culminando numa discussão geral globalizante (Domingos et al., 1987). Deste modo, uma actividade idealizada com pendor investigativo destina-se a proporcionar uma aprendizagem significativa e não apenas um trabalho mecânico e pouco profícuo.

Dado o grau de abertura de certas experiências, e dada a possibilidade de se realizarem abordagens diferentes, o professor deverá ter a capacidade para, em conjunto com os alunos, discutir os resultados e criticá-los, sem nunca os ignorar. Esta experiência, por estar dependente de algumas variáveis (como a humidade do ar, a força aplicada na placa móvel, a espessura das camadas...), deve ser observada e analisada como se fosse executada a primeira vez, uma vez que é difícil obter sempre os mesmos resultados (em todo o seu pormenor); contudo, espera-se que ocorra sempre a formação de falhas inversas e dobras. Para além disso convém não esquecer que o professor deve realizar sempre a experiência antes de a apresentar à turma, de modo a ter uma perspectiva dos resultados que poderão ser obtidos e, também, de verificar se estão de acordo ou não, com os objectivos a alcançar.

Esta actividade experimental, por abordar um assunto que implica conhecimentos anteriores e que, por si só, já tem inerente um certo grau de exigência, torna-se preferencialmente adequada ao 12º ano de escolaridade, no âmbito da disciplina de Geologia no início do estudo das deformações da crosta terrestre. O professor deve aproveitar esta actividade para introduzir também o estudo da formação de montanhas (orogénese

e zonas de subducção), atribuindo-lhe desta forma um maior significado no processo de ensino-aprendizagem. No entanto, também se pode enquadrar nas matérias leccionadas no 7º ano de escolaridade (cf. Praia, 2001), nos conteúdos científicos referentes à ocorrência de fenómenos sísmicos — associados a processos de subducção — para além de constituir um interessante e, porventura eficaz, instrumento de motivação dos alunos. É de extrema importância que, antes e durante a experiência, os problemas de escala sejam objecto de discussão. O professor deve referir (e salientar) que a escala de observação durante a realização da experiência é muitíssimo reduzida, tendo como comparação a geração de uma Cadeia de Montanhas (como o caso dos Andes).

Com esta actividade experimental, o professor está a permitir que os alunos pensem no Planeta Terra como um todo (dinâmico), estabelecendo relações de uns acontecimentos com outros e medindo as consequências destes. Para atingir tal objectivo, sugere-se que seja colocado, pelo professor, um problema relativo à geração da Cadeia Montanhosa dos Andes para o qual os alunos devem formular hipóteses. É com o intuito de testarem a hipótese formulada e de interpretarem os resultados obtidos, que os alunos realizam a actividade experimental. Esta situação leva a que os alunos sejam confrontados, de uma forma mais concreta, com a realidade e que estabeleçam mais facilmente relações entre a ocorrência de vários fenómenos como o movimento das placas e a formação de dobras e falhas; o choque de placas; a geração de zonas de subducção; e a formação de cadeias montanhosas. Mais uma vez, durante esta discussão, que se deseja participada pelos alunos, devem ser referidos os vários problemas de escala em que se vão fazer as observações. No entanto, deve chamar-se à atenção que na natureza, muitas vezes, os factores de autossemelhança são uma realidade e que dobras e/ou falhas de pequena escala, podem ocorrer inseridas em estruturas semelhantes, mas de maior escala. Em termos

de disposição na sala, os alunos deverão ocupar duas filas de carteiras paralelas, estando o dispositivo da experiência entre elas, de modo a que todos acompanhem de perto as mudanças que irão ocorrendo.

Para além dos conhecimentos científicos envolvidos, esta actividade aplica vários princípios didácticos. No que diz respeito ao processo de *Construção da Ciência* considerou-se a proposta de Ausubel et al. (1980), que distingue as dimensões epistemológica, psicológica, histórica e sociológica. Nesta actividade, deu-se maior relevância a duas das dimensões referidas: a dimensão filosófica e a dimensão histórica. Sob o ponto de vista da aprendizagem dos alunos, a estratégia é baseada na teoria de discurso pedagógico de Bernstein (cf. Bernstein, 1990; Domingos et al., 1986), particularmente nos seus conceitos de classificação e enquadramento (relações de poder e controlo na sala de aula). Segundo Cachapuz et al. (2001) a perspectiva de ensino-aprendizagem integra-se no *Ensino por Descoberta*, que no caso das Ciências da Terra parece ser uma boa estratégia.

2. ACTIVIDADE EXPERIMENTAL

O professor deverá iniciar a actividade por relembrar aos alunos o que aprenderam em aulas anteriores, iniciando um discurso semelhante ao que se apresenta de seguida.

Para os alunos:

Nas aulas anteriores estudaram as placas litosféricas e nesse âmbito aprenderam que as placas podem deslocar-se relativamente às adjacentes de três maneiras possíveis: (1) as placas deslocam-se afastando-se uma da outra — denominadas placas de fronteira divergente; (2) as placas deslocam-se na direcção uma da outra e colidem — denominadas placas de fronteira convergente; e (3) as placas deslocam-se horizontalmente uma em relação à outra — designada de placas com fronteiras transformantes.

Nesta aula ir-se-á estudar um caso concreto de placas convergentes, onde a convergência ocorre entre uma placa continental e uma placa oceânica: a placa Sul-americana e a placa Nazca, respectivamente. A *Cadeia Montanhosa dos Andes* marca a fronteira de convergência entre as duas placas (Figura 1, Estampa 1). O processo de convergência é sublinhado pelo consumir da placa oceânica sob a placa continental, definindo assim uma zona de subducção ou de mergulho da placa de Nazca sob a Placa Sul-Americana. A esta zona de subducção, também chamada de zona de Benioff, estão associadas, geralmente, cadeias de montanhas, algumas das quais com vulcanismo activo.

Quando ocorre a colisão entre a placa continental Sul-Americana e a placa oceânica Nazca, o que acontece ao nível da deformação das rochas da litosfera, ou seja, como se deformam as rochas dos Andes? Como se gera e se eleva a Cadeia de Montanhas?

Para responder a este problema, pretende-se que os alunos formulem uma hipótese semelhante a: “*as rochas, ao estarem sujeitas a forças compressivas (colisionais), são comprimidas e, por isso, dobram-se, e elevam-se, formando a Cadeia de Montanhas dos Andes*”. Os alunos poderão ainda referir a formação de falhas, uma vez que este conhecimento já foi abordado em anos anteriores, nomeadamente nos 7º e 10º anos de escolaridade (Ministério da Educação, 1995a,b; Praia, 2001).

Uma das actividades experimentais que pode ser realizada para estudar o problema apresentado, é a que se segue. Os alunos irão realizá-la de acordo com o protocolo experimental que se apresenta de seguida.

2.1. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Na sala de aula, o trabalho só se inicia a partir da etapa B5 do Protocolo, o que implica que o professor leve para a aula o dispositivo já montado. A actividade experimental deve realizar-se apenas com um dispositivo por turma e com a participação directa de, pelo menos, dois alunos.

Material

Caixa de acrílico transparente (*plexiglass* - Figura 2; Estampa 1); constituída por 8 placas (de 3 mm) com as seguintes dimensões:

- Placas 1 e 3 – 20 cm de largura e 60 cm de comprimento;
- Placa 4 – 14 cm de largura e 60 cm de comprimento;
- Placa 2 – 14 cm de largura e 3 cm de comprimento;
- Placas 5, 6 e 8 – 14 cm de largura e 20 cm de altura;
- Placa 7 – 10 cm de largura e 14 cm de altura;
- Folha de acetato com as seguintes dimensões: 13,8 cm x 29,6 cm;
- Folha de acetato com as seguintes dimensões: 13,8 cm x 90 cm;
- Areia fina e o mais pura possível (*e.g.*: areia de estucador);
- Pó de betume de duas cores diferentes;
- Régua;
- Fita adesiva transparente;
- X-acto;
- Colher ou espátula;
- Pincel;
- Parafusos e chave de fendas;
- Berbequim.

Procedimento

A- Construção do Dispositivo (Caixa de acrílico com acetato(s)).

Para a realização desta experiência utiliza-se uma caixa de acrílico (*plexiglass*) transparente constituído por oito placas de acrílico (Figura 2; Estampa 1) que tem as seguintes dimensões: 60 cm x 14 cm x 20 cm.

Para construir essa caixa proceda do seguinte modo: comece por aparafusar a placa número 1 à placa 4 (fazendo os furos com o auxílio de um berbequim); de seguida aparafuse a placa número 5 às duas placas anteriores, tendo o cuidado de deixar cerca de 1mm entre as placas 4 e 5. Depois aparafuse a placa 3 às placas 4 e 5 (Figuras 4 e 5; Estampa 2). Para a construção da placa móvel, comece por aparafusar as

placas 6 e 8 e, por fim aparafuse a placa 7 tal como se pode observar na Figura 3 (Estampa 1).

A estrutura móvel (Figura 3; Estampa 1) é depois colocada na extremidade oposta à da placa 5 da caixa de acrílico. Coloque ainda a placa 2 entre as placas 1 e 3, de modo a suportá-las. Passe a folha de acetato de maiores dimensões pela ranhura entre as placas 4 e 5, colando-a à estrutura móvel (é esta folha de acetato que irá representar — materializar — a zona de subducção). Por último, cola-se uma das extremidades da folha de acetato à placa 5 e a outra extremidade faça passar pela ranhura para o interior da caixa (de modo a ficarem cerca de 22 cm de acetato no interior).

B- Realização da Actividade

1. Após a construção do dispositivo (Figura 6, Estampa 2), comece por dispor uma camada, com cerca de 0,5 cm, de pó de betume colorido no fundo da caixa, sobre o acetato (Figura 7, Estampa 2).

2. Antes de colocar a camada seguinte, tenha o cuidado de (a) limpar as paredes da caixa de acrílico com um pincel (Figura 8, Estampa 2), para que não haja a mistura de cores das diferentes camadas, e (b) premir com uma régua as margens da camada, de modo a que estas fiquem com uma espessura uniforme (Figura 9, Estampa 3).

3. Coloque de seguida uma camada de areia branca, com todo o cuidado para que o pó da camada de baixo não se misture com a areia (Figura 10, Estampa 3). A espessura da camada deve ter também cerca de 0,5 cm.

4. Vá dispondo alternadamente as camadas de pó (devendo este ter cores diferentes) e de areia, repetindo os passos anteriores. No fim, a altura de todas as camadas deve ser aproximada de 5 cm (Figuras 11 e 12, Estampa 3). Neste ponto pode-se enunciar o Princípio da Sobreposição das Camadas.

5. Finalmente, após a montagem do modelo acima descrito, puxa-se cuidadosamente a folha de acetato junto à placa 5, enquanto outra pessoa ajudará

nesse movimento, ao empurrar a estrutura móvel até ao limite definido pela folha de acetato pequena. (*Nota:* Antes de se iniciar a execução desta etapa, o professor deverá discutir com os alunos a finalidade de todas as etapas anteriores).

6. Poderão ser realizadas outras experiências com o mesmo aparato mas com finalidades específicas. Só a título de exemplo, poderá ser utilizado um acetato de menores dimensões no interior da sequência de camadas, com o intuito de criar uma superfície de anisotropia, a ser utilizada por “falhas” de grande envergadura ou flecha, que materializam carreamentos de baixo ângulo e de grande extensão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente as camadas encontravam-se dispostas sub-horizontalmente (Figuras 11 e 12, Estampa 3), constituindo uma série sedimentar. Os alunos deverão recordar-se do *Princípio da Sobreposição*, estudado em aulas passadas, i.e., numa sucessão de estratos não deformados, as camadas mais antigas encontram-se na base da sequência, enquanto as mais recentes encontram-se no topo (*e.g.*, Press & Siever, 1998).

Com a primeira fase de compressão (ou impulso compressivo), começou a formar-se uma pequena curvatura das camadas junto à estrutura móvel, a qual indica o início da formação de uma flexura (de grande raio de curvatura) que irá gerar uma dobra (Figura 13, Estampa 4). Seguidamente, com o continuar da aplicação do movimento compressivo, observou-se o acentuar da forma da dobra (Figura 14, Estampa 4), a qual ficou melhor definida aquando um grau de encurtamento de cerca de 48% (Figura 16, Estampa 4).

Pela observação destes resultados, os alunos deverão compreender em que consiste a geração de uma dobra e que tipos de dobra se observam. O professor poderá explicar que a sequência sedimentar está sujeita a uma pressão diferencial do tipo compressiva, isto é, as forças que estão a ser aplicadas horizontalmente

(representadas pelos deslocamentos da estrutura móvel e da folha de acetato) comprimem o corpo, levando à modificação do seu tamanho e forma — deformação (Price & Cosgrove, 1990). Como resultado dessa deformação, a sequência sedimentar original tornou-se arqueada, ou seja, ocorreu a formação de uma estrutura denominada *dobra*.

O professor deverá referir que os elementos principais da geometria de uma dobra são a *charneira* e os *flancos* (Ramsay & Huber, 1987). A charneira corresponde à zona de máxima curvatura da superfície dobrada e os flancos correspondem às áreas articuladas pela charneira (Figura 15, Estampa 4). Deste modo, os alunos deverão constatar que a primeira dobra que se observa é constituída por várias camadas dobradas e que cada camada dobrada possui uma charneira. Assim, será introduzido também o conceito de *superfície axial* — superfície, planar ou não, que contem todas as charneiras das sucessivas camadas dobradas (Figura 16, Estampa 4).

Por outro lado, a dobra que se observa pode classificar-se quanto à direcção da charneira como *antiforma*, uma vez que a dobra fecha para cima, isto é, a inclinação dos flancos diverge a partir da charneira (Price & Cosgrove, 1990). Também deve ser referido que as camadas sedimentares mais antigas (na base da sequência) se encontram no núcleo da dobra e que, por isso, a dobra é designada de *anticlinal*. A dobra denomina-se, por isso, de antiforma anticlinal (conceito de polaridade sedimentar e tectónica).

Deverá ser referido que todo os fenómenos de dobramento estão intimamente na dependência do acetato que “flui” pela ranhura da caixa de acrílico. Neste ponto será feita a descrição da zona de subducção e do correspondente enrugamento das camadas sobrejacentes — orogénese ou geração da Cadeia de Montanhas.

Entretanto, durante a aplicação do movimento compressivo, começaram a surgir estruturas frágeis no material, geralmente falhas inversas, nas zonas

superiores do empilhamento de sedimentos, enquanto nas zonas mais profundas prevalecem as dobras. Com o continuar deste processo, o professor deve chamar a atenção dos alunos para a formação discreta de pequenas falhas normais (Figura 17, Estampa 5) nas regiões de “sombra” da compressão, isto é, em pequenas regiões onde ocorre distensão.

Os alunos deverão agora perceber que uma falha consiste num plano de anisotropia planar, ao longo do qual as camadas foram deslocadas (onde há movimento), geralmente numa direcção paralela ao plano onde ocorreu a falha (Price & Cosgrove, 1990). A grande maioria das falhas que se observam são *inversas* — o bloco acima do plano de falha desloca-se subindo ao longo daquele, contrariando a força da gravidade (Figura 18, Estampa 5). A eventual ocorrência de uma *falha normal*, que pode surgir em regime compressivo, é devida ao basculamento interno dos blocos por falta de espaço (Figura 19, Estampa 5), ou à geração de uma zona de sombra onde localmente se faz sentir alguma distensão.

Os alunos deverão compreender que, “*num mesmo episódio de deformação, as falhas produzem-se normalmente segundo famílias de acidentes com atitudes diferentes (principalmente sentido de inclinação), que se dizem contemporâneas por serem geradas mais ou menos em simultâneo*” (Price & Cosgrove, 1990), formando um *sistema de falhas*. Por outro lado, esse sistema de falhas inversas do mesmo tipo, mas com sentidos de deslocamento opostos, acaba por delimitar um bloco sobrelevado, denominado ‘*horst*’ (Figuras 20 e 21, Estampas 5 e 6).

Outro aspecto verificado ao longo da execução da experiência é o aumento da espessura das camadas de pó nas zonas de charneira das dobras e, também, nas zonas dos flancos menos inclinados. Em contrapartida, nas zonas de estiramento, nota-se uma diminuição da espessura das camadas em relação à espessura inicial. Por sua vez, as camadas de areia apresentam uma redução da sua espessura, tendo mesmo desaparecido

em alguns locais (Figura 17, Estampa 5).

Em relação ao espessamento das camadas de pó, esse poderá ser justificado pelo preenchimento do espaço deixado vago pelo rolamento (rolamento interno) das partículas de areia. As camadas de pó têm um comportamento particular (mais de carácter frágil — susceptível ao aparecimento de falhas), comportando-se como um corpo único, pelo que não se considera haver rolamento das partículas constituintes (não se formam espaços entre estas). Em contrapartida as camadas de areia, que manifestam um comportamento diferente, apresentam rolamento das partículas, o que determina que em domínio compressivo fiquem adelgadas.

Finalmente, e ainda no que se refere aos resultados, as dobras ocorreram nas camadas inferiores, enquanto as falhas se verificaram nas camadas superiores (Figura 17, Estampa 5). De um modo análogo, na Natureza verifica-se que as dobras aparecem preferencialmente em níveis estruturais inferiores, onde o material é mais dúctil e, por outro lado, as falhas ocorrem normalmente à superfície, onde o material é frágil (Mattauer, 1973, 1998). No caso concreto da experiência, as falhas ocorrem à superfície como consequência da impossibilidade do material em acompanhar o dobramento. Nesta actividade as camadas de areia representam o material dúctil, que é aquele que está sujeito a pressões e a temperaturas elevadas, em zonas confinadas da crosta terrestre e, por isso, é facilmente deformável, sem sofrer ruptura (Ghosh, 1993). Por sua vez, as camadas de pó representam o material frágil, que é aquele que não suporta uma deformação permanente e, por isso, fractura (ruptura) quando se atinge, e é ultrapassado, o seu limite de elasticidade (Ghosh, 1993).

No final da análise dos resultados e respectiva discussão sobre os mesmos, os alunos deverão agora ser capazes de responder ao problema inicialmente apresentado: *“Quando ocorre a colisão entre a placa continental Sul-americana e a placa oceânica Nazca — e onde existe um fenómeno de subducção, o que acontece*

ao nível da deformação das rochas da litosfera, ou seja, como se deformam as rochas dos Andes?”. Assim, a resposta a este problema deverá ser semelhante a: *“Devido ao choque das placas em domínio compressivo, e ao mergulho da camada oceânica mais densa sob a placa continental, menos densa, e mais quente, ocorre a formação de dobras, sobretudo nas camadas inferiores, e a formação de falhas, sobretudo nas camadas superiores”*. Neste momento, os alunos deverão ser capazes de apoiar ou refutar a(s) hipótese(s) formulada(s) inicialmente.

De seguida o professor poderá entregar aos alunos a perspectiva histórica deste tipo de actividades, através do texto *“Mantém-te historicamente informado!”*. Com a análise e discussão deste texto os alunos deverão compreender o contributo das diferentes publicações científicas, para a construção do conhecimento científico referente à deformação das rochas da litosfera.

“Mantém-te historicamente informado!”

Desde o início do século XIX que os cientistas têm tentado realizar experiências de laboratório sobre o comportamento dos corpos rochosos perante diversas condições de esforços (Hall, citado em Sitter, 1962). A maioria destas experiências procuravam simular perturbações tectónicas, tais como dobras, falhas ou até diaclases, com a finalidade de inferir a história de todo o processo. Contudo, estas primeiras tentativas tinham um campo de aplicação muito limitado.

As experiências tectónicas, tal como outras que se processem a uma escala reduzida, não permitem uma reprodução exacta dos fenómenos que ocorrem na Natureza. A maioria das experiências simuladoras de dobras eram feitas em caixas rectangulares, com um dos lados actuando como bloco móvel e o outro como apoio. Um dos primeiros investigadores a fazê-lo foi Bailey Willis, em 1893, obtendo resultados como os que se apresentam na Figura 22 (Estampa 6).

No entanto, continuava a haver uma extrema

dificuldade de conseguir uma similaridade mecânica com o modelo à escala. King Hubbert, em 1937, dedicou-se à investigação de como se poderiam fazer modelos à escala reduzida que fossem representativos da realidade. Este investigador estipulou que, para além da redução da escala de tempo e de tamanho, o material a usar deveria ser passível de se deformar num intervalo de tempo reduzido sendo capaz de originar dobras ou falhas. O material a usar é, então, também ele dotado de propriedades reduzidas, devendo ter propriedades dúcteis e ao mesmo tempo de viscosidade. Para gerar falhas, a viscosidade já não é tão importante e o material a usar é mais fácil de encontrar, razão pela qual a maioria das experiências de falhas se aproxima mais da realidade do que as experiências de dobras.

No que diz respeito ao caso concreto das falhas, estas foram imitadas com êxito por muitos investigadores, entre os quais o mais eminente foi H. Cloos (em 1930 e 1932). As dobras, também foram reproduzidas já há muitos anos; no entanto não é fácil reproduzir as várias combinações de dobras típicas do dobramento normal na Natureza.

Com o passar dos anos muitas mais experiências e investigações foram feitas, com resultados diferentes e com conclusões diferentes. O importante é que o prazer pela descoberta seja perpetuado e que quer os cientistas, quer os professores, quer tu, como aluno, continuemos a trilhar o nosso caminho do saber e da compreensão do mundo que nos rodeia". [fonte: adaptado de Sitter, 1962]

4. ANÁLISE CIENTÍFICO-DIDÁCTICA DA ACTIVIDADE EXPERIMENTAL

A análise científico-didáctica da actividade será realizada quer do ponto de vista da construção da Ciência (epistemológico), quer do ponto de vista sociológico da aprendizagem. Em relação à vertente epistemológica, será abordada, fundamentalmente, a noção de construção de Ciência proposta por Ausubel et

al. (1980). Quanto à sociologia da aprendizagem, a análise será baseada na teoria do discurso pedagógico de Bernstein (Morais & Neves 2001).

4.1. ANÁLISE DO PONTO DE VISTA DA CONSTRUÇÃO DA CIÊNCIA

De acordo com Ausubel et al. (1980), a Ciência tem que ser encarada nas suas múltiplas dimensões metacientíficas: epistemológica (visão internalista da Ciência), psicológica, histórica e sociológica (interna e externa). A actividade pretende dar ênfase às dimensões filosófica e histórica do processo de construção da Ciência, proporcionando aos alunos a possibilidade de desenvolverem competências do domínio do conhecimento epistemológico, substantivo e processual, de raciocínio e de comunicação (Galvão et al., 2000).

A dimensão epistemológica da Ciência refere-se à metodologia usada na investigação científica. Nesta actividade está evidenciada porque os alunos têm que formular uma hipótese, a partir de um problema científico, interpretar resultados experimentais e tirar conclusões, para que, a partir daí, consigam construir conceitos e testar a hipótese anteriormente colocada.

A dimensão histórica da Ciência tem em consideração que esta evolui "segundo uma sequência interligada de publicações de investigação" (Ausubel et al., 1980). Esta estratégia inclui o texto "Mantém-te historicamente informado!", no qual os alunos compreenderão a importância das publicações científicas para a construção do conhecimento, ao longo do tempo. Além disso, os alunos também compreenderão que sempre foram feitas investigações para se compreender melhor a realidade.

4.2. ANÁLISE DO PONTO DE VISTA DA SOCIOLOGIA DA APRENDIZAGEM

A prática pedagógica que se realiza no contexto da sala de aula determina uma relação particular entre professor-aluno e entre aluno-aluno. De acordo com a teoria do discurso pedagógico de Bernstein (Morais &

Neves, 2001), os contextos pedagógicos são definidos por relações específicas de controlo e poder entre os sujeitos, discursos e espaços (categorias).

O poder define-se em termos de classificação e relaciona-se com as fronteiras que se estabelecem entre as várias categorias. A classificação é forte quando há uma nítida separação entre categorias e é fraca quando há um esbatimento das fronteiras. O controlo define-se em termos de enquadramento e refere-se à comunicação que se estabelece entre as categorias. O enquadramento será mais forte quando as categorias superiores, como o professor, têm todo o controlo sobre as categorias inferiores, como os alunos (Domingos et al., 1986). A classificação e o enquadramento podem variar de acordo com diferentes graus de poder e controlo nas relações entre as categorias.

A actividade experimental apresentada irá ser caracterizada de acordo com os aspectos da teoria do discurso pedagógico de Bernstein, referidos anteriormente. Em termos de *classificações*, no que se refere aos *espaços* da sala de aula, pode referir-se que as fronteiras que se estabelecem entre *professor-aluno* e *aluno-aluno* têm uma classificação fraca, dado que à medida que ocorre a actividade experimental, o professor circula por toda a sala; e, como as mesas estão dispostas em duas filas paralelas, com o dispositivo entre elas, todos os alunos têm a possibilidade de acompanhar a participação dos outros alunos e o decorrer dos resultados. No entanto, esta classificação é fortalecida, porque os alunos não estão a trabalhar em grupo, não partilham qualquer tipo de material e apenas dois alunos intervêm directamente na realização da experiência.

Em relação aos sujeitos que intervêm na actividade, consideraram-se as fronteiras entre professor-aluno e aluno-aluno. As fronteiras que se estabelecem entre professor-aluno possuem uma classificação forte, uma vez que o professor se distingue dos alunos dado que é ele quem determina a prática pedagógica a seguir. Pelo contrário, as fronteiras entre

aluno-aluno têm uma classificação fraca, porque todos os alunos devem intervir na discussão que se gera pela interpretação dos resultados.

No que diz respeito ao *enquadramento*, caracterizaram-se as relações entre *professor-aluno*, nas regras discursivas e hierárquicas. No que se refere às regras discursivas — *selecção, sequência, ritmagem e critérios de avaliação* —, todas elas têm um enquadramento forte, respectivamente, pelas seguintes razões: (a) a actividade está estruturada com base nos conteúdos seleccionados pelo professor; (b) os resultados obtidos durante a actividade seguem uma determinada sequência definida pelo professor, na qual os alunos não podem intervir; (c) o professor estabelece que a actividade se destina a um determinado número de aulas e, por isso, o ritmo do aluno é controlado; e (d) ao longo de toda a actividade, o aluno vai sendo orientado para produzir o texto legítimo pretendido. Em relação às regras hierárquicas, estas têm um enquadramento fraco porque os alunos podem interagir, dando a sua opinião e assumindo diversas posturas durante a discussão dos resultados obtidos.

5. CONCLUSÕES E CRÍTICAS

Considera-se que a experiência apresentada é exequível (quando comparada com outras que, por vezes, se encontram nos manuais escolares) e, por isso, constitui um instrumento útil e possível de utilizar na sala de aula.

No que diz respeito aos resultados experimentais, esses permitem a compreensão, pelos alunos, dos conceitos de tectónica de placas, zona de subducção, falha normal, falha inversa, dobra, 'horst' e andar estrutural. No entanto, tem-se consciência de que os resultados obtidos noutra ensaio poderiam ser ligeiramente diferentes, caso a espessura das camadas variasse significativamente ou a percentagem de humidade na sala fosse elevada.

Tanto o fundo da caixa, como as paredes laterais favorecem o atrito perante o bloco móvel que vai

determinar que as dobras se comecem a verificar junto ao bloco móvel e só depois, quando a primeira dobra atinge o seu limite é que outra dobra começa a ocorrer. Sabe-se que não é isso que acontece na Natureza, uma vez que aí a extensão lateral de dobramento é muito maior e a influência da fricção é muito menor ou praticamente não existe, determinando que um cinturão de falhas se desenrole simultaneamente. Os factores tempo e escala não são estranhos a esta diferenciação. Se fosse possível lubrificar o fundo e as paredes da caixa poder-se-ia ter diminuído algum atrito, mas continuaria a não ser eliminado esse erro fundamental (Sitter, 1962).

Outra dificuldade que surgiu está relacionada com a pressão exterior. A prega inicial tende a elevar-se muito mais do que as dobras naturais, pelo que também aí a simulação não é inteiramente fidedigna (Sitter, 1962). A forma de um anticlinal natural está também influenciada pela gravidade, que o impede de crescer indefinidamente para cima. Na simulação, a dobra também deverá quebrar-se, caso seja demasiado elevada. No entanto, o que aconteceu é que, embora o material fosse suficientemente dúctil para não permitir que se originasse um vazio no interior da dobra, não dobrou no seu núcleo, comprimindo-se simplesmente.

Existem ainda outras dificuldades de resolução complexa. Assim, ao nível desta experiência, ainda que a areia e o pó de betume desempenhem o papel de materiais analógicos, propícios ao desenvolvimento de falhas e dobras, não serão os materiais ideais; mas são, sem dúvida, matérias acessíveis e fáceis de utilizar com resultados considerados muito satisfatórios.

AGRADECIMENTOS

São devidos agradecimentos à Professora Ana Morais (Departamento de Educação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa), todas as sugestões feitas a uma primeira versão do manuscrito, e à Margarida Vidinha pelo tratamento gráfico da representação esquemática da caixa de acrílico. À

Doutora Clara Vasconcelos (Universidade do Porto) pela cedência de alguma bibliografia especializada e ao Doutor Helder I. Chaminé (Universidade de Aveiro) pelos vários comentários construtivos ao manuscrito, os autores expressam, de igual modo, o seu agradecimento.

Os autores agradecem, ainda, ao Professor João Praia (Universidade do Porto) e ao Professor A. A. Soares de Andrade (Universidade de Aveiro) a revisão crítica minuciosa e as sugestões pertinentes ao manuscrito original.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. & HANESIAN, H. (1980) - *Psicologia Educacional*. 2ª Ed., Interamericana, Rio de Janeiro.
- BERNSTEIN, B. (1990) - *The structuring of pedagogic discourse*. Rutledge, London. 216 pp.
- DOMINGOS [MORAIS], A., NEVES, I. & GALHARDO, L. (1987) - *Uma forma de estruturar o ensino e a aprendizagem*. 3ª ed., Livros Horizonte, Lisboa. 186 pp.
- DOMINGOS [MORAIS], A., NEVES, I. P., BARRADAS, H. & RAINHA, H. (1986) - *A teoria de Bernstein em sociologia da educação*. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa.
- CACHAPUZ, A. F., PRAIA, J. & JORGE, M. P. (2001) - *Perspectivas de ensino*. In: A. F. Cachapuz (Org.), *Textos de Apoio Formação de Professores Ciências. Centro de Estudos de Educação em Ciência (CEEC)*, Porto. 1: 1-77.
- GALVÃO, C., (Coord.), FREIRE, A. M., NEVES, I. & PEREIRA, M. (2000) - *Competências essenciais em ciências no ensino básico*. (<http://www.deb.min-edu.pt/NewForum/ciencias.pdf>)
- GHOSH, S. (1993) - *Structural geology – fundamentals and modern developments*. Pergamon Press, Great Britain. 598 pp.
- HODSON, D. (1992) - *Assessment of practical work. Some considerations in Philosophy Science*. *Science & Education*, 1: 115-144.

- HODSON, D. (1994) - Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratório. *Enseñanza de las Ciências*, 12, 3: 299-313.
- MARQUES, L., PRAIA, J. & VASCONCELOS, C. [coord.] (2001) - *Caderno de actividades laboratoriais — Geologia — Dinâmica externa*. Departamento de Didáctica e Tecnologia, Universidade de Aveiro. 69 pp.
- MATTAUER, M. (1973) - *Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre*. Hermann, Paris. 493 pp.
- MATTAUER, M. (1998) - *Ce que disent les pierres*. Bibliothèque pour La Science, Paris. 144 pp.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, (1995a) - *Ciências da Terra e da vida – Biologia e Geologia – organização curricular e programa*. Ensino Secundário. Imprensa Nacional, Casa da Moeda. Lisboa.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, (1995b) - *Programa Ciências da Natureza—plano de organização de ensino-aprendizagem*. Vol. II. Ensino Básico 3º Ciclo. Imprensa Nacional, Casa da Moeda. Lisboa.
- MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, (2001) - *Ciências Físicas e Naturais – orientações curriculares para o 3º ciclo do ensino básico*. Departamento da Educação Básica, Lisboa. 306 pp.
- MORAIS, A. [DOMINGOS] & NEVES, I. (2001) - Pedagogic social contexts: studies for a sociological of learning. In: A. MORAIS, I. NEVES, B. DAVIES & H. DANIELS, Eds., *Towards a sociology of pedagogy: the contribution of basil Bernstein to research*. Peter Lang, New York.
- PRESS, F. & SIEVER, R. (1998) - *Understanding Earth*. 2th Ed., W. H. Freeman & Company, New York. 480 pp.
- PRAIA, J. (1995) - *Formação de professores no Ensino da Geologia: contributos para uma didáctica fundamentada na epistemologia das ciências. O caso da Deriva Continental*. Universidade de Aveiro. 560 pp. (Tese de Doutoramento).
- PRAIA, J. (2001) - Tectónica de placas: uma perspectiva didáctica – 7º ano de escolaridade. In: A. F. Cachapuz (Org.), *Textos de Apoio Formação de Professores Ciências. Centro de Estudos de Educação em Ciência (CEEC)*, Porto. 3: 1-80.
- PRAIA, J. & CACHAPUZ, A. F. (1994) – Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los Profesores de la Enseñanza Secundária. *Enseñanza de las Ciências*, 12, 3: 350-354.
- PRAIA, J. & MARQUES, L. (1997) - Para uma metodologia do trabalho de campo: contributos da Didáctica da Geologia. *GEOlogos*, Porto, 1: 27-33
- PRICE, N. J. & COSGROVE, J. W. (1990) - *Analysis of geological structures*. Cambridge Press. 502 pp.
- PROST, A. (1999) - *La Terre – 50 expériences pour découvrir notre planète*. Éditions Belin, Paris. 127 p.
- RAMSAY, J. R. & HUBER, M. I. (1987) - *The techniques of modern structural geology*. Vol 2: *Folds and fractures*. Academic Press Limited, London. 700 pp.
- SITTER, L. U. (1962). *Geologia estructural*. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 266 pp.



Figura 1 - Panorâmica de um sector da Cordilheira dos Andes: a segunda maior do planeta Terra.

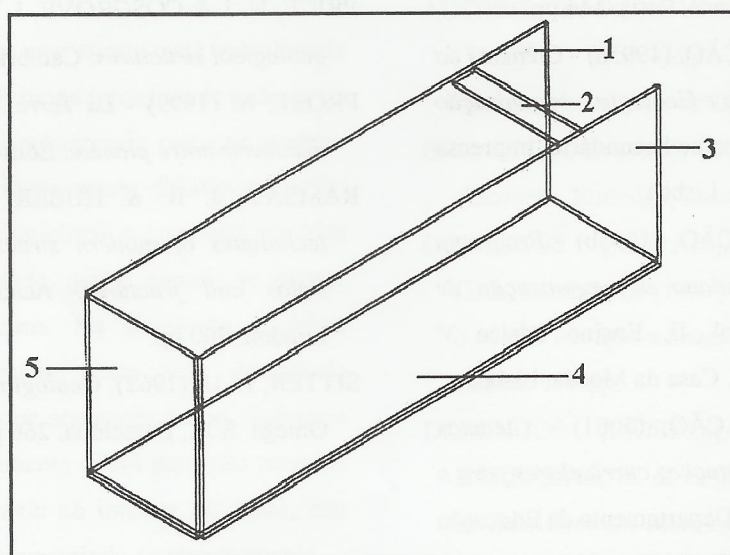


Figura 2 - Representação final da caixa de cisalhamento montada para a experiência.

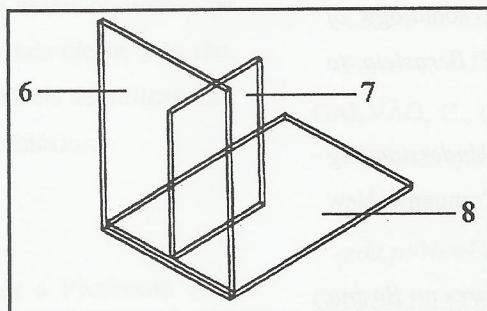


Figura 3 - Representação da estrutura móvel, que “empurra as camadas sedimentares”.

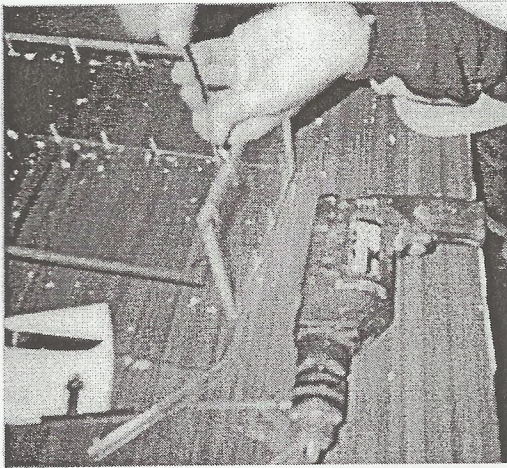


Figura 4 - Um aspecto inicial da montagem das placas de acrílico para elaboração da caixa de deformação.

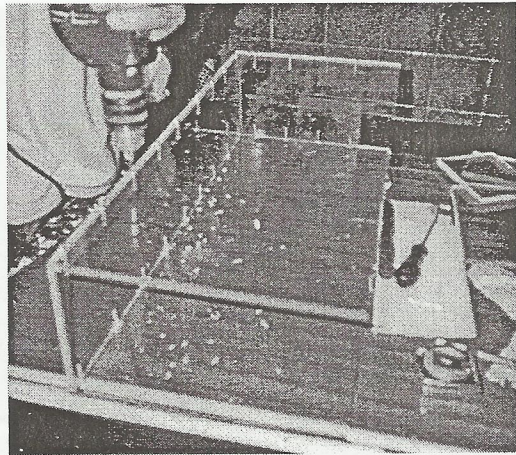


Figura 5 - Outro aspecto: aparafusamento e montagem das placas de acrílico.

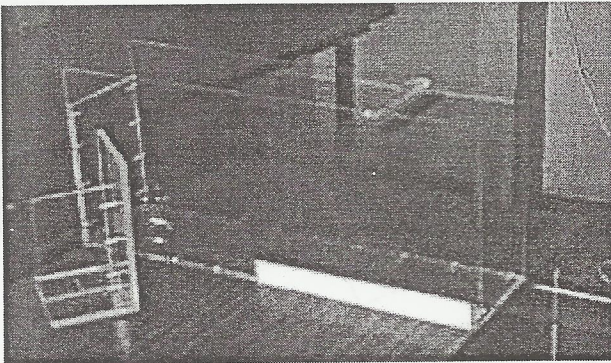


Figura 6 - Aspecto final do dispositivo construído.

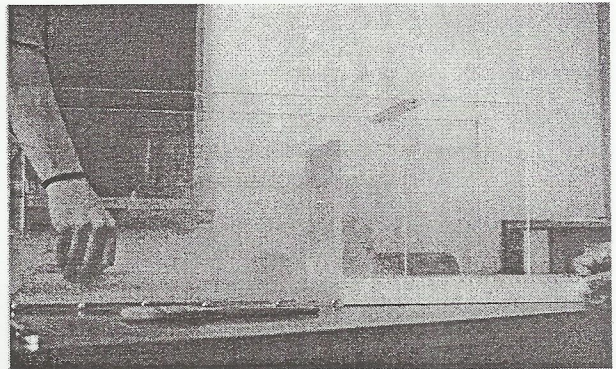


Figura 7 - Colocação da primeira camada de "sedimentos" na caixa de cisalhamento.

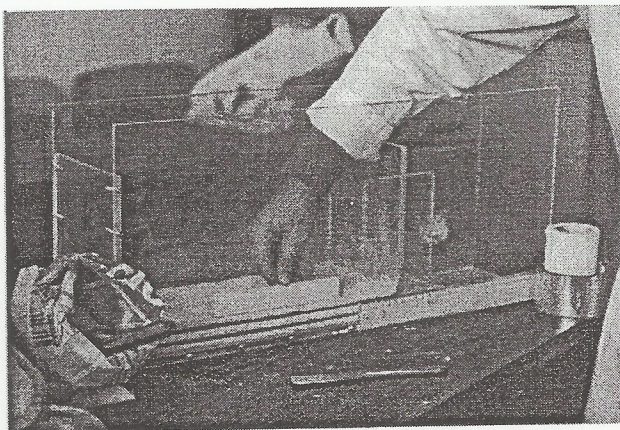


Figura 8 - Uso da régua para premir (compactar) e nivelar as margens da camada.

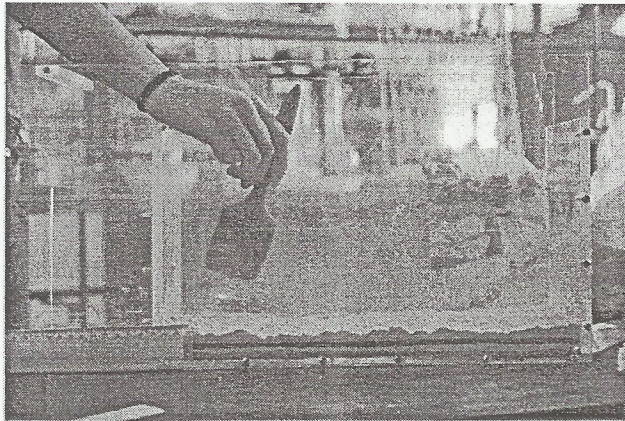


Figura 9 - Utilização do pincel para limpar as paredes da caixa de acrílico.

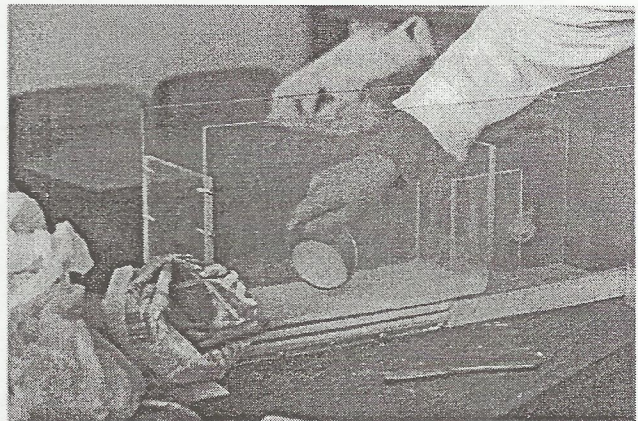


Figura 10 - Colocação de uma camada de areia justaposta sobre as outras.

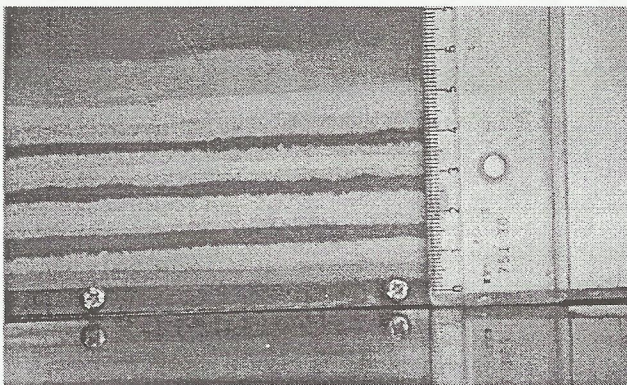
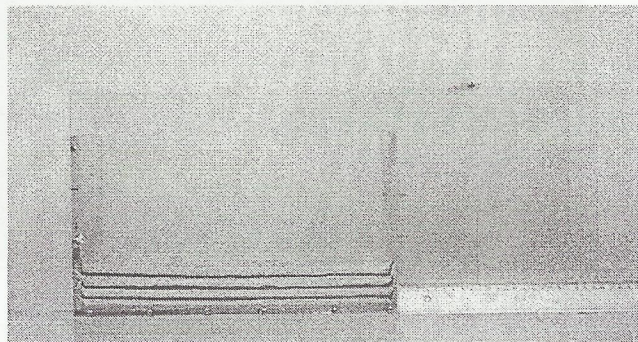


Figura 11 - Espessura do conjunto das diferentes camadas (5 cm).

Figura 12 - Disposição das diferentes camadas.



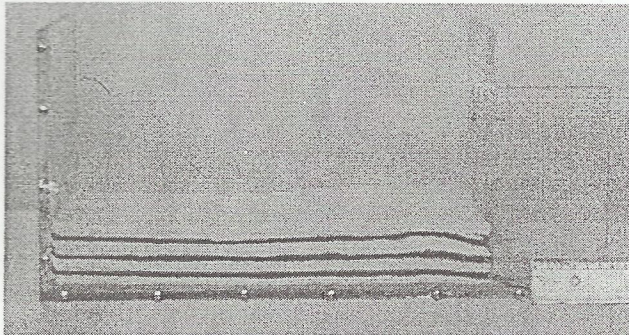


Figura 13 - Com as primeiras fases de compressão, as camadas junto à estrutura móvel começam a curvar provocando a geração de uma flexura.

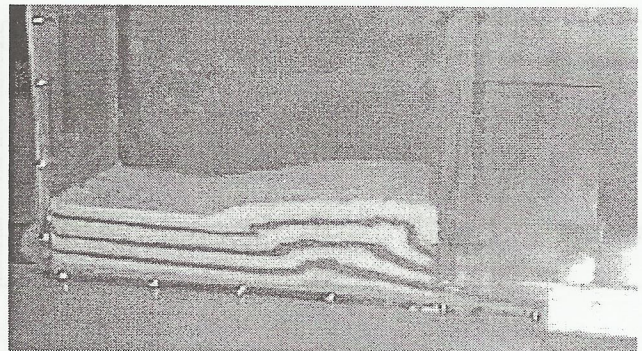


Figura 14 - Aspecto da fase inicial a intermédia de compressão.

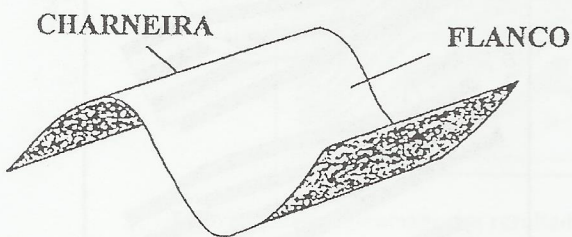


Figura 15 - Esquema representativo da charneira e dos flancos de uma dobra (adaptado de Price & Cosgrove, 1990).

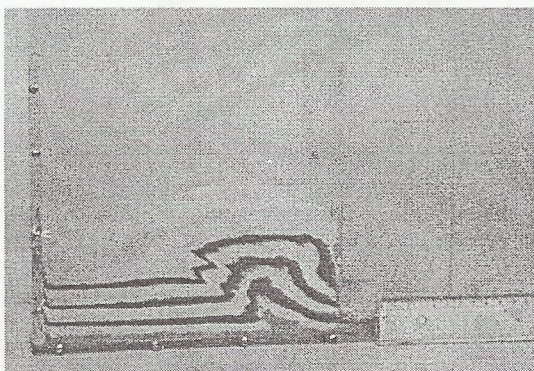


Figura 16 - Representação de um sistema de dobramento imbricado onde é visível o encurtamento de 48%. A imbricação é devida não só ao “empurrar” da estrutura mas principalmente ao “escoamento” da folha de acetato no fundo da caixa — *simulação da zona de subducção*.

Figura 17 - Formação de falhas inversas e aparecimento discreto de uma falha normal, de pequena dimensão (no nível vermelho intermédio).

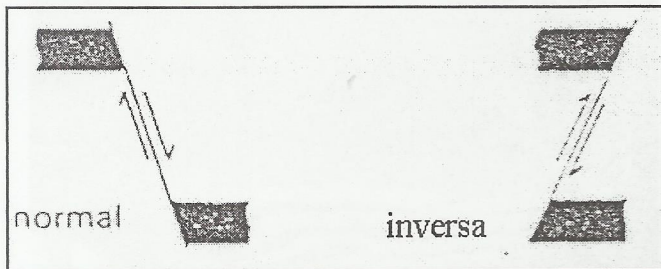
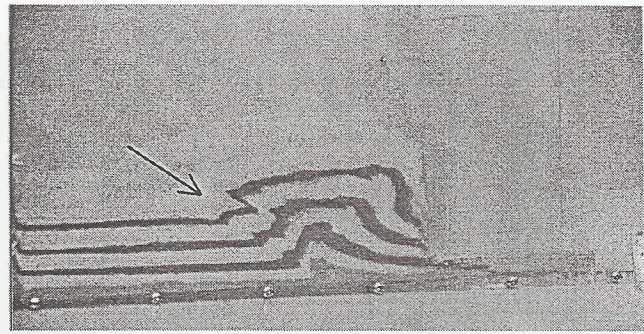


Figura 18 - Esquema representativo dos movimentos das falhas normais e inversas, numa camada.

Figura 19 - Esquema representativo da formação da falhas normais geradas através de basculamento das camadas (adaptado de Ramsay & Huber, 1987).

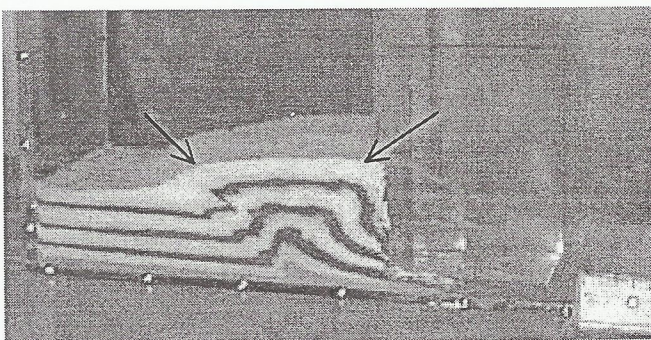
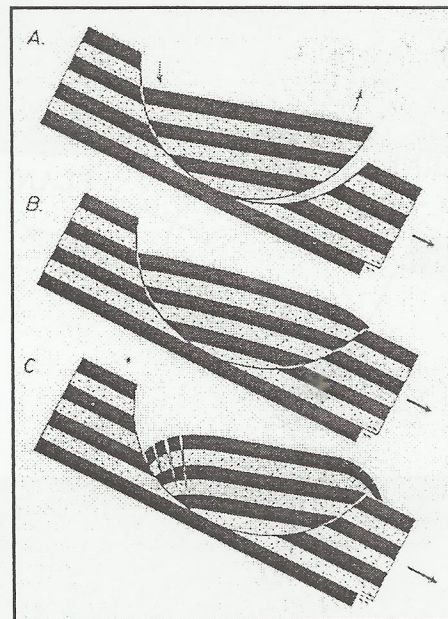


Figura 20 - Observação do sistema de falhas que geram um 'horst' assimétrico.

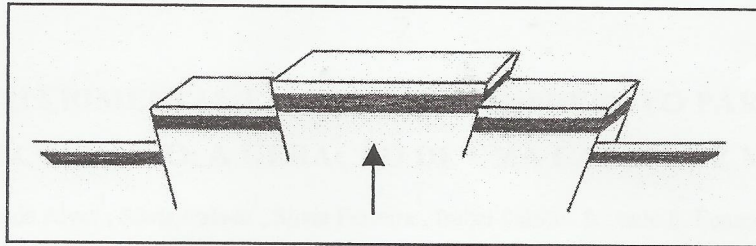


Figura 21 - Esquema representativo da geração de um 'horst'.

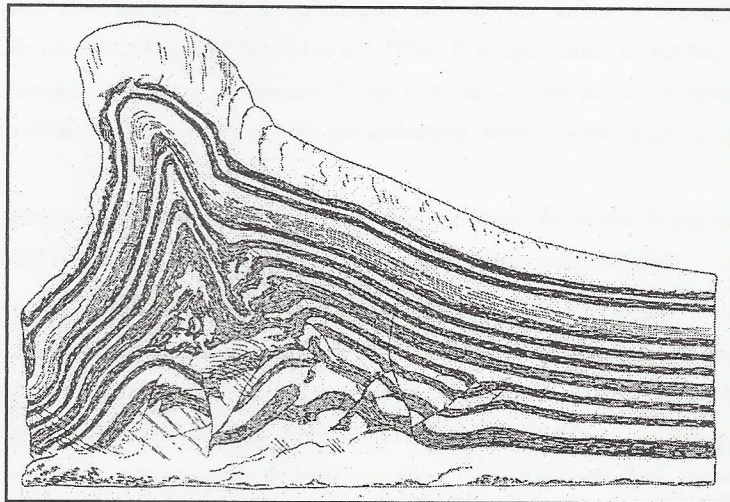


Figura 22 - Representação dos resultados obtidos por Bailey Willis (segundo Sitter, 1962).