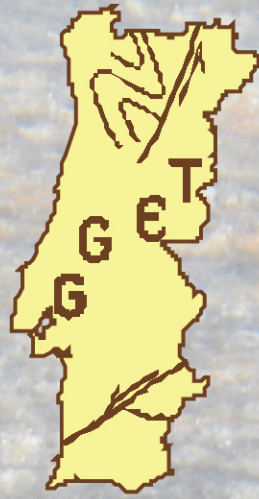


**Grupo de Geologia  
Estrutural e Tectónica**



# **Geodinâmica e Tectónica global; a Importância da Cartografia Geológica**

## **9ª Conferência Anual do GGET-SGP LIVRO DE ACTAS**

**N. Moreira, R. Dias & A. Araújo (eds.)**

**13 e 14 de Dezembro de 2013**

**Pólo de Estremoz da  
Universidade de Évora**

## Tectónica transcorrente em colisões Arco - Continente; o exemplo de Timor Leste

*Strike-slip tectonics in Arc - Continent collision; the Eastern Timor example*

R. Dias<sup>1,2\*</sup>, P. Nogueira<sup>2,3</sup>, V. Ferreira<sup>4</sup> & G. Oliveira<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Centro de Geofísica de Évora, LIRIO (Laboratório Investigação Rochas Industriais e Ornamentais da Escola de Ciências e Tecnologia da Univ. Évora), Portugal,

<sup>2</sup> Dep. Geociências da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora.

<sup>3</sup> Centro de Geologia da Universidade do Porto

<sup>4</sup> Instituto do Petróleo e Geologia de Timor-Leste

<sup>5</sup> Universidade Nacional Timor Lorosa'e

\* rdias@uevora.pt

**Resumo:** A cartografia estrutural na região do anticlinal D<sub>1</sub> de Cribas evidenciou a existência de uma importante rede de desligamentos esquerdos D<sub>2</sub>, que podem ser interpretados como induzidos por irregularidades da margem continental Australiana durante o processo de colisão.

**Palavras-chave:** Timor, Colisão Arco - Continente, Irregularidades da margem

**Abstract:** The structural mapping in the D<sub>1</sub> Cribas anticline region emphasize an important network of D<sub>2</sub> sinistral faults, which could be induced by major irregularities of the Australian continental margin during the collision process.

**Key-words:** Timor, Arc - Continent collision, Margin irregularities.

---

### INTRODUÇÃO

O enquadramento tectónico de Timor está bem constrangido e a maioria dos autores (*e.g.* Audley-Charles, 2011; Keep & Haig, 2010 e referências incluídas) concordam com as unidades tectónicas principais (fig. 1). Estas unidades podem ser seguidas da latitude de Flores / Savu a oeste até aos sectores orientais na região de Babar; esta continuidade evidencia uma simetria monoclinica por mais de 700 km. Esta situação originou diversas aproximações bidimensionais tentando explicar a evolução geodinâmica de Timor (*e.g.* Audley-Charles, 2004; 2011; Harris, 2006). Embora elas frequentemente divirjam em vários aspectos (*e.g.* origem / idade das unidades litoestratigráficas, interpretação dos seus limites, idade dos principais eventos tectónicos e idade da colisão) todos realçam a continuidade E-W a ENE-WSW das estruturas. Por isso não é surpreendente que as principais estruturas descritas sejam geralmente dobras e cavalgamentos subparalelos à orientação geral do orógeno e relacionadas com o encurtamento principal; este encurtamento foi induzido por uma subducção N-S a NNW-SSE e subsequente colisão entre a margem continental da Austrália e o arco vulcânico de Banda (Audley-Charles, 2011).

Contudo, frequentemente alguns dos esquemas tectónicos regionais (*e.g.* Audley-Charles, 2004; Harris, 2006) mostram falhas principais de desligamento esquerdo N-S a NNE-SSW que chegam a funcionar como descontinuidades principais durante o *uplift* quaternário (Kaneko *et al.*, 2007). Estas estruturas mostram que a evolução tectónica regional foi mais complexa e não pode ser explicada usando apenas aproximações bidimensionais.

Cartografia estrutural recente na escala 1/25 000 na região de Cribas (Ferreira, 2011; Oliveira, 2011) originou novos dados, relacionados, não apenas com a geometria e cinemática do sistema de falhas esquerdas sub-meridianas, mas também realçando a sua relação com o anticlinal E-W de primeira ordem de Cribas. Esta cartografia foi parte de um projecto entre a

Secretaria de Estado dos Recursos Naturais (SERN) de Timor Leste e a Universidade de Évora (Portugal) e será incluída no novo mapa geológico 1/50 000 de Manatuto.

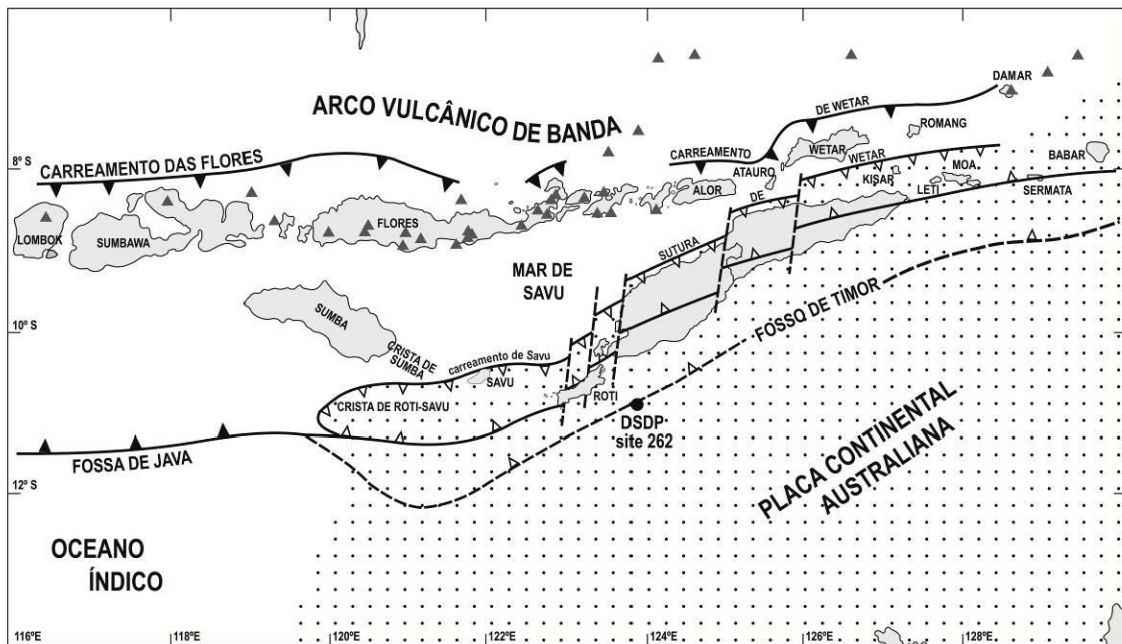


Figura 1- Principais unidades tectónicas da região de Timor (adaptado de Audley-Charles, 2004; 2011; Harris, 2006).

### GEOLOGIA DE CRIBAS

A região de Cribas foi anteriormente cartografada a escalas pequenas, quer 1/200 000 (Leme, 1968; Audley-Charles, 1968), ou 1/100 000 (Partoyo et al, 1995). Todos estes estudos realçaram a presença do anticlinal E-W de Cribas, que é uma das estruturas principais de Timor. Contudo, embora seja frequentemente referido, até recentemente a sua geometria era mal conhecida (Ferreira, 2011; Oliveira, 2011). O mapa recente mostra (fig. 2) uma dobra aberta (ambos os flancos mergulham cerca de 25º), com um plano axial subvertical e um eixo subhorizontal com duas terminações periclinais; em ambos os flancos são frequentemente encontradas dobras de segunda ordem com geometrias compatíveis com o anticlinal de primeira ordem de Cribas. Todas estas estruturas são as mais antigas que podem ser evidenciadas na região, sendo consideradas devido ao primeiro e mais importante evento tectónico (D<sub>1</sub>; Ferreira, 2011; Oliveira, 2011). As dobras D<sub>1</sub> nunca desenvolvem uma clivagem contemporânea associada, indicando que a deformação observada ocorreu num andar estrutural superior.

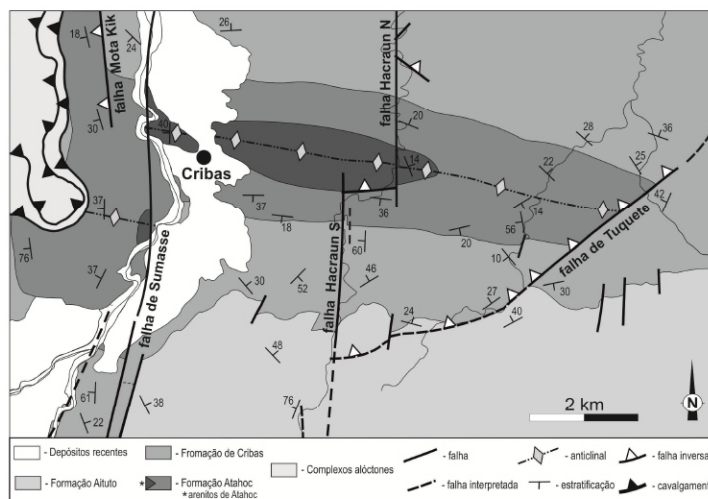
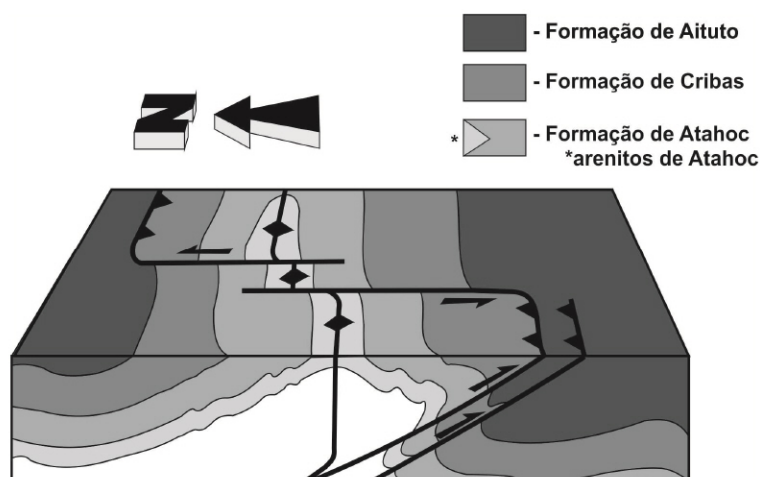


Figura 2 - Mapa geológico da região de Cribas (adaptado de Ferreira, 2011; Valente Oliveira, 2011).

Sobrepondo-se às estruturas  $D_1$  existe uma rede de fracturação penetrativa mas heterogénea, dominada por falhas principais verticais N-S. No que diz respeito à cinemática destas falhas elas apresentam uma componente esquerda principal, como é evidenciado por diferentes marcadores de deformação a diferentes escalas:

- estruturas menores (e.g. depósitos de calcite relacionados com irregularidades nos planos de falha) associados com estrias *slickenside*;
- veios de calcite *en-echelon*;
- deflexão da estratificação, que roda da direcção regional E-W para NE-SW ou até NNE-SSW na vizinhança das falhas principais;
- rejeito do plano axial subvertical do anticlinal E-W de Cribas  $D_1$ , pela falha principal de Sumassa com uma componente de desligamento predominante (fig. 2);
- estruturas secundárias desenvolvidas em zonas de sobreposição das terminações das falhas de desligamento N-S (fig. 3), como é o caso das encontradas em relação com a estrutura principal de Hacraum (fig. 2);
- estruturas de cavalgamento desenvolvidas nas terminações das falhas de desligamento (figs. 2 e 3) como a de Tuquete (fig. 2) e que são frequentes no mapa geológico 1 / 50 000 de Manatuto (*in prep*).



**Figura 3** - Principais aspectos estruturais relacionados com as falhas de desligamento  $D_2$  na região de Cribas.

As características da sobreposição entre algumas das estruturas anteriores, relacionadas com a rede de fracturas e as estruturas  $D_1$ , mostram que as mais frágeis se relacionam com um evento tectónico principal mais recente que é considerado  $D_2$  (Ferreira, 2011; Oliveira, 2011). As estruturas  $D_2$  que são frequentemente encontradas na região de Cribas não correspondem a um processo local. Com efeito, o mapa estrutural que está a ser feito para a região de Manatuto - Lacluber mostra que os desligamentos  $D_2$  esquerdos N-S são uma das estruturas principais da região; a sua importância está realçada pelo padrão de erosão fluvial que tende a seguir as fracturas principais. O trabalho feito até agora mostra que as estruturas  $D_2$  da região de Cribas (fig. 2; e.g. falhas de Sumasse, N-Hacrum, S-Hacrum, Sarec e Tuquete) são parte do sistema principal de Manatuto - Pualaca, no qual a cinemática esquerda é igualmente dominante; este deve corresponder a uma das principais falhas relacionadas com a colisão da margem continental Australiana com o arco vulcânico de Banda (fig. 1) que embora esteja assinalada nos mapas de pequena escala (Audley-Charles, 2004; Harris, 2006) tem uma "localização precisa desconhecida" (Audley-Charles, 2011).

Frequentemente as falhas N-S apresentam evidências (intersecção de estrias e marcadores cinemáticos relacionados) de uma reactivação tardia na qual a componente de *dip-slip* predomina. Interpretamos este movimento tardio como um evento tectónico  $D_3$  que estará

provavelmente relacionado com o uplift diferencial E-W durante o quaternário (Kaneko et al, 2007).

#### **FALHAS DE DESLIGAMENTO D<sub>2</sub> N-S A NNE-SSW; UM MECANISMO GENÉTICO**

Como descrito anteriormente, as falhas D<sub>2</sub> sobrepõem-se às estruturas D<sub>1</sub>, que na região de Cribas têm uma orientação predominante E-W. As relações de sobreposição, bem como a quase ortogonalidade entre as estruturas, indicam que elas estão relacionadas com diferentes eventos tectónico, embora no mesmo contexto de placas tectónicas. Propomos que as falhas D<sub>2</sub> foram o resultado de irregularidades da margem continental Australiana. Estas irregularidades induziram uma chegada diacrónica da margem Australiana à zona de subducção; o bloqueamento da subducção previsto por Audley-Charles (2004) deve então ter ocorrido em tempos diferentes. Se admitirmos que o bloqueamento ocorreu primeiro a Oeste e se propagou para Este, isto deve ter induzido falhas principais N-S com uma componente esquerda de modo a acomodar a deformação na zona de colisão. Este ambiente tectónico é consistente com a paleogeografia proposta recentemente (Hall, 2011) onde a existência de um golfo principal na região de Banda a Este deve ter atrasado ligeiramente o bloqueamento na região oriental. Esta irregularidade de primeira ordem na margem, não exclui a existência de outras menores, devido à existência de promontórios (como previsto por Keep & Haig, 2010) que terão gerado perturbações estruturais locais num padrão tectónico regional consistente.

#### **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho está integrado no projecto de cooperação entre a Secretaria de Estado dos Recursos Naturais (SERN) de Timor Leste e a Universidade de Évora. Os autores agradecem também ao financiamento atribuído ao Centro de Geofísica de Évora, através do contrato com a Fundação para a Ciência e a Tecnologia (referência: PEst-OE/CTE/UI0078/2011).

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Audley-Charles, M. (1968). The geology of Portuguese Timor. *Mem. Geol. Soc. Lond.* 4, 76 p.
- Audley-Charles, M. (2004). Ocean trench blocked and obliterated by Banda forearc collision with Australian proximal continental slope. *Tectonophysics* 389 (2004) 65–79.
- Audley-Charles, M. (2011). Tectonic post-collision processes in Timor. in Hall, R., Cottam, M. A. & Wilson, M. E. J. (eds) *The SE Asian Gateway: History and Tectonics of the Australia–Asia Collision*. Geological Society, London, Special Publications, 355, 241–266.
- Ferreira, V. (2011). Cartografia e estrutura da região Oeste do anticlinal de Cribas. Implicações para a génese de hidrocarbonetos, 69 p.
- Hall, R. (2011). Australia–SE Asia collision: plate tectonics and crustal flow. in Hall, R., Cottam, M. A. & Wilson, M. E. J. (eds) *The SE Asian Gateway: History and Tectonics of the Australia–Asia Collision*. Geological Society, London, Special Publications, 355, 75-109.
- Harris, R. (2007). Rise and fall of the Eastern Great Indonesian arc recorded by the assembly, dispersion and accretion of the Banda Terrane, Timor. *Gondwana Research* 10, 207–231.
- Kaneko, Y., Maruyama, S., Kadarusman, A., Ota, T., Ishikawa, M., Tsujimori, T., Ishikawa, A., Okamoto, K., (2007). On-going orogeny in the outer-arc of the Timor–Tanimbar region, eastern Indonesia, *Gondwana Research* 11, 218–233.
- Keep, M. & Haig, D. (2010). Deformation and exhumation in Timor: distinct stages of a young orogeny. *Tectonophysics*, 483, 93-111.
- Leme, J. A. (1968). Breve ensaio sobre a geologia da província de Timor. *Curso de Geologia de Ultramar* 1, 105-161.
- Oliveira, G. (2011). Cartografia e estrutura da região Este do anticlinal de Cribas. Implicações para a génese de hidrocarbonetos, MsC thesis, Évora University.

## Geolmagin – uma plataforma “open source” para estudo de microestruturas geológicas

*Geolmagin – a open source platform for the study of geological microstructures*

P. Nogueira<sup>1</sup> \*

<sup>1</sup>Departamento de Geociências da Universidade de Évora; Centro de Geologia da Universidade do Porto

\* pmn@uevora.pt

**Resumo:** O desenvolvimento de software livre (Opensource) permite que os utilizadores, além das funcionalidades desenvolvidas de base, personalizem a sua experiência de utilização com novas tarefas, criando um ecossistema de utilizadores-programadores sobre uma ferramenta de interesse comum. Este trabalho apresenta um software que foi inicialmente desenvolvido para o estudo de microfracturas. Na atual versão (Geolmagin), além do estudo da microfracturação, existem módulos para aquisição de dados estruturais, como por exemplo, Fry, Fry normalizado, centro a centro e Rf-phi. As imagens a tratar podem ser *frames* individuais ou em modo *live vídeo*. A aquisição de dados é feita de forma semelhante a qualquer software SIG, sob a forma de dados vectoriais (pontos, linha e polígonos). Os resultados obtidos são gravados em ficheiros de formato geral podendo ser exportados para outras plataformas. Os módulos incluem ainda a visualização dos dados em tabelas, como gráfico X-Y ou sob a forma de roseta de orientação.

**Palavras-chave:** Opensource; Microscopia; Microfracturas

**Abstract:** The development of open source software allows to go beyond the basic features presented to them by the application, adding layers of customized new features, creating in this way an ecosystem of users-developers of tools with a common interest. This paper presents a software that in its current version (Geolmagin), besides the study of microfractures, includes modules to acquire structural data of various types, for example, Fry, Fry normalized, center to center and Rf-phi. Images may be treated as individual frames or in live video mode. The data acquisition is performed similarly to any GIS software, in the form of vector data (point, line, and polygons). The results are recorded in generic format file types so they can be exported. The modules developed includes the display of data in table format, as XY plot or as a rose diagrams.

**Key-words:** Opensource; Microscopy; Microcrack

---

### INTRODUÇÃO

A geologia é a ciência das escalas. Um geólogo trabalha desde a escala do sistema solar ou do universo, até à escala do átomo ou do cristal. Para além da escala permitida pela visão humana, em todas as outras escalas deve recorrer ao auxílio de equipamentos que produzem imagens que podem ser tratadas, analisadas e interpretadas de acordo com os objetivos do estudo.

As imagens de escalas menores, tal como a fotografia aérea ou de satélite, são o objeto de estudo da deteção remota e dos sistemas de informação geográfica (SIG). Já as imagens de grandes escalas (normalmente de lupa ou de microscopia), são trabalhadas por petrólogos e mineralogistas.

Na análise das imagens de interesse geológico podem-se distinguir dois domínios distintos de atuação. Um primeiro em que se procura tratar as imagens para que a sua qualidade seja melhorada, procurando assim salientarem as características que estão em estudo. Neste caso a

análise e interpretação são deixadas ao investigador. Um segundo domínio onde se procura extrair informação quantitativa e qualitativa das imagens, efetuando a análise das imagens, ficando a cargo do investigador desenvolver apenas as interpretações geológicas.

Nos últimos anos muitos têm sido os desenvolvimentos no tratamento de imagens, sendo que a maioria destes pertencem ao domínio público, através de exemplos e aplicações que estão disponíveis para consulta e utilização. Um exemplo disso é o OpenCV (url1) que consiste num software *Open Source* para visão computacional e que permite o desenvolvimento de aplicações de tratamento de imagem.

Procurando desenvolver uma ferramenta independente da plataforma (Windows, Mac, Linux) e adaptável aos principais sistemas de microscopia, foi desenvolvido uma aplicação – Geolmagin – com o objectivo de se fazer a análise de imagens de microscopia, utilizando uma filosofia “*open source*”, por forma a permitir que as funcionalidades desenvolvidas sejam disponibilizadas a todos os interessados e para que estes possam contribuir com novas funcionalidades.

#### **A IMPORTÂNCIA DO GEOIMAGIN EM GEOLOGIA**

O desenvolvimento de uma aplicação *open source* para análise e tratamento de imagens geológicas, principalmente as microscópicas, mas não limitado a elas, permite que ferramentas comuns se encontrem agrupadas na mesma plataforma. Um exemplo disso é o tipo de diagramas e as representações de dados utilizadas em geologia, tal como, rosetas de orientação, diagramas triangulares, etc.

As aplicações atualmente disponíveis para tratamento de imagens de microscopia em geologia são, na sua maioria, de carácter comercial (e.g. url3, url4, url5) e as que são *open source* tratam apenas de realizar tratamento de imagem e não análise de imagem (e.g. url6, url7).

#### **A PLATAFORMA DE BASE**

O Geolmagin é uma aplicação desenvolvida em Java com recurso ao Swing (url2) para o desenvolvimento dos interfaces gráficos. A janela principal tem como base um menu com as opções Ficheiro, Editar, Tarefas, Tratamentos, Ferramentas e Ajuda.

O menu Ficheiro trata das operações de adquirir a imagem a tratar e de operações com os ficheiros de dados. Este menu tem assim as opções: Imagem live; Ler Imagem fixa; Gravar Imagem; Ler dados; Gravar dados; Sair.

O menu Editar tem as opções de Limpar imagem, Desenhar objetos, Desfazer, Copiar imagem, Colar Imagem e Definições.

O menu Tarefas contém as funções já desenvolvidas até ao momento, isto é, Objetivas, Direção de referência, PIF (planos de inclusões fluidas), centro-a-centro, Fry, Fry normalizado e Rf-phi. Por uma questão de integridade de dados as tarefas só podem ser realizadas uma de cada vez, assim os dados entre tarefas deverão ser guardados.

O menu Tratamentos contém as opções para análise e tratamentos das imagens. Na versão base estão disponíveis as opções Rosetas, Lista de dados e Mapa de dados.

O menu Ferramentas é onde o utilizador pode ativar e desativar as opções de ver e esconder as ferramentas. Implementadas até agora estão a indicação de direção de referência e seleccionar e calibrar as objetivas.

O menu Ajuda permite aceder ao manual do software.

#### **AQUISIÇÃO DE IMAGENS**

O principal módulo de um *software* de tratamento de imagens em modo *live video* deve ocupar-se da aquisição da imagem e da sua correta visualização. Procurando fazer com que este módulo seja o mais universal possível e mantendo a filosofia *open source*, optou-se pelo recurso à interface de programação de aplicações denominada openCV (url1) que possui biblioteca de aquisição de imagens para as diferentes plataformas (Windows, Mac, Linux, Android, etc.) e para diferentes linguagens de programação.

A aquisição de imagens é feita através das ligações de vídeo disponíveis no computador. A captura e visualização é feita *frame a frame*, podendo o utilizador ativar ou interromper o modo *live video*.

Para um correto tratamento dos dados, o utilizador deve calibrar os comprimentos para cada conjunto microscópio/computador/objetivas. Depois de calibradas as diferentes objetivas o utilizador pode gravar um ficheiro com os dados da calibração. Esta opção permite que não seja necessário repetir a operação de uma sessão de trabalho para outra.

#### **AQUISIÇÃO DE DADOS**

Os dados na versão base podem ser recolhidos na forma de pontos e linhas. A aquisição de pontos faz-se clicando no ecrã com o botão do lado esquerdo do rato. As linhas, da mesma forma, são digitalizadas clicando no início e no final da linha. Caso a linha se estenda para fora do campo de visão, o utilizador pode deslocar a imagem através da indicação de pontos de referência com o botão do lado direito do rato.

Nos casos em que são necessárias sequências de dados, como nos métodos Fry e Rf, é dada indicação ao utilizador de que dado deve introduzir (e.g. eixo maior, eixo menor, centro da partícula).

Os dados podem ser ainda adquiridos com informação complementar, tal como a que é necessária para caracterizar diferentes tipos de planos de inclusões fluidas (c.f. Nogueira, 1997).

#### **RESULTADOS OBTIDOS**

Estando numa versão experimental, o software permite desde já efetuar as análises dos dados digitalizados através do recurso a apresentação de listas de dados, de mapas de resultados em coordenadas virtuais e de rosetas de orientação de linhas.

Para avaliar a reprodutibilidade dos resultados obtidos nas medições efetuadas, foram efetuados testes de medição de ângulos e comprimentos de linhas visualizadas ao microscópio. Os resultados obtidos permitiram concluir, que para as diferentes ampliações, os erros são inferiores a 2% nos comprimentos e 5% nas direções das linhas.

#### **DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Após esta primeira fase, o *software* encontra-se disponível no endereço <http://home.uevora.pt/~pmn/geoimagin/> sob licença *open source*. Outros autores serão convidados a desenvolver módulos com base nesta plataforma inicial.

Espera-se em breve desenvolver módulos ligados à geologia estrutural, nomeadamente gráficos de interpretação dos métodos Fry, Fry normalizado, centro a centro e Rf-phi.

Igualmente módulos de determinação de parâmetros de circulação de fluídos serão desenvolvidos, nomeadamente o cálculo de interceções de fraturas, que permitirão determinar parâmetros de permeabilidade e condutividade na circulação de fluídos.

Diversos filtros de tratamento de imagem serão aplicados, permitindo que as imagens sejam limpas de artefactos e aspetos relevantes sejam salientados.

Por fim, algoritmos de inteligência artificial para reconhecimento de objetos serão desenvolvidos, por exemplo, no caso do estudo de inclusões fluidas poderão ser identificadas automaticamente e efetuado o cálculo semiautomático do grau de preenchimento em fluídos (Flw).

#### **AGRADECIMENTOS**

ESTE TRABALHO FOI PARCIALMENTE FINANCIADO PELO PROJETO: PTDC/CTE-GIX/099447/2008 (FCT-PORTUGAL, COMPETE/FEDER).



#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Nogueira, P., 1997. Estudo de paleofluidos mineralizantes (Au, Ag, As) e sua migração. Aplicação a regiões auríferas do Norte de Portugal. Tese de doutoramento, Faculdade de Ciências da U.Porto.

#### **URL CONSULTADOS**

url1 - <http://opencv.org/>, consultado em 20/11/2013.

url2 - <http://docs.oracle.com/javase/6/docs/technotes/guides/swing/>, consultado em 20/11/2013.

url3 - <http://www.leica-microsystems.com/products/microscope-software/>, consultado em 20/11/2013.

url4 - <http://www.olympus-ims.com/en/microscope/software/>, consultado em 20/11/2013.

url5 - [http://microscopy.zeiss.com/microscopy/en\\_us/products/microscope-software/axiovision-for-biology.html](http://microscopy.zeiss.com/microscopy/en_us/products/microscope-software/axiovision-for-biology.html), consultado em 20/11/2013.

url6 - <http://www.micro-manager.org/>, consultado em 20/11/2013.

url7 - <http://www.openmicroscopy.org/site>, consultado em 20/11/2013.