

APLICAÇÃO DE MICROTOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA NA CARACTERIZAÇÃO DE ESTRUTURAS RÚPTEIS

Patricia Durringer Jacques^{1,4}

Richard John Heck²

Alexis Rosa Nummer³

Romulo Machado⁴

¹ CPRM-Serviço Geológico do Brasil. Av. Pasteur, 404 – Urca – 22290-240- Rio de Janeiro - RJ, Brasil. patricia.jacques@cprm.gov.br

² *School of Environmental Sciences* - Universidade de Guelph, Guelph, Ontário, N1G 2W1, Canadá.

³ Departamento de Geociências, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR 465, Km 7- 23.890-000, Seropédica, RJ, Brasil.

⁴ Programa de Pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, USP. Rua do Lago 562- 05508-080, São Paulo, SP, Brasil.

1. Introdução

A microtomografia computadorizada (μ CT) é uma técnica de obtenção de imagens de objetos que podem variar de dimensões centimétricas a milimétricas com alta resolução espacial (micrometros), cuja principal característica é sua capacidade de adquirir imagens tridimensionais em escala microscópica de forma *não destrutiva* a partir de profundidades selecionadas. Foi desenvolvida no início da década de 1970 com aplicação na medicina (Hounsfield 1972, 1973) e, desde os anos 80, a μ CT vem sendo utilizada na área das geociências (Arnold *et al.* 1982; Grevers *et al.* 1989; Van Geet *et al.* 2000; Mees *et al.* 2003; Taina *et al.* 2010; Lopes *et al.* 2012). Essa metodologia inovadora foi aplicada no *Soil Imaging Laboratory*, Universidade de Guelph - Canadá, referente à análise dos planos de falhas verticais em microtomógrafo, com ênfase na cinemática das estrias presentes.

2. Metodologia

As amostras de rocha utilizadas neste trabalho foram coletadas com orientação espacial de campo, e contém sempre o principal plano de falha vertical observado no afloramento. Posteriormente, foi realizada a aquisição das imagens de microtomografia computadorizada através de raios-X e, para cada amostra com volume médio de 150 cm³, foi colocada em um tubo de acrílico de 150 mm altura x 64 mm de diâmetro interno. Os espaços vazios do acrílico foram preenchidos com esponja (material de baixa densidade), para que a amostra ficasse imóvel no interior do cilindro. O aparelho utilizado foi um *scanner* GE MS8x-130. Para cada amostra foram obtidas 720 imagens, de projeção axial, com tamanho de *pixel* de 20 μ m. A calibração da imagem padrão, com valores de máxima luminosidade e máxima escuridão foi realizada na sequência, assim como a reconstrução das imagens, com *voxel* final de 40 μ m. No intuito de reduzir ruídos randômicos foram aplicados filtros gaussianos (3x3x3)

nas imagens, de acordo com Stonestrom *et al.* (1981) e as imagens de μ CT foram convertidas para o formato *TIFF* e processadas no *software ImageJ* (Rasband 2005). O material referente à rocha foi isolado da parte externa de modo a preservar a micro superfície do plano de falha analisado (Figura 1A). Sobre o plano de falha foi calculado o Micro Modelo Digital de Elevação (μ MDE) (Figura 1B). Posteriormente o μ MDE foi rotacionado de modo que sua posição na tela do computador simulasse a verdadeira posição espacial do plano de falha vertical analisado no afloramento (Figura 1C). Baseado na metodologia de interpretação de estruturas lineares de Crepani & Medeiros (1994), e com base no μ MDE obtido para cada amostra, foram confeccionadas duas imagens de relevo sombreado com azimutes de 45° e 135° (perpendiculares entre si), usando inclinação angular de 45° . Sobre estas imagens foram elaboradas imagens RGB com os seguintes canais: R (45°) G (135°) B (135°) e realizadas as extrações manuais dos lineamentos presentes no plano de falha.

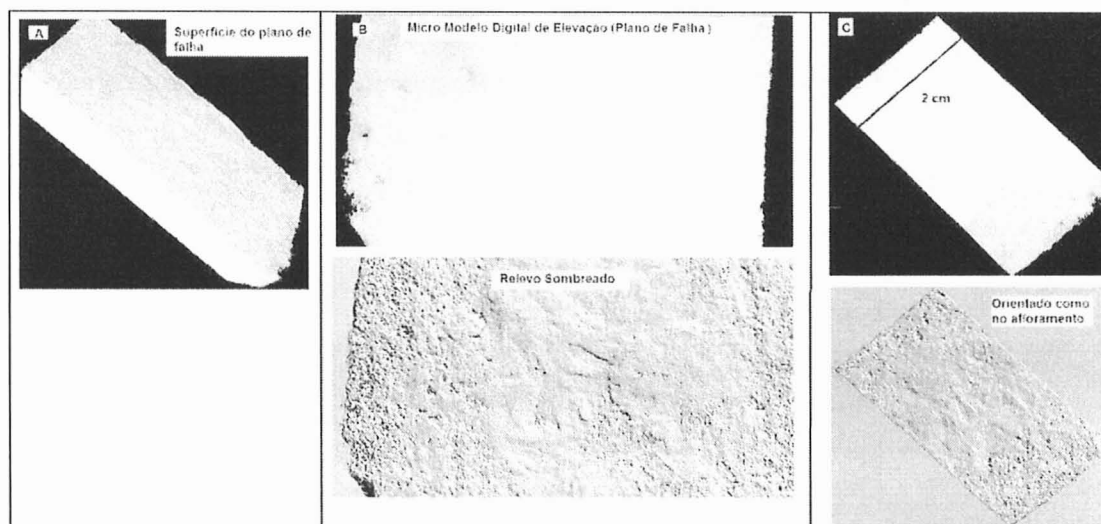


Figura 1 – (A) Imagem com o plano de falha, (B) Construção do μ MDE do plano de falha e (C) – Orientação espacial do μ MDE em relação à verdadeira posição espacial do plano de falha vertical obtida no afloramento.

Os lineamentos extraídos sobre o RGB de cada plano de falha incluem estrias, degraus ou rugosidades. Normalmente os degraus são perpendiculares às estrias e a rugosidade é paralela. Com base no critério de classificação cinemática de estruturas secundárias de Petit (1987) (Figura 2), foram confeccionados perfis nos planos de falha para a caracterização dos movimentos cinemáticos das falhas.

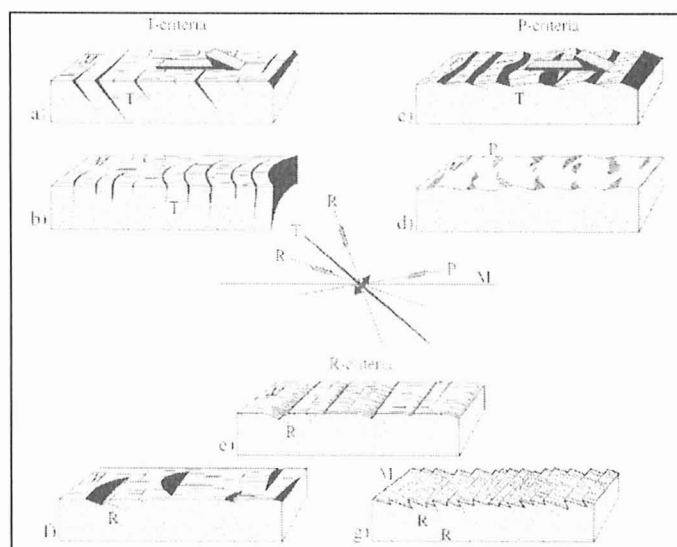


Figura 2 – Caracterização cinemática de falhas a partir de fraturas secundárias (R, R', P e T) em sistema de cisalhamento de regime rúptil no plano principal (M). Extraído de Fossen, 2010; baseado em Petit, 1987.

3. Resultado

O resultado aplicado em uma amostra de basalto da Formação Serra Geral é visualizado na Figura 3.

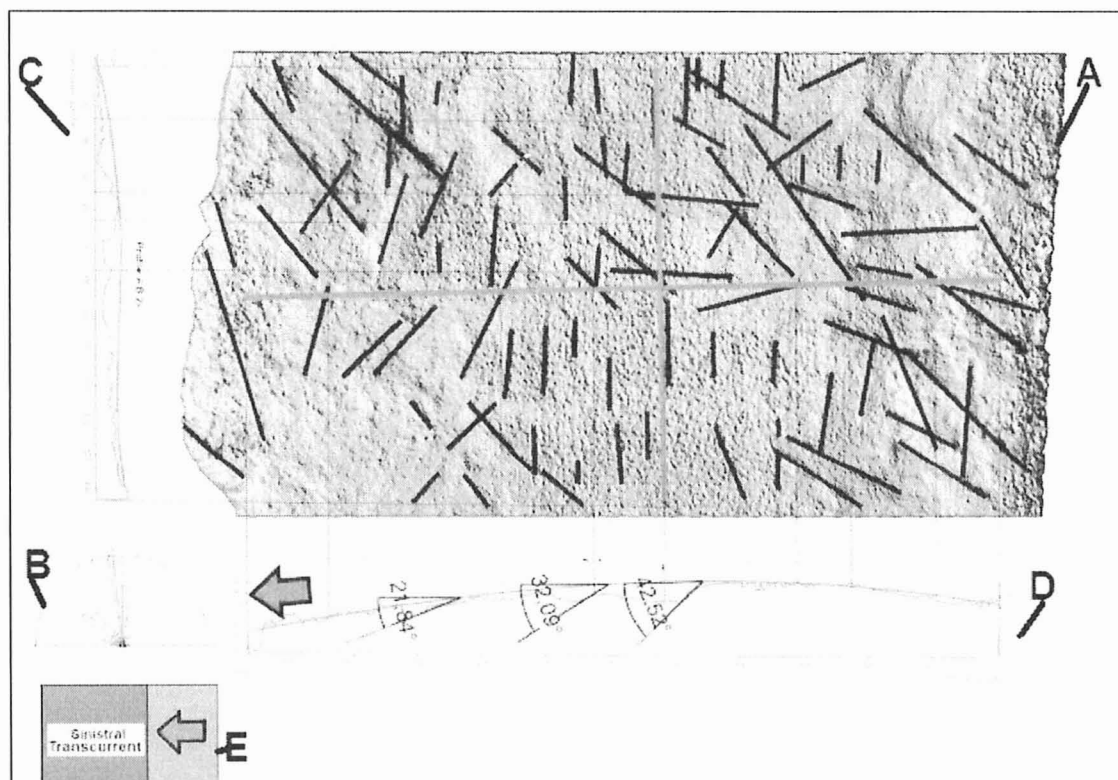


Figura 3 – Exemplo de uma amostra com μ MDE e perfis realizados na superfície de falha com resolução espacial de 40 μ m, obtida por μ CT.

A Figura 3 apresenta a imagem (A) em RGB do relevo sombreado do μ MDE, sobre o qual foram extraídas as estruturas lineares (representadas pelas estrias). Percebe-se que a rugosidade é paralela à estria e que os “degraus” são perpendiculares às estrias; Em (B) foram confeccionados os Diagrama de Rosetas que indicam a principal direção das estrias para serem aplicados posteriormente aos perfis; (C) Perfil referente aos “degraus”, apresentando frequentemente desníveis bruscos; (D) Perfil representativo do movimento principal da falha, mostrando as estruturas secundárias, neste caso interpretado como estruturas secundárias do tipo R, com ângulo médio de 32°, indicativo que o bloco de cima (que não está representado) se movimentou para a esquerda; (E) Figura esquemática representativa da movimentação cinemática da falha.

4. Conclusões

A visualização 3D de amostras de rocha, aplicadas ao estudo de estruturas rúpteis, utilizando novas ferramentas de laboratório e computacionais, pode ser considerada atualmente como o grande avanço no estudo microestrutural de rochas. Amostras orientadas de diferentes tipos de rochas podem ser analisadas em μ CT, permitindo analisá-las na posição real, e descrever a cinemática e outros detalhes geométricos não observados a olho nú ou até mesmo com ajuda de microscópio.

Agradecimentos

Os autores agradecem as seguintes instituições: CPRM, IGC/USP, UFRRJ e *University of Guelph*. A primeira autora agradece a CAPES pela bolsa de estudos ao exterior (BEX 6375/11-1).

Referências Bibliográficas

- Arnold, J.R.; Testa, J.P.J.; Friedman, P.J.; Mambic, G.X. 1982. Computed tomographic analysis of meteoric inclusions. *Science* **219**: 383-384.
- Crepani, E., Medeiros, J.S., 1994. Imagens fotográficas derivadas de MNT do Projeto SRTM para fotointerpretação na Geologia, Geomorfologia e Pedologia./ E. Crepani; J.S. de Medeiros. S.J. dos Campos: INPE.
- Fossen, H., 2010. **Structural Geology**, Cambridge University Press, New York, 463p.
- Grevers, M.C.J.; De Jong, E.; St. Arnaud, R.J. 1989. The characterization of soil macroporosity with CT scanning. *Can. J. Soil. Sci.* **69**: 629-637.
- Hounsfield, G.N. 1972. **A method and apparatus for examination of a body by radiation such as X or Gamma**. British Patent 1283915, London.
- Hounsfield, G.N. 1973. Computerized transverse axial scanning (tomography). Part 1: Description of system. *British Journal of Radiology* **46**: 1016-1022.
- Lopes, A.P., Fiori, A.P., Reis Neto, J.M., Marchese, C., Vasconcellos, E.M.G., Trzaskos, B., Onishi, C.T.; Pinto-Coelho, C.V., Secchi, R., Silva, G.F. 2012. Análise tridimensional de rochas por meio de microtomografia computadorizada de raios X integrada à petrografia. São Paulo, UNESP, Geociências **31**(1): 129-142.
- Mees, F., Swennen, R., Van Geet, M. and Jacobs, P. 2003. **Applications of X-ray computed tomography in the geosciences**. Geological Society, London, UK. Special Publications, **215**: pp. 16
- Petit, J.P., 1987. Criteria for the sense of movement on faults surfaces in brittle rocks. *Journal of Structural Geology* **9**: 597-608.
- Rasband, W. 2005. ImageJ, Image Manipulation Software. National Institute of Health, Bethesda M.D., USA. (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>).
- Stonestrom, J.P.; Alvarez, R.E.; Macovski, A. 1981. A framework for spectral artifact corrections in X-ray CT. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **28** (2): 128-141.
- Taina, I.A.; Heck, R.J.; Elliot, T.R.; Scaiff, N. 2010. Micromorphological and X-ray μ CT study of Orthic Humic Gleysols under different management conditions. *Geoderma* **158**: 110-119.
- Van Geet, M.; Swennen, R.; Wevers, M. 2000. Quantitative analysis of reservoir rocks by microfocus X-ray computerised tomography. *Sedimentary Geology* **132**: 25-36.