

Aplicação do índice de Hack (SL) a um trecho do rio Zêzere, (Portugal).

SOUSA, Daniel Vieira – Graduando em Geografia – Universidade Federal de Viçosa,
danielgeoufv@yahoo.com.br

MARTINS, A. António. – Prof. PhD. Centro de Geofísica - Departamento de Geociências,
Universidade de Évora, Portugal, aam@uevora.pt

FARIA, André Luiz Lopes. Prof. Msc. Departamento de Artes e Humanidades, Universidade
Federal de Viçosa, Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos
Universidade Federal de Viçosa, andre@ufv.br

RESUMO

A definição de movimentos neotectônicos é bastante controverso, já que não existe um consenso entre os diversos especialistas deste domínio. Primeiramente, foram considerados movimentos neotectônicos os movimentos da crosta afectando depósitos e superfícies do Terciário Superior ou do Quaternário, e que tiveram uma intervenção fundamental na gênese da topografia contemporânea. Posteriormente foi postulado a ausência de períodos definidos, causando uma quebra de fronteira, ocasionando uma abrangência de seu conceito para qualquer movimento de deformação em nível geodésico, indo de idades de 10^7 anos até os movimentos sísmicos da atualidade. Incorporando esses estudos todas as deformações tectônicas da crosta (Orogênese, Epirogênese, e tensões crustais diversas). Os perfis longitudinais de rios são sensíveis a movimentações tectônicas causando alterações no nível de base. Geralmente verifica-se incisão fluvial a montante de compartimentos abatidos e agradação a jusante de compartimentos levantados. Os canais fluviais são dinâmicos e se modificam através da incisão e da agradação periódicas, o estudo destes processos reveste-se de grande importância na compreensão das alterações do relevo. A formação de vales encaixados com perfis típicos em V, ou o aparecimento de troços de agradação pode ter origem em causas tectônicas, ou outras. Hack (1973) propôs um índice (*stream-gradient index*) para detectar estas alterações em cursos fluviais, decorrentes de mudanças no substrato geológico, aporte de carga, ou tectonismo. O *stream-gradient index*, ou simplesmente índice SL, relação declive (slope) vs. comprimento do curso (length). O presente trabalho objetiva identificar roturas de declive, num trecho do rio Zêzere, afluente do rio Tejo. O rio Zêzere corre num vale encaixado no interior da Cordilheira Central Portuguesa. Esta cordilheira montanhosa apresenta unidades geológicas distintas: xistos e os gnaises do complexo metamórfico xisto-grauváquico do Pré-Cambriano a Câmbrico, sendo a bacia do Zêzere uma área de onde a tectônica se manifesta de forma muito marcante no relevo. Para identificar as roturas de declive utilizou-se o perfil longitudinal, índice de Hack, SL (slope VS. Length) além de técnicas em SIG para modelagem do terreno com intuito de observar o padrão de relevo, drenagem e espacialização dos índices utilizados.

PALAVRAS CHAVES

índice de Hack, rio Zêzere, tectônica.

ABSTRACT

The definition of the neotectonics movements is too controversial, since that there is not a consensus among the several specialist of this field. First it was considered as tectonics movement, the movement of the crust affecting the deposits and the surfaces of the superior tertiary or the quaternary and that had a fundamental intervention in the genesis of nowadays topograph. Later it has been postulate the absence of definite periods causing a break of frontier, bringing about a

range in the concept of anykind of movements of deformation in the geodesic level from the ages of 170 years until the present seismic movements by incorporating the studies of all tectonic crust. Deformation (orogenesis, epirogenesis and other crust tensions). The longitudinal outline of the rivers are very sensible to tectonics movements causing alterations of the level of bases. Usually we verify a fluvial incisions in the pillar of the compartments felled and the justant of the raising compartments. The fluvial channels are dynamics and modifies through incision and periodic agradation. The studies of these process are of great importance to underst. The studies of these process are of great importance to understand the change of the relieves. The formation of valleys fitted in with typical outline in V or the appearance of fragments of aggregation probably has been originated in tectonics causes ,or others. has proposed an index (stream gradient index) with the purpose to detectate the changes in fluvial courses due to changes. The stream-gradient index or just ISL index, relationship of slope Vs length. This project has the purpose of identify the breaks of slope, in the meter run of the Zererê river, tributary of Tejo River, located in valley fitted in the Central Portuguese mountain range.

KEY WORDS

Hack Index, Zêzere river, tectonic,

INTRODUÇÃO

Primeiramente, foram considerados movimentos neotectónicos os movimentos da crosta afectando depósitos e superfícies do Terciário Superior ou do Quaternário, e que tiveram uma intervenção fundamental na gênese da topografia contemporânea (Mescherikov, Y.A., 1948). Os movimentos crustais em margens continentais pouco activas são difíceis de observar diretamente, havendo a necessidade de utilizar métodos adequados que ressaltem os seus efeitos na paisagem. A análise morfológica é um método que resulta do processo de dedução de alterações na paisagem, estas podem ser expressas através de gradientes morfométricos originados através de processos exógenos, capazes de produzir alterações morfológicas. Os cursos de água tendem a buscar seu equilíbrio, que é expresso pela relação entre a capacidade de carregar sedimentos e a competência em escavar seu vale, os canais fluviais sofrem interferência de vários processos morfológicos, entre eles os processos tectônicos que ocasionam alterações no seu perfil longitudinal.

Merritts et al., (1994) baseando-se em perfis longitudinais de rios, ressaltam a sua importância para a detecção de deformações tectônicas, da influência do eustatismo e para investigação de terraços fluviais na costa norte da Califórnia,.

Hack (1973) propôs um índice para detectar alterações nos cursos de água, decorrente de mudanças no substrato geológico, aporte de carga, ou tectonismo, chamado de *stream-gradient index*, ou simplesmente índice SL (relação declive, *slope* vs. comprimento de curso, *length*) FIG. 1 sendo aplicado, com sucesso, na definição de fenômenos neotectônicos

em diversos contextos geológicos. Este índice baseia na razão entre a declividade de um determinado troço de um canal, multiplicada pela projeção horizontal do troço de rio, medido desde a cabeceira da drenagem até ao ponto mais a jusante do troço do canal objecto de análise (Etchebehere 2004).

Chen et al. 2006 utilizam o índice de Hack para detectar deformações crustais na região centro-oeste de Taiwan. Etchebehere 2004 analisa o índice SL, chamado por ele em seu trabalho de RDE (Relação Declividade Extensão) para detecção de áreas de deformações neotectônicas na Bacia do rio Peixe em São Paulo e faz uma comparação com o seu perfil longitudinal, como uma de suas conclusões ele identifica que onde os índices “fugiam” da média, o perfil se caracterizava por zonas de rupturas no canal.

Torbjon (1999) utilizou perfis longitudinais no estudo da evolução dos terraços fluviais de origens eustáticas durante a última glaciação. Goldrick (2006) efetuou uma análise entre o índice de Hack e do perfil de equilíbrio em *bedrock stream* como referência empírica a perfis longitudinais, em uma área no SE da Austrália caracterizada por *uplifts* durante o Neógeno.

Neste trabalho utilizaram-se dois índices morfométricos; o perfil longitudinal do curso de água e índice de Hack SL (slope vs. length), para a determinação de deformações crustais ao longo de uma parte do rio Zêzere, situado no Maciço Hespérico, na Zona Centro Ibérica de Portugal, sendo um dos maiores afluentes do Rio Tejo.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O rio Zêzere é o maior afluente do rio Tejo, nasce no Covão da Ametade, na Serra da Estrela, e passa pela vila de Manteigas, Orvalho, Pedrogão Pequeno e desagua em Constância, no médio Tejo Português. Terá a sua formação iniciada no Mioceno Superior a cerca de 10 milhões de anos atrás durante a era Cenozóica, onde começaram os primeiros movimentos de deformações crustais, que foram de forma continua dando origem à elevação da montanha (FERREIRA, 1999).

As principais unidades geológicas presentes na região do Zêzere são (i) Rochas graníticas de idade Varisca; (ii) rochas Metassedimentares de idade Pré-cambriana; (iii) depósitos aluvionares e glaciários do quaternário. A tectônica da área é denominada pela megaestrutura regional designada por zona de falha, de Bragança-Vilariça-Manteigas (FBM) a qual corresponde a um desligamento esquerdo que constitui um dos mais importantes

movimentos crustais do sistema tardi-varisco de fraturas do noroeste ibérico, formando Rifts e Gabrens (AFONSO, 2006).

O vale do Zêzere tem sua origem na formação de vales glaciais que no passado ocupavam a região e desciam diretamente do planalto central. Suas vertentes foram desenvolvidas pelo processo de crioclastia, havendo bastantes rupturas nas rochas, podendo ser encontrados testemunhos e Moraias a poucos quilômetros de Manteigas (FERREIRA, 1999).

Segundo RIBEIRO (1980), parte do curso do Zêzere deve ter-se fixado por epigenia, sobre os depósitos aluvionares que transbordam da bacia do baixo Tejo e por antecedência na borda do Maciço Antigo no bloco da Estrela, seu traçado geral sugere uma origem tectônica, suas sinuosidades e divagações do curso do rio excluem a hipótese de um vale estabelecido em linhas de fraqueza ou fraturas, possivelmente o Zêzere se estabeleceu em um fosso de abatimento intermédio (Gabren) que separa em dois Horsts secundários o Horst principal da cordilheira.

Próximo a Orvalho (Figura 3), encontram-se cristas quartzíticas (que seguem de Fajão até Sarzedas durante 35 km) que podem ser consideradas como cristas apalachianas com vestígios de aplainação mais ou menos conservados, formadas ou acentuados durante o encaixe da drenagem, que separa em dois tipos a paisagem. A montante de Orvalho por influência das soleiras de rochas quartzíticas desenvolveram-se meandros dessimétricos formados pelo encaixe da drenagem, mas onde a taxa de migração lateral supera a taxa de incisão vertical. A jusante originou-se meandros de trincheira derivados de meandros livres que depois se encaixaram, sem pouco desenvolvimento sendo quase simétricos, notam-se também sinuosidades que parecem ser orientadas por fraturas transversais. Nas cristas quartzíticas o rio passa por gargantas imponentes e no entorno de Pedrogão o rio apresenta seus vales bastante encaixados quase a pique. (RIBEIRO, 1990).

MATERIAL E MÉTODO

Para mensurar as deformações crustais, advindas de processos tectônicos, utilizou-se o perfil longitudinal do rio; índice de Hack, SL (slope VS. length); e uma análise visual qualitativa do modelo digital de elevação, para observar a mudança do padrão do relevo e espacialização dos dados, para compará-las com os resultados obtidos.

Os dados morfométricos foram extraídos através de medições nas cartas planialtimétricas de números: 254, 255, 265 e 266 em formato analógico do Serviço Geográfico Militar de Portugal em uma escala de 1:25.000, utilizando-se curvímetero digital . Neste trabalho calculou-se o SL global. A partir da extração dos dados, foi organizado um banco de dados geográficos, para que posteriormente pudesse ser espacializado, e a partir de então foi gerado o perfil longitudinal do rio e o gráfico do gradiente SL.

O perfil longitudinal do rio (Gráfico 1) e o índice de Hack foram derivados através de medições nas cartas planialtimétricas do Serviço Geográfico Militar de Portugal em uma escala de 1:25.000 em formato de papel utilizando a metodologia descrita em Guerra 2000.

O índice de Hack ou índice SL (relação *slope vs. length*), Molin 2004, Frankel 2002, se refere à variação da declividade de um determinado trecho de um rio normalizada pela distância do referido trecho às cabeceiras e possibilita a análise de rios e de trechos selecionados, propiciando as bases para o estabelecimento de comparações entre cursos d'água de ordem e de porte diferentes, este índice pode ser extraído de duas formas, SL(global) e SL(local), sendo o Global, calculado apenas pra o rio principal de um canal, e o SL local, calculado para todos seus afluentes, sendo possível determinar o grau de estabilidade tectônica e fazer um mapeamento mais detalhado.

O índice SL pode ser calculado da seguinte forma: $SL = (\Delta h / \Delta l) \cdot L$ (Fig.1) onde, Δh é a diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso d'água; Δl é a projeção horizontal da extensão do referido segmento ($\Delta h / \Delta l$ corresponde ao gradiente da drenagem naquele trecho); e L corresponde ao comprimento total do curso d'água a montante do ponto para o qual o índice SL está sendo calculado (Etchebhere, 2004).

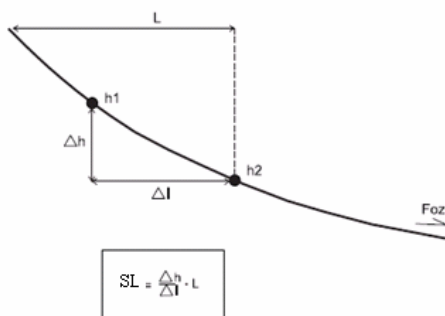


FIGURA 1

Figura.1. Cálculo do índice SL para segmento de drenagem utilizando. L comprimento da drenagem, Δh = diferença de altitude entre duas isoípsas Δl = projeção horizontal do comprimento do segmento de drenagem entre duas isoípsas. (Modificado de Etchebhere 2000).

Assim como Cheng (2006), neste trabalho utilizou-se como ferramenta os sistemas de informações geográficas, fazendo-se uso dos dados do SRTM obtidos no site: www.mariland.com para a construção de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Para digitalização do curso de água utilizou uma cena LandSat MSS que cobria toda a área de estudo, também disponível no mesmo sítio. Foi utilizado um mosaico de imagens QuickBird obtidas no Software *Google Earth* apenas para observação do terreno o que possibilitou a visualização de afloramentos rochosos.

Originalmente os dados SRTM obtidos contém um pixel de 90m. Para que fosse construído o MDE os dados foram interpolados para que se obtivesse um *Grid* com tamanho de célula de 10m, obtendo curvas de nível com esta equidistância assim como WOBUS (2003), para depois disto ser feito o MDE utilizando o Software *ArcGis 9.3*.

O MDE será utilizado apenas para a visualização da mudança do padrão de relevo da região, (quer sendo bastante acidentado e com pequenos vales fluviais, apresentando muitas escarpas, quer apresentando terraços mais largos e um relevo mais suave) juntamente com a espacialização da variação dos valores dos índices morfométricos analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A interpolação do SRTM para um pixel com 10m, mostra-se eficiente para ressaltar os aspectos do relevo, visto que o modelo fica mais apurado e sensível a variações altimétricas, sendo possível fazer uma boa aproximação de sua compartimentação, segundo os modelos de ciclo geográfico geomorfológico além da possível comparação com o resultado do índice *SL*.

Ao analisar o MDE observa-se que na porção NE, próximo do Fundão, um relevo menos acidentado, com o leito fluvial mais retilíneo, apresentando algumas planícies aluviais e vertentes menos declivosas, ocorrendo alguns relevos residuais testemunhos. Estas características do vale alteram-se bruscamente a jusante de Silvares. . No troço centro sul do MDE, próximo a Orvalho, nota-se uma paisagem bem distinta, sendo o relevo bastante acidentado. O rio Zêzere torna-se meândrico apresentando um vale encaixado com seu perfil típico em V em grande parte de seu percurso e algumas vezes encachoeirados. Observam-se então 2 paisagens com características Geomorfológicas distintas, com sua história de formação mais ou menos na mesma época, formada no Mioceno quando ocorreram os

primeiros movimentos crustais que deformaram a região, soerguendo a Serra da Estrela e regiões adjacentes situadas na ZCI, inseridas em uma região pediplanada conhecida como Meseta Ibérica.

Ao observar o seu perfil longitudinal percebe-se que o rio Zêzere não se encontra em equilíbrio, apresentando algumas rupturas em seu curso. No gráfico 1 são destacadas as duas quebras mais abruptas, possivelmente tendo sua origem quando uma região aplainada é atingida por algum rápido movimento tectônico ou eustático, ocasionando alterações em seu nível de base.

Na figura 3 observam-se três perfis topográficos em diferentes contextos geomorfológicos. O perfil 1 localiza-se, na área do Fundão, região da Cova da Beira. O vale é bastante aberto e o rio chega a desenvolver nesta área uma planície aluvial. O perfil 2 foi delineado sobre as cristas quartzíticas de Orvalho, situadas entre Sarzedas e Farjão, estas rochas são resistente a erosão. Pode-se observar o alinhamento de seus cumes. Nota-se um perfil bastante recortado com alguns picos e elevações. O perfil 3 é parecido com o perfil 2, apresenta seu leito bem encaixado, pode-se notar que o seu perfil é bastante escarpado, característico de vertentes em V, no entanto não é tão recortado como o perfil 2, pois os interflúvios em vertentes de xisto tendem a dar cabeços arredondados.

Ao observar o gráfico 2 figuras A e B, que representa os dados referentes ao perfil longitudinal e o índice SL sobrepondo o perfil longitudinal. Nota-se que onde os valores do índice SL apresentam maior discrepância entre si, coincidem com as áreas de rupturas do perfil longitudinal, e onde apresenta os menores valores coincide onde o rio tem o seu traçado mais retilíneo. É curioso verificar que a montante das cristas quartzíticas de Orvalho, os índices SL são bem inferiores ao que se encontram a jusante. Este facto sublinha a importância das soleiras de rocha resistente na regularização dos troços dos rios a montante daqueles níveis de base locais.

GRAFICO 1

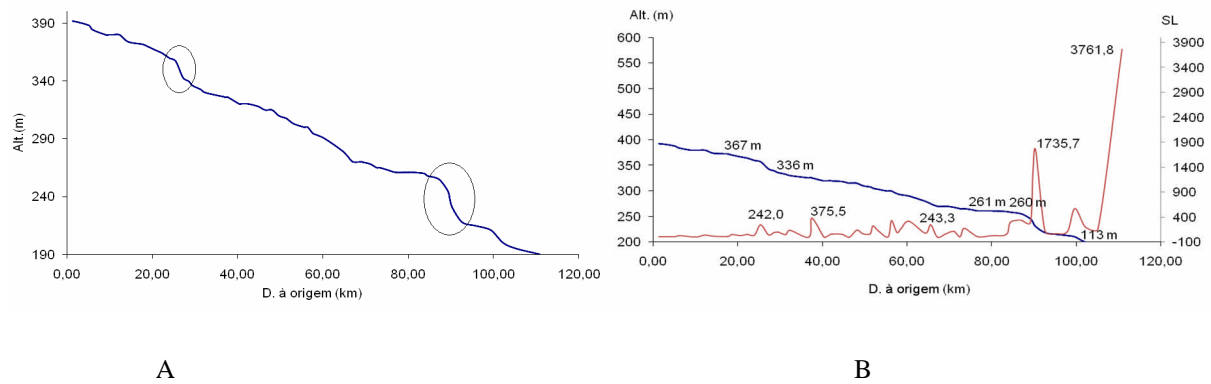


Gráfico 1. A - Perfil Longitudinal, B - Índice SL Perfil longitudinal

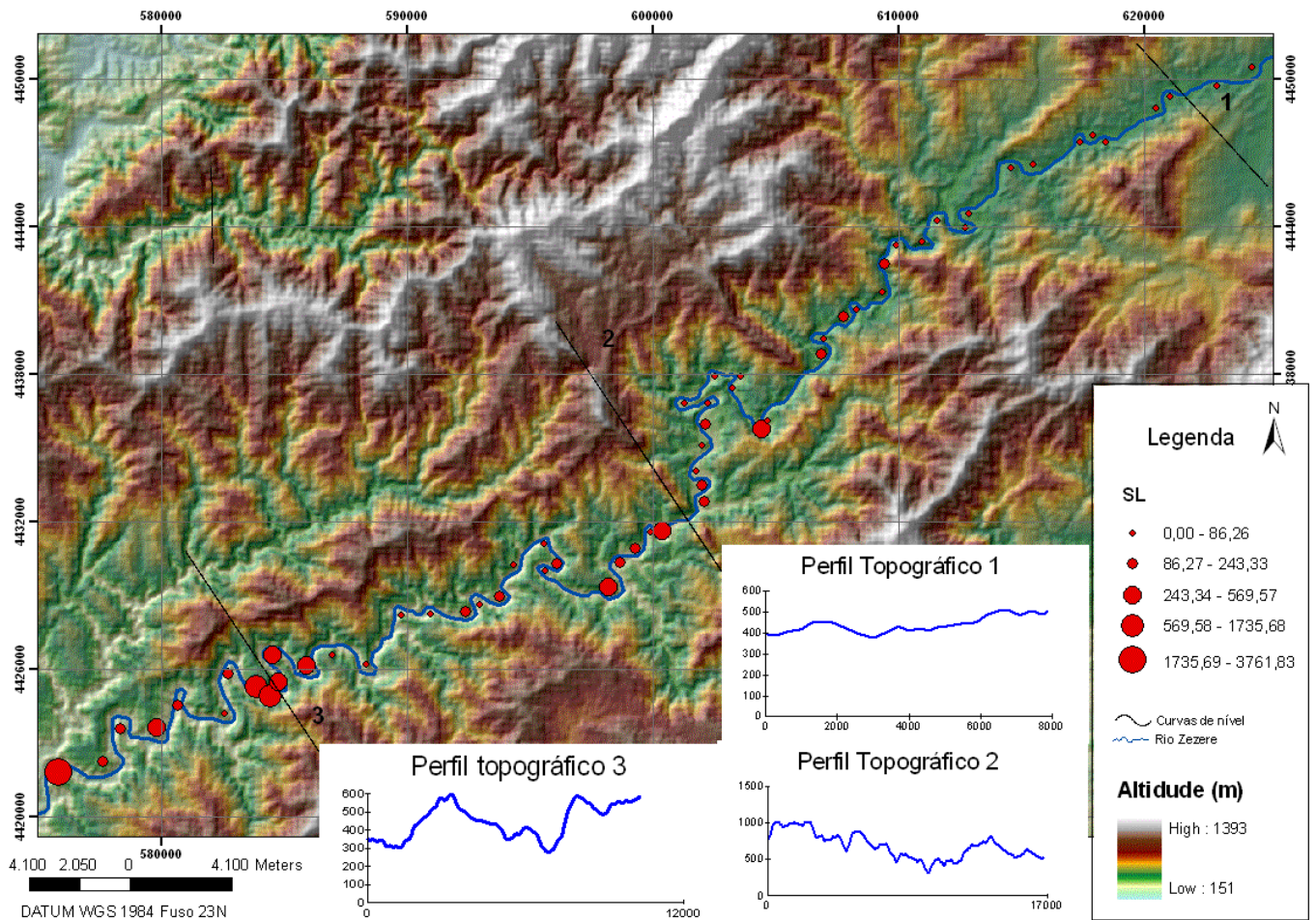


FIGURA 2

Figura2. Modelo Digital de Elevação, especialização do índice SL.

CONCLUSÃO

A análise morfométrica aqui delineada se mostrou bastante eficiente, na identificação de roturas de declive devidas a possíveis deformações tectônicas, migração de vagas de erosão regressivas, ou devidas a causas litológicas. A utilização da análise do perfil longitudinal do curso de água, a relação entre declividade e extensão de cursos fluviais, índice SL, além de técnicas em sensoriamento remoto, para espacialização dos dados foi eficaz. Os resultados encontrados podem subsidiar futuros processos de planejamento para a bacia, já que a ocupação do solo em áreas com as características físicas da bacia do rio Zêzere são complicadas.

O uso de técnicas de geoprocessamento permitiram otimizar a aplicação dos modelos em questão. A tecnologia é muito acessível, permitindo resultados de qualidade e confiáveis. Outra característica importante destas técnicas é a capacidade de inserção de novos dados e a atualização das bases montadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, M.J, et. all., (2006) .Caracterização multidisciplinar dos recursos hídricos subterrâneos em áreas urbanas e montanhosas (Norte e Centro de Portugal): Metodologias e técnicas. Actas do II Fórum Ibérico de águas engarrafadas e termalismo. Porto 2006
Disponível em: http://www.lattex.fc.ul.pt/Lattex_Publ.htm acessado em, Julho 2007.

Christofolletti, A. (1980) Gemorfolgia. São Paulo, Edgard Blucher, 2^oed 188p.

Chen, Y. Sung, Q. Chen, C. Jean, J. (2006) Variation in tectonic activities of the central and southwestern foothills, Taiwan, inferred from river hack profiles. Terr. Atmos. Ocean. Sci., Vol. 17, No. 3, 563-578. Disponível em: <http://tao.cgu.org.tw/pdf/v173p563.pdf> acessado em: Julho 2007

Etchebhere, M. L. Terraços nequaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas. Rio Claro, 2000 2v. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

Etchebhere, M. L., Fulfaro, J. V. Perinotto, J. A. J. (2004) Aplicação do Índice “Relação declividade-extensão RDE” na bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações Neotectônicas; Revista do Instituto de Geociências –USP Geologia USP Série Científica, São Paulo , v.4 n.2, p. 43-56.

Ferreira, N. Vieira, G. (1999) - Guia geológico e geomorfológico do Parque Natural da Serra da Estrela. Locais de interesse geológico. Instituto Geológico e Mineiro e Instituto da Conservação da Natureza.

Frankel, L. K. (2002) Quantitative topographic differences between erosionally exhumed and tectonically active mountain fronts: Implications for late-Cenozoic evolution of the southern Rocky Mountains. A Thesis Presented to the Graduate and Research Committee of Lehigh University in Candidact for the Degree os Master os Science in Geological Sciences. May 3

Guerra, A. J. T. Cunha, S. B. (1998) Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 3º Ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. 472p.

Goldrick, G. Bishop, P. (2006) Regional analysis of bedrock stream long profiles: evaluation of Hack's SL form, and formulation and assessment of an alternative (the DS form). Earth Surface Processes and Landforms Published online 5 September 2006 in Wiley InterScience Disponível em: www.interscience.wiley.com. Acessado em: Julho 2007

Hack, J. T. (1973) Stream-profile analysis and stream-gradient index. *J. Res. Geol. Survey*, 429p.

Hesterberg, T.C. et.all., Tectonic Deformation Estimation using Stream Gradients: Nonparametric Function Estimation from Difference Data using Splines and Conjugate Gradients.

<http://neptune.galaxy.gmu.edu/interface/I00/I2000Proceedings/THesterberg/thesterberg.pdf> acessado em Julho 2007.

Leender, M. R; Atewart, M. D. (1996) Fluvial incision and sequence stratigraphy: alluvial reponses to relative sea-level fall and their detection in the geological Record. In: Sequence Stratigraphy in british geology (s.p. Hesselbo and D.N; Parkinson, Eds.) Spec. Publ. Geol. Soc. London, 103, 25-39

Mateus, A. Dinâmica de fluidos tardi-varisca; constrangimentos geodinâmicos e implicações metalogenéticas, 7ª conferência anual do gget, 2001 Grupo de Geologia Estrutural e Tectônica Disponível em: <http://creminer.fc.ul.pt/Portugues/ShortConferenceAbstracts.htm> acessado em Junho 2007

Merrits, J. et.all, (1994) Long river profiles, tectonism and eustasy: A guide to interpreting fluvial terraces. *Journal of geophysical Research*, Vol. 99. NO. B7 July 10.

Molin, P et. all. (2004) Geomorphic Expression of Active Tectonics in a Rapidly-Deforming forearc, sila massif, Calabria Southern Italy. *American journal of Science*, Vol.304, September, p.559-589.

Meschericov, Y. A.(1968). Neotectonics. In: the Encyclopedia of Geomorphology, R.W. Fairbridge (Ed). Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. Stroudsboung, Pensilvânia, 773p.

Pulha, D. T. Jansma, P. E., Mattoli, G.S. Assessing the interplay of tectonics, sedimentology, and lithology in coastline development of puerto rico using A GIs (787) 832-4040 Disponível em <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/6913/18663/00860497.pdf> acessado em: Agosto 2007

Ribeiro, O. Opúsculos Geográficos. III: Aspectos da Natureza, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1990, 356 p.

Wobus, C. et. al., in press (2005), Tectonics From Topography: Procedures, promise and pitfall , GSA Penrose Publication: Tectonics, Climate and Erosion, 2003