



Revista Brasileira de Geomorfologia - Ano 8, nº 2 (2007)

ESTIMATIVA DAS TAXAS DE EROSIÃO DAS TERRAS ALTAS DA ALTA BACIA DO RIO DAS VELHAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO: IMPLICAÇÕES PARA A EVOLUÇÃO DO RELEVO

André Augusto Rodrigues Salgado

*Departamento de Geografia do IGC/UFMG. Av. Antônio Carlos, Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, MG
andresalgado@geo.igc.ufmg.br*

César Augusto Chicarino Varajão

DEGEO/EM/UFOP. Campus Morro do Cruzeiro, Bauxita, 35400-000, Ouro Preto, MG. varajao@degeo.ufop.br

Fabrice Colin

IRD, UR-037, 98848 Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie. Fabrice.Colin@noumea.ird.nc

Régis Braucher

CEREGE-Europôle de l'Arbois BP80, 13545 Aix-en-Provence, França. braucher@cerege.fr

Angélica Fortes Drummond Chicarino Varajão

DEGEO/EM/UFOP. Campus Morro do Cruzeiro, Bauxita, 35400-000, Ouro Preto, MG. angelica@degeo.ufop.br

Hermínio Arias Nalini Júnior

DEGEO/EM/UFOP. Campus Morro do Cruzeiro, Bauxita, 35400-000, Ouro Preto, MG. nalini@degeo.ufop.br

Luis Felipe Soares Cherem

*Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, IGC/UFMG. Av. Antônio Carlos, 6627 Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte
luis.cherem@gmail.com*

Breno Ribeiro Marent

*Departamento de Geografia do IGC/UFMG. Avenida Antônio Carlos, Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, MG
brenomarent@yahoo.com.br*

Cristina Budei Brindusa

Geografia na Université de Montreal – Canadá - brincris@yahoo.com

Resumo

O presente trabalho investiga a evolução das terras altas da alta Bacia do Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero/MG – Bacia do São Francisco. A metodologia adotada se baseia na mensuração da produção do isótopo cosmogênico ¹⁰Be em escarpas e superfícies erosivas e na confecção de modelo digital do terreno. Os resultados obtidos demonstraram que estas terras altas -

substrato de quartzitos, cangas e itabiritos – são extremamente resistentes ao rebaixamento vertical do relevo (downwearing) – taxas de erosão de 1,71 e 2,58 metros por milhão de anos (m/Ma) - mas apresentam certa fragilidade frente o processo de retração lateral das escarpas (backwearing) – taxas de erosão entre 12,71 e 14,60 m/Ma. Demonstam ainda um aumento areal das terras baixas em detrimento das terras de altitude mediana na alta Bacia do Rio das Velhas.

Palavras-chave: retração lateral de escarpas, isótopos cosmogênicos (^{10}Be), alta Bacia do Rio das Velhas/Quadrilátero Ferrífero/MG, evolução do relevo.

Abstract

This work studies the evolution of high lands of Rio das Velhas Basin in Quadrilátero Ferrífero/MG – São Francisco Basin – Brazil. The methodology is the measurement of ^{10}Be cosmogenic nuclei production in escarpments and erosion surfaces and the production of Digital Elevation Model. The results show that high lands – quartzites, ferruginous crust and itabirites - are very resistant front of the downwearing processes – rates of erosion between 1.71 and 2.58 m/My – but are more fragile front of the backwearing escarpment - rates of erosion between 12.71 and 14.60 m/My. The results show also the surface expansion of low lands to the detriment of middle lands in the high Rio das Velhas Basin.

Keywords: Escarpment backwearing, cosmogenic nuclei (^{10}Be), High Rio das Velhas Basin/Quadrilátero Ferrífero/MG, relief evolution.

Introdução

A alta Bacia do Rio das Velhas – Sub-bacia do Rio São Francisco - localiza-se no interior do Quadrilátero Ferrífero/MG, à montante do trecho onde este curso fluvial cruza a Serra do Curral/Piedade no Fecho Sabará (Figura 1). O clima regional é tropical semi-úmido afetado pela altitude. Os verões são úmidos e quentes. Os invernos secos e amenos. A estratigrafia regional foi resumida por Alkmim & Marshak (1998) (Figura 2) em: (i) embasamento cristalino, composto por granitos, gnaisses e migmatitos de idade arqueana; (ii) Supergrupo Rio das Velhas, composto basicamente por quartzitos, xistos e filitos que constituem uma sequência tipo *greenstone belt*, também de idade arqueana; (iii) Supergrupo Minas, constituído por rochas metassedimentares (quartzitos, xistos, filitos e formações ferríferas) de idade proterozóica e (iv) Grupo Itacolomi, constituído basicamente por quartzitos igualmente de idade proterozóica.

O primeiro estudo sobre o relevo do Quadrilátero Ferrífero foi o de Hader & Chamberlin (1915). Este trabalho afirmou que o modelado regional é controlado pela estrutura geológica e por processos erosivos diferenciais. Quartzitos e itabiritos constituem o substrato das terras altas, os xistos e filitos compreendem o substrato das terras de altitude mediana e as terras baixas estão moldadas sobre granito-gnaisses.

Os estudos geomorfológicos posteriores traçaram considerações semelhantes acerca da geomorfologia da região (James, 1933; Ruellan, 1950; King, 1956; Tricart, 1961; Barbosa & Rodrigues, 1965, 1967; Dorr, 1969; Maxwell, 1972; Lichte,

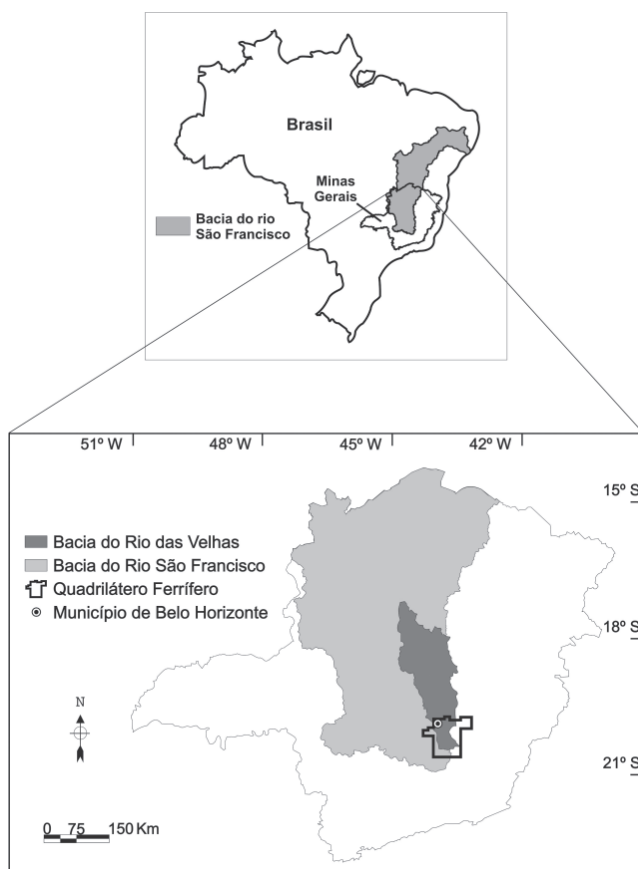


Figura 1 – Localização da alta Bacia do Rio das Velhas na Bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais.

1979; Barbosa, 1980; Varajão, 1991). No entanto, todos estes trabalhos foram dedutivos. A intensidade da erosão no Quadrilátero Ferrífero, seja em termos de atual denudação geoquímica, ou de denudação total à longo-termo, só foi mensurada a partir do século XXI e demonstrou que, na região, os diversos litotipos podem ser classificados em três patamares de resistência frente aos processos erosivos (Salgado et al. 2004, 2006, 2007, in press): (i) Rochas frágeis – rochas carbonáticas; (ii) Rochas de resistência intermediária – xistos, filitos e granitos-gnaisses e; (iii) Rochas resistentes – cangas, itabiritos e quartzitos.

Os trabalhos acima apresentados, apesar de comprovarem que a evolução quaternária do relevo do Quadrilátero Ferrífero/MG é controlada pela erosão diferencial, não se aprofundaram na questão de como evoluem as terras altas do Quadrilátero Ferrífero/MG, em especial aquelas localizadas na alta Bacia do Rio das Velhas. Neste contexto, através da utilização do isótopo cosmogênico ^{10}Be , o presente trabalho procura melhor compreender os processos erosivos e a evolução do relevo das terras altas da alta Bacia do Rio das Velhas.

O isótopo cosmogênico ^{10}Be

O isótopo cosmogênico ^{10}Be ocorre naturalmente na atmosfera planetária. É produzido pela interação entre as partículas primárias (partículas α e prótons) e secundárias (nêutrons, muons lentos e muons rápidos) dos raios cósmicos com núcleos atmosféricos de ^{14}N e ^{16}O (Siame et al., 2000). Traços deste isótopo também se formam no interior dos minerais que compõem os sedimentos, rochas, veios de quartzo e solos, localizados nos metros mais superficiais da crosta terrestre. Esta formação ocorre graças à interação entre estes mesmos raios cósmicos e os elementos ^{16}O , ^{27}Al , ^{28}Si e ^{56}Fe presentes nestes minerais (Siame et al., 2000). A intensidade desta formação varia em função da altitude, da latitude, da profundidade, da quantidade de sombra proporcionada pelo relevo e do tempo de exposição. Logo, conhecendo-se as quatro primeiras variáveis e mensurando-se a concentração de ^{10}Be no interior do mineral, é possível calcular a intensidade de exposição dos sedimentos, das rochas, dos veios de quartzo e dos solos à radiação cósmica e, conseqüentemente, a taxa de erosão da superfície onde eles se localizam. Deve-se ressaltar que o ^{10}Be se acumula nos minerais apenas até que alcance um estágio estacionário (decaimento radioativo (1,5 Ma)) ou que esta acumulação seja compensada pelas perdas erosivas (Lal, 1991).

Em amostras de rochas, de veios de quartzo e de solos, o método do ^{10}Be indicará as taxas locais de erosão ao longo do último milhão e meio de anos – meia-vida do isótopo. Já em sedimentos fluviais, o ^{10}Be mensurará a média de erosão

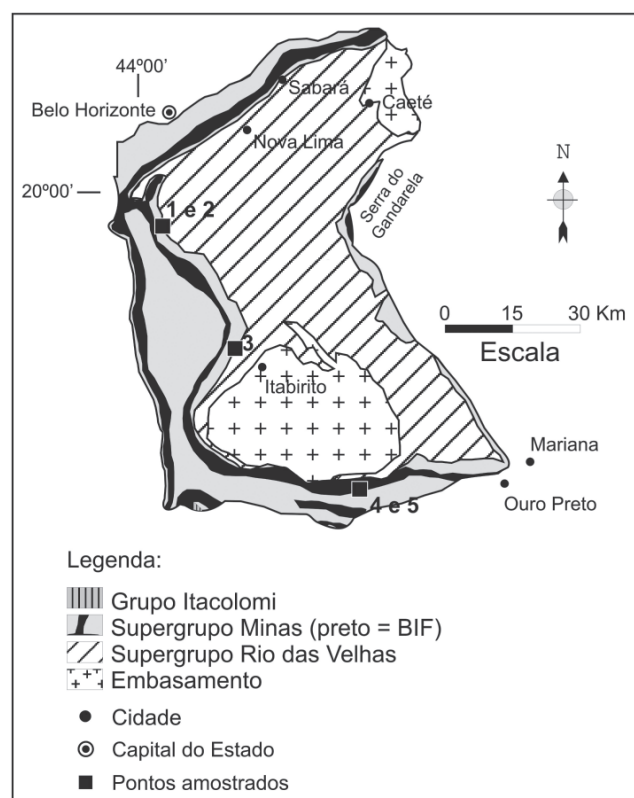


Figura 2 – Geologia da alta Bacia do Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero e pontos de amostragem.

da bacia hidrográfica à montante do ponto onde a amostra foi coletada (Brown et al., 1995, 1998).

Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos do presente trabalho tiveram por base a amostragem de quartzitos em escarpas e em pequenas superfícies erosivas para a mensuração da produção *in-situ* do isótopo cosmogênico ^{10}Be . Cinco amostras foram coletadas nas terras altas da alta Bacia do Rio das Velhas.

A escolha dos pontos de amostragem foi orientada por dois fatores: (i) representatividade geomorfológica das escarpas e superfícies erosivas quartzíticas do Quadrilátero Ferrífero e; (ii) áreas com baixa interferência antrópica, pois a mesma altera as taxas naturais de erosão. Neste contexto, as amostras 1 e 2, foram coletadas nos quartzitos que compõem a escarpa nordeste da Serra da Moeda no interior da Reserva Ambiental dos Fechos (Figura 2). A amostra 3 nas proximidades de Itabirito, em área de proteção ambiental pertencente à mineradora MBR. Por fim, as amostras 4 e 5 foram coletadas em pequenas superfícies erosivas localizadas no alto da Serra do Dom Bosco (Figura 2). Embora estas duas

Tabela 1 – Taxas de erosão de escarpas e superfícies nas terras altas do Quadrilátero Ferrífero – alta Bacia do Rio das Velhas.

Ponto	Coordenadas	Rocha de superfície	Densidade da rocha de superfície	Posição no relevo	¹⁰ Be (at/g)	Taxa de erosão (m/Ma)
1 – Serra da Moeda	20°02'27``S 43°57'16``W	Quartzito	2,57	Escarpa	436.260 ± 59.749	14,60 ± 2.18
2 - Serra da Moeda	20°02'27``S 43°57'16``W	Quartzito	2,57	Escarpa	471.576 ± 65.142	13,42 ± 2.02
3 – Itabirito	20°14'58``S 43°49'14``W	Itabirito	3,02	Escarpa	429.442 ± 44.835	12,71 ± 1.53
4 – Serra do Dom Bosco	20°25'15``S 43°39'02``W	Quartzito	2,57	Superfície Erosiva	2.086.715 ± 166.473	2,58 ± 0,26
5 – Serra do Dom Bosco	20°25'15``S 43°38'58``W	Quartzito	2,57	Superfície Erosiva	2.928.072 ± 289.117	1,71 ± 0,20

últimas amostras não estivessem localizadas em área de proteção ambiental, as mesmas foram coletadas no local ambientalmente mais preservado em que se encontrou, dentro da área de estudo, superfícies erosivas representativas.

No Laboratório de Preparação de Amostras para Geocronologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), as amostras (cerca de 70 gramas) foram primeiro trituradas e reduzidas a pó em frações entre 1 e 0,25mm. Posteriormente, foram encaminhadas ao Laboratório de Isótopos Cosmogênicos do Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (CEREGE) na França. Nestes laboratórios, o quartzo foi purificado e selecionado através da adição de uma solução de aproximadamente 100ml de HCl e H₂SiF₆ que eliminou todos os outros minerais. Para a eliminação do ¹⁰Be atmosférico nas amostras de quartzo puro foram adicionadas três soluções de cerca de 20 ml de HF, em intervalos de 24 horas entre cada uma. Na seqüência, o quartzo purificado do ¹⁰Be atmosférico foi dissolvido em cerca de 100 ml de HF puro. Nesta nova solução foram acrescentadas 0,3 g de ⁹Be que serve como elemento traçador. Extrações químicas sucessivas com base em solventes e precipitações foram então realizadas para se recuperar o ⁹Be e ¹⁰Be dissolvidos na solução de HF. Depois de recuperados, o ¹⁰Be foi mensurado através de acelerador espectrômico de massas (Tandétron AMS Facility, Gif-sur-Yvette/França). A mensuração da relação entre ¹⁰Be/⁹Be foi calibrada segundo The National Institute of Standards and Technology (NIST). Para validação dos resultados foi utilizado o padrão internacional SRM 4325 ¹⁰Be/⁹Be (26,8±1,4)×10⁻¹². A

porcentagem de erro do método de mensuração do ¹⁰Be inclui 3% referentes a passagem do elemento no acelerador, 1% de erro estatístico na contagem do elemento e 6% na produção in situ no quartzo amostrado (Stone, 2000).

As taxas obtidas neste trabalho, acrescidas àquelas apresentadas por Salgado et al. (in press), permitiram a reconstituição do relevo da alta Bacia do Rio das Velhas para 1,5 Ma atrás. Esta reconstituição foi realizada por meio de modelagem matemática matricial desenvolvida na plataforma Dinâmica EGO (Rodrigues et al.; 2007). O modelo desenvolvido é determinístico, empírico, distributivo e discreto, conforme descrito em Goodchild et al. (1993). Nesse modelo, os planos de informação de entrada são os mapas de distância dos canais fluviais e de litotipos (itabirito, quartzito, xisto-filito, granito-gnaiss), sobre os quais são aplicadas as taxas de erosão para reconstituir o relevo. O tipo dos dados de entrada – taxas de erosão e distância da rede de drenagem – permitiu a estruturação de equações lineares para as taxas de erosão de cada litotipo, baseando-se na distância talvegue/interflúvio. Essas equações representam o rebaixamento do relevo (downwearing) nos últimos 1,5 Ma. O recuo das escarpas (backwearing) foi implementado por meio da aplicação da taxa média de retração das escarpas nas áreas com declividade acima de quarenta e cinco graus. Nessas áreas é aplicada uma lógica computacional que substitui os valores altimétricos próximos à ruptura negativa da escarpa pelos valores da ruptura positiva, sendo a amplitude (alcance) dessa substituição orientada pelas taxas de recuo.

Tabela 2 – Taxas de erosão/denudação (amostrado em sedimentos) em diferentes litotipos do Quadrilátero Ferrífero (Adaptado de Salgado et al., *in press*).

Geologia	Densidade das rochas de superfície	^{10}Be (10^5 at/g)	Taxa de erosão/denudação mensurada com o ^{10}Be (m/Ma)
Xisto-filito	2,81	6,60 ± 1,49	7,95 ± 1,86
Xisto-filito	2,81	4,60 ± 1,75	11,82 ± 5,54
Granito-gnaisse	2,73	4,24 ± 0,59	12,92 ± 1,97
Quartzito	2,57	51,86 ± 4,10	0,29 ± 0,03
Quartzito	2,57	29,22 ± 7,59	0,74 ± 0,20
Quartzito	2,57	20,70 ± 1,30	2,35 ± 0,20

Apresentação dos resultados

A análise da Tabela 1 demonstra uma grande diferença entre as taxas de erosão das áreas escarpadas – taxas entre 12,71 e 14,60 m/Ma – com as das superfícies erosivas – taxas entre 1,71 e 2,58 m/Ma. As escarpas quartzíticas e itabiríticas são erodidas muito mais rapidamente que as superfícies erosivas que possuem o mesmo substrato. Logo, as escarpas das terras altas recuam lateralmente cerca de cinco até quase nove vezes mais rápido do que são rebaixadas verticalmente (Tabela 1). Vale ressaltar que as taxas de erosão mensuradas neste trabalho para as superfícies erosivas quartzíticas (Tabela 1), são extremamente semelhantes àquelas mensuradas pelo mesmo método em bacias hidrográficas completamente localizadas sobre quartzitos (Tabela 2). Tal fato comprova a validade dos resultados obtidos neste trabalho.

Discussão

Os dados da Tabela 1 demonstram que as terras altas da alta Bacia do Rio das Velhas, embora sejam extremamente resistentes frente ao rebaixamento do relevo (downwearing), apresentam certa fragilidade diante do recuo lateral das escarpas (backwearing). Esta fragilidade pode estar associada à erosão dos litotipos mais frágeis – xistos-filitos e granitos-gnaisses – que geralmente constituem a base destas escarpas.

A comparação entre as taxas erosivas obtidas neste trabalho, taxas entre 1,71 e 2,58 m/Ma para superfícies sobre quartzitos, com aquelas obtidas em outros trabalhos já realizados no Quadrilátero Ferrífero (Tabela 2), taxas entre

7,95 e 11,82 m/Ma para xistos e filitos e de 12,92 m/Ma para granito-gnaisses, permite verificar a ampliação altimétrica em cerca de 10 m/Ma do escarpamento existente entre as terras altas e as terras baixas e médias da alta Bacia do Rio das Velhas. Tal ampliação do escarpamento confirma que, conforme atestado pelos trabalhos geomorfológicos anteriormente realizados na região (Hader & Chamberlin, 1915; Ruellan, 1950; King, 1956; Tricart, 1961; Barbosa & Rodrigues, 1965, 1967; Dorr, 1969; Maxwell, 1972; Barbosa, 1980; Varajão, 1991; Salgado et al., *in press*), um dos principais processos modeladores do relevo na alta Bacia do Rio das Velhas e, no Quadrilátero Ferrífero como um todo, é a erosão diferencial.

Evolução da Bacia

Lipski (2002) atesta que o Quadrilátero Ferrífero sofreu atividade neotectônica durante o Quaternário. No entanto, na atualidade, pouco se sabe sobre a intensidade desta atividade, bem como ainda é impossível mapear com precisão este processo. Logo, qualquer modelo que tente reconstruir o relevo da alta Bacia do Rio das Velhas durante o Quaternário pode apenas considerar que, como a região sofreu certo grau de soerguimento, de modo geral, no início do Quaternário, o modelado possuía cotas um pouco menos acentuadas em seus diversos compartimentos. Neste contexto, utilizando as taxas erosivas obtidas neste trabalho em conjunto com aquelas apresentadas por Salgado et al. (2008) aplicadas em modelos digitais do terreno, foi possível verificar a dissecação do relevo da alta Bacia do Rio das Velhas em suas terras baixas e médias (Figura 3). A análise da Figura 3 demonstra

ainda que, tanto nas classes altimétricas de classificação do relevo de Barbosa (1980), quanto nas de King (1956), as terras baixas tiveram aumento de área em detrimento das terras de altitude mediana. Por sua vez, as terras altas praticamente não apresentaram alteração de superfície.

Tais resultados podem ser compreendidos como o rejuvenescimento e expansão do ciclo denudacional Velhas de King (1956) na alta Bacia do Rio das Velhas. Podem ainda ser compreendidos como a comprovação da existência do Pediplano Pós-Pliocênico de Barbosa & Rodrigues (1965). No entanto, a existência destes ciclos denudacionais e de superfícies de aplainamento no Quadrilátero Ferrífero é tema extremamente controverso (Varajão, 1991). Desta forma, é mais seguro afirmar que a Figura 3 comprova os resultados dos trabalhos de Bacellar et al. (2005) e de Salgado et al. (2007) que atestaram que as terras baixas e médias do Quadrilátero Ferrífero foram dissecadas durante o Quaternário. Tal dissecação seria consequência direta do encaixamento do Rio das Velhas no Fecho Sabará. Este encaixamento está relacionado a um soerguimento neotectônico regional (Magalhães Jr. & Saadi, 1994).

Considerações Finais

Ao final do presente estudo foi possível comprovar, acerca da evolução do relevo da alta Bacia do Rio das Velhas, que:

1) As terras altas são extremamente resistentes frente ao rebaixamento vertical do relevo (downwearing), mas são frágeis diante da retração lateral das escarpas (backwearing).

2) Ao longo do último 1,5 Ma ocorreu uma ampliação da altitude das escarpas que separam as terras altas das terras médias e baixas.

3) Graças à dissecação do relevo regional, as terras baixas ganharam área em detrimento das terras médias ao longo do Quaternário.

4) As terras altas da alta Bacia do Rio das Velhas praticamente não sofreram processos de dissecação e nem tiveram significativa diminuição de área ao longo do Quaternário.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES e à COFECUB (projeto 406/02) pelo financiamento. Agradecemos Professor Dr. Antônio Pereira Magalhães Júnior (Departamento de Geografia da UFMG) pelo apoio, ao Hermann Oliveira Rodrigues (CSR/UFMG) pelo suporte técnico na confecção do modelo digital do terreno. Agradecemos ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e a MBR pelo apoio no campo e pelo acesso as áreas de proteção ambiental.

Referências Bibliográficas

- Alkmim, F.F. & Marshak, S. (1998) Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Peleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90 (1): 29-58.
- Bacellar, L.A.P.; Coelho Neto, A.L. & Lacerda, W.A. (2005) Controlling factors of gullyng in the Maracujá Catchment, Southeastern Brazil. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30: 1369-1385.
- Barbosa, G.V. (1980) Superfícies de Erosão no Quadrilátero Ferrífero. *Revista Brasileira de Geociências*, 10 (1): 89-101.
- Barbosa, G.V. & Rodrigues, D.M.S. (1965) O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos. *Boletim Mineiro de Geografia*, 10/11: 3-35.
- Barbosa, G.V. & Rodrigues, D.M.S. (1967) *Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: IGC/UFMG. 130 p.
- Brown, E.T.; Stallard, R.F.; Larsen, M.C.; Raisbeck, G.M. & Yiou, F. (1995) Denudated rates determined from accumulation of in situ produced ¹⁰Be in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Earth and Planetary Science Letters*, 129: 193-202.
- Brown, E.T.; Stallard, R.F.; Larsen, M.C.; Bourlès, D.L.; Raisbeck, G.M. & Yiou, F. (1998) Determination of predevelopment denudation rates of an agricultural watershed (Cayaguás River, Puerto Rico) using in-situ-produced ¹⁰Be in river-borne quartz. *Earth and Planetary Science Letter* 160: 723-728
- Dorr, J.V.N. (1969) Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey Professional Paper, 641-A, 110p.
- Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T. (1993) *Environmental modeling with GIS*. New York: Oxford University Press. 488 p.
- Hader, E.C. & Chamberlin, R.T. (1915) The Geology of Central Minas Gerais. *Journal Geology*, 23 (445): 341-424.
- James, P. (1933) The surfaces configuration of the southeastenstn Bazil. *Ann. Ass. America Geogr.*, 23 (3): 165-193.
- King, C.L. (1956) A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geociências*, 18 (2): 147-265.
- Lal, D. (1991) Cosmic ray labelling of erosion surfaces: in situ nuclide production rates and erosion models. *Earth Planetary Science Letters*, 104: 424-439.

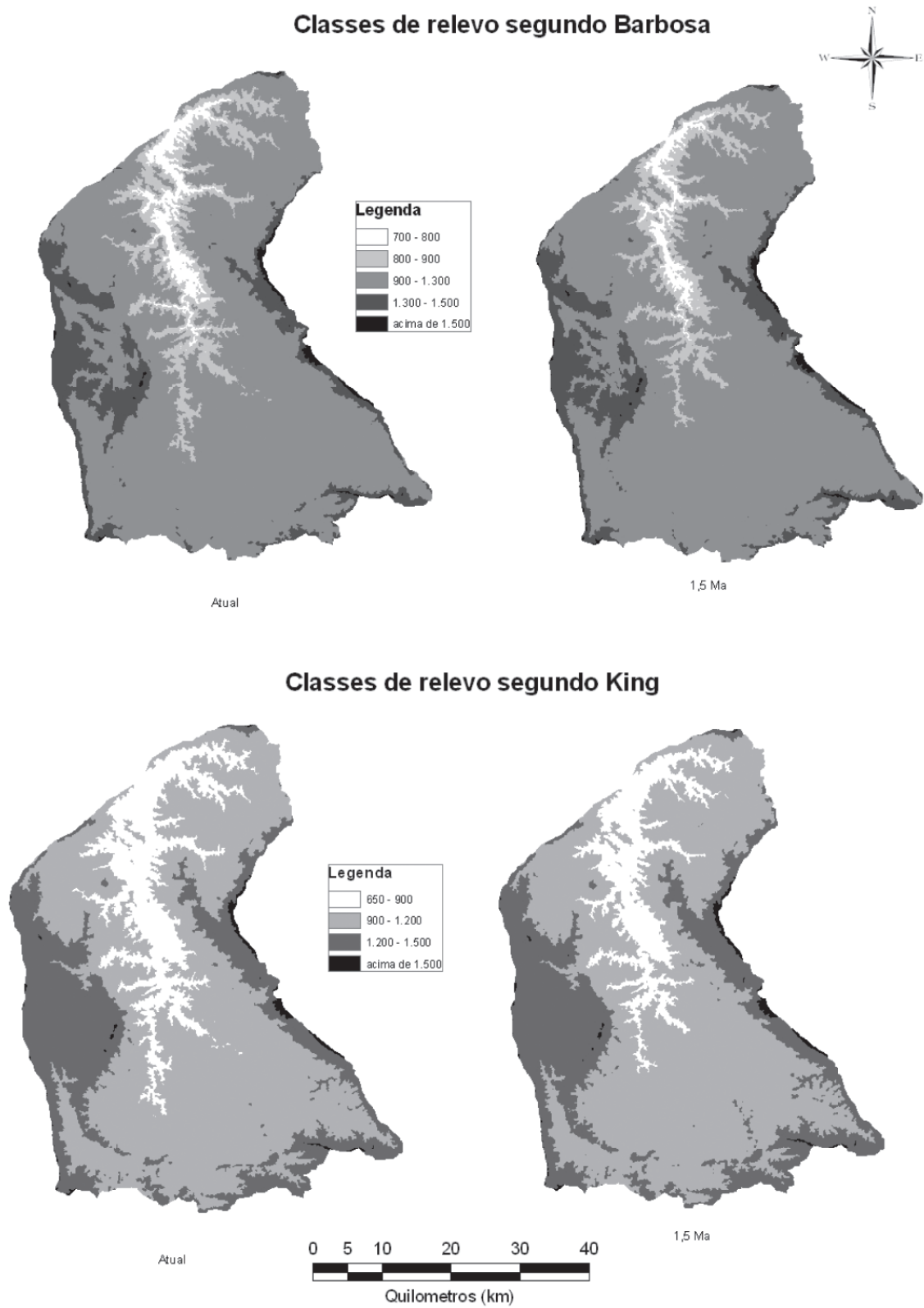


Figura 3 – Evolução do relevo da alta Bacia do Rio das Velhas no último 1,5 Ma.

- Lichte, M. (1979) *Morphologie Untersuchung in der Serra do Caraça und ihrem Vorland*. 139 p. Master Thesis, Universität zu Göttingen, Göttingen.
- Lipski, M. (2002) *Tectonismo cenozóico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. 171 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - DEGEO/EM/Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Magalhães Júnior, A.P. & Saadi, A. (1994) Ritmos da dinâmica fluvial Neo-Cenozóica controlados por soerguimento regional e falhamento: o vale do rio das Velhas na Região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2(1): 42-54.
- Maxwell, C.H. (1972) Geology and ore deposits of the Alegria district, Minas Gerais, Brazil. Washington, *United States Geological Survey Professional Paper*, 341j, 72 p.
- Rodrigues, H.O.; Soares-Filho, B.S. & Costa, W.L.S. (2007) Dinâmica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., Florianópolis. *Anais XIII SBSR*. São José dos Campos: INPE, p. 3089-3096
- Ruellan, F. (1950) Contribuição ao Estudo da Serra do Caraça. *Anais Associados dos Geógrafos Brasileiros*, 4(2): 77-106.
- Salgado, A.A.R.; Varajão, C.A.C.; Colin, F.; Braucher, R.; Nalini Junior, H.A. & Varajão, A.F.D. (2004) O papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 5 (1): 55-69.
- Salgado, A.A.R.; Varajão, C.A.C.; Colin, F.; Braucher, R.; Nalini Junior, H.A. & Varajão, A.F.D. (2006). Denudation rates of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil): preliminary results from measurements of solute fluxes in rivers and in situ-produced cosmogenic ^{10}Be . *Journal of Geochemical Exploration*. 88: 313-317.
- Salgado, A.A.R.; Varajão, C.A.C.; Varajão, A.F.D.; Nalini Júnior, H.A.; Colin, F. & Braucher, R. (2007) Study of the erosive and denudational processes in the upper Córrego Maracujá Basin (Quadrilátero Ferrífero/MG - Brazil) by the in situ-produced cosmogenic ^{10}Be method. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 905-911.
- Salgado, A.A.R.; Braucher, R.; Varajão, C.A.C.; Colin, F.; Varajão, A.F.D. & Nalini Junior, H.A. (in press) Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of (^{10}Be) cosmogenic nuclei. *Zeitschrift für Geomorphologie*.
- Siame, L.; Bruacher, R. & Bourlès, D.L. (2000) Les nucléides cosmogéniques produits in situ: de nouveaux outils en géomorphologie quantitative. *Bulletin Société Géologue de France*, 171(4): 383-396.
- Stone, J.O. (2000) Air pressure and cosmogenic isotope production. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B10): 23753-23759.
- Tricart, J. (1961) O Modelado do Quadrilátero Ferrífero Sul de Belo Horizonte. *Annales de Géographie*, 70 (N 379): 255-272.
- Varajão, C.A.C. (1991) A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 21(2): 138-145.