



DESNUDAÇÃO GEOQUÍMICA E SEU PAPEL NA MODELAGEM DO RELEVO DA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL

Leonardo Cristian. Rocha - Programa de Pós Graduação do IGC/UFMG. Departamento de
Geografia da UFSJ. rochageo@ufs.edu.br

Cristina H. R. R. Augustin - Professora Titular do IGC/UFMG

Bráulio Magalhães. Fonseca - Programa de Pós Graduação do IGC/UFMG

Lúcia M. L. de A. Auler - Pesquisadora do CDTN

Milton B. Franco - Pesquisador do CDTN

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo analisar a saída geoquímica das bacias hidrográficas a oeste e leste da Serra do Espinhaço Meridional que drenam, respectivamente, para a região cratônica e para o litoral. As perdas geoquímicas nas bacias da região cratônica e litorânea não demonstraram grandes variações, quando comparadas. No entanto, contam com formas de relevo bem distintas, nas quais a saída de elementos químicos parece ter papel importante. A perda de sílica e dos carbonatos associada às zonas de falhas e fraturas favorece o encaixamento e entalhamento da drenagem, que, por sua vez promove e o recuo das escarpas quartzíticas, favorecendo a ampliação das superfícies aplainadas e ao mesmo tempo a formação dos mantos de intemperismo. A evolução do relevo tende ocorrer por processos desnudacionais químicos e mecânicos, no entanto o processo geoquímico é o principal fator na modelagem do relevo na área de estudo.

Palavras Chave: Desnudação Geoquímica e Mecânica, Evolução do Relevo

ABSTRACT: This paper aims to analyze the output geochemistry of river basins to the west and east of the Espinhaço Southern draining, respectively, for the cratonic region and the coast. Losses geochemical cratonic basins and coastal region did not show large variations compared. However, they have very distinct landforms, in which the output of chemical elements play a major role. The loss of silica and carbonates associated with fault zones and fractures favors carving and incising of drainage, which in turn promotes and escarpment retreat quartzite, favoring the expansion of the plain surfaces, while the formation of weathering mantles. The evolution of the emphasis tends to occur denudation chemical and mechanical processes, but the geochemical process is the main factor in the shaping of landform in the study area.



Keywords: Denudation Geochemistry and Mechanical, Evolution of the landforms

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa foi desenvolvida na região que engloba áreas dos municípios de Gouveia e Diamantina, no Espinhaço Meridional, na porção central do estado de Minas Gerais (Fig. 01). Segundo Augustin (1995 a, b), nessa região, remanescentes de superfícies erosivas, correspondentes possivelmente às superfícies de aplainamento de King (1956), vêm sendo submetidas desde o Paleogeno a intenso processo de intemperismo químico sob condições climáticas úmidas, intercalados por períodos mais curtos de predomínio de erosão física, ou mecânica.

De acordo com Augustin (1995b), durante os períodos úmidos, que também podem incluir aqueles predominantes durante os períodos glaciais quaternários, com médias de temperatura de 7 a 8°C mais frias do que as atuais, o intemperismo químico, associado a uma relativa estabilidade tectônica, proporcionou a formação e desenvolvimento de um profundo manto de alteração na área.

Entre os processos mais atuantes durante os períodos mais úmidos, encontra-se a perda por dissolução, deixando para trás apenas rocha e manto de alteração quimicamente “esvaziada”. Segundo Augustin (*op. cit.*), esse esvaziamento geoquímico teria como consequência, uma acumulação relativa de ferro e alumínio, a partir da perda dos elementos mais instáveis.

O presente trabalho tem como objetivo analisar se as saídas de elementos geoquímicos das bacias das bordas oeste e leste da Serra do Espinhaço Meridional são representativas em termos de saídas de sistemas de drenagem fluviais desta região, contribuindo para o entendimento da desnudação geoquímica em zonas tropicais quentes e úmidas; o significado dessas saídas, e se estas apresentam valores diferentes para cada uma das bacias de maneira a caracterizar sistemas erosivos com intensidades variadas.

2 A ÁREA DE PESQUISA

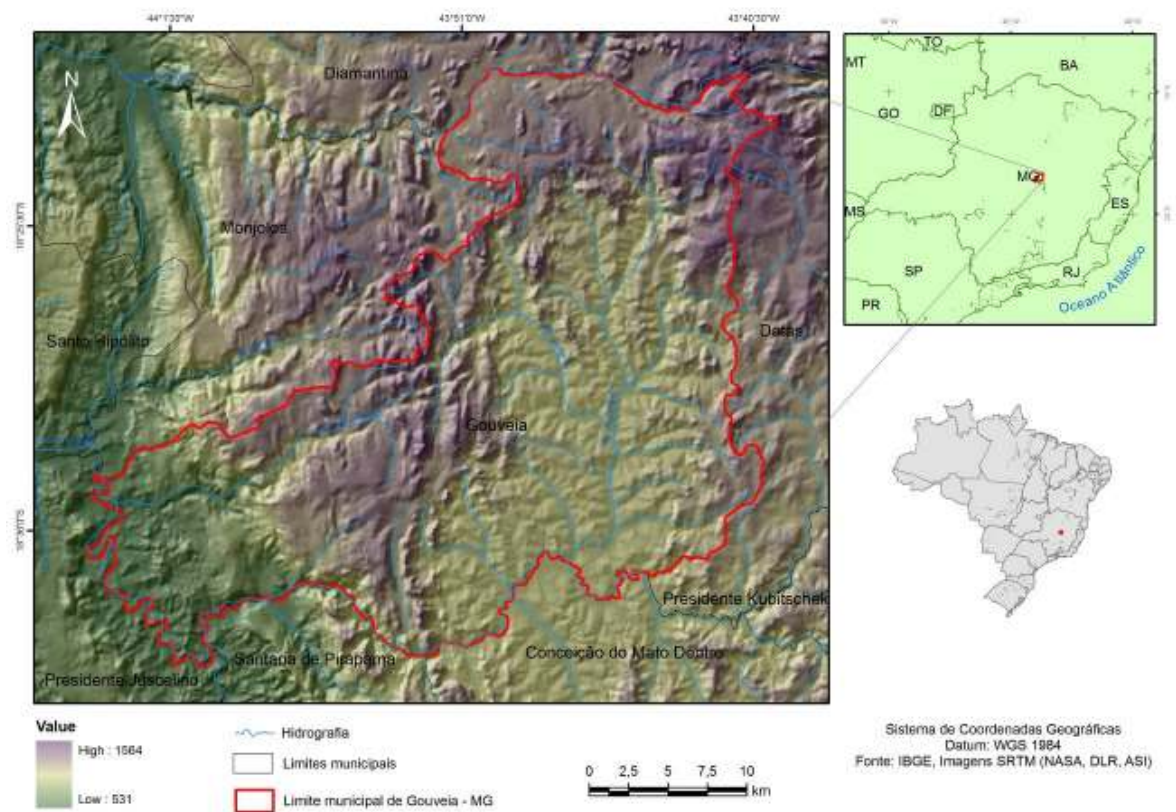
Almeida Abreu (1995) propôs uma estratigrafia para Serra do Espinhaço Meridional, tendo como base três conjuntos tectono-estratigráficos maiores: o Complexo Basal, e os Supergrupos Rio Paraúna e Espinhaço.



O Complexo Basal ocupa parte da faixa mediana central do Espinhaço Meridional, onde é representado predominantemente por rochas arqueanas do complexo granítico de Gouveia. O Supergrupo Rio Paraúna representa uma seqüência supracrustal, englobando uma complexa associação de rochas metamáficas e ultramáficas.

O Supergrupo Espinhaço ocorre predominante na Serra do Espinhaço Meridional. Encontra-se dividido em duas unidades principais que correspondem aos Grupos Guinda e Conselheiro Mata. O Grupo Guinda reúne as Formações São João da Chapada, Sopa-Brumadinho e Galho do Miguel, agregando uma espessa seqüência de sedimentos de origem continental, com metavulcanitos intercalados. O Grupo Conselheiro Mata inclui as cinco formações superiores do Supergrupo Espinhaço, são eles: Santa Rita, Córrego da Bandeira, Córrego dos Borges, Córrego Pereira e Rio Pardo Grande, representando uma espessa seqüência de sedimentos de origem marinha costeira com alguma contribuição de sedimentos de origem continental.

Figura 01. Mapa de Localização da Área de Pesquisa



As altitudes médias da região estariam, segundo Saadi (1995), em torno de 1200 m, com predominância litológica de quartzitos. De acordo com o autor acima o relevo da serra é resultante da esculturação promovida pela dinâmica fluvial. Assim, são encontradas



principalmente morfologias marcadas por cristas, escarpas e vales profundos adaptados às direções tectônicas e estruturais.

A evolução geomorfológica da Serra do Espinhaço Meridional, segundo Augustin (1995a), embora tenha sofrido influências climáticas e morfoestruturais, tem como característica comum a ocorrência de patamares erosivos, que podem corresponder às superfícies Gondwana, Pós-Gondwana, Sul-Americana e Velhas, de King (1956).

A princípio a cobertura pedológica das Serra do Espinhaço Meridional parece não ter grandes variações. Entretanto, são encontradas grandes variações relacionadas às diferentes litologias e influências geomorfológicas encontradas na área (Augustin, 1995b). As principais classes encontradas são os Neossolos Flúvicos, Litólicos, Regolíticos e Quartzarênicos, Cambissolos, Latossolos, Gleissolos, Argissolos e pequenas manchas localizadas de Organossolos (DINIZ, 2002).

Ainda nos domínios da Serra do Espinhaço Meridional, mas em vales profundos, com umidade permanente, aparecem às matas ciliares com uma vegetação mais exuberante e com árvores de porte médio. A vegetação de cerrado e os campos rupestres degradados ocupam grande parte das encostas dessa região.

Segundo os dados obtidos na estação meteorológica da área, localizada em Diamantina (Normais CLIMATOLÓGICAS, 1992), a média do mês mais frio é 15,3° C (julho) e a do mês mais quente 20° C (fevereiro). A amplitude térmica anual é 4,7° C, enquanto que a média anual é de 19,40° C; a média máxima anual é de 24,00° C e a média mínima anual de 14,40° C. O índice médio pluviométrico anual é 1.290,4mm, verificando-se maior concentração de novembro a janeiro e menores índices em junho, julho e agosto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento desta pesquisa partiu da análise de trabalhos realizados sobre a área, incluindo mapas topográficos elaborados pelo IBGE (1977), na escala 1:100.000 e fotografias aéreas do voo Cruzeiro do Sul (1978), na escala 1:25.000. Esse material serviu de base para a elaboração da amostragem e coleta de água para as análises geoquímicas. Foram feitos 20 pontos de coleta, tendo como referência a representatividade regional da rede de drenagem, sua localização na área de estudo e acessibilidade. Estes pontos estão distribuídos geograficamente ao longo de todo Espinhaço Meridional, representando as principais bacias de drenagem: bacias do Rio Paraúna, Rio Pardo Grande e Rio Jequitinhonha (Fig. 2). As



amostras foram retiradas em duas coletas: uma no final da estação chuvosa, em fevereiro de 2009 e outra coleta nos mesmos pontos, no final do período seco, em setembro de 2009. Para a análise da perda química das amostras de água coletadas, foram utilizados os seguintes métodos:

3.1 Espectrometria de Absorção Atômica (EAA): absorção atômica é o processo que ocorre quando um átomo absorve energia na forma de luz de um comprimento de onda específico. A quantidade de energia da luz absorvida neste comprimento de onda vai aumentar à medida que o número de átomos do elemento selecionado em direção a luz aumenta. A relação entre a quantidade de luz absorvida e a concentração do analito presente nas normas conhecidas podem ser usadas para determinar a concentração desconhecida, medindo a quantidade de luz que elas absorvem. Por essa técnica foram analisados os seguintes elementos: Al, Ca, Fe, Mg e Mn;

3.2 Espectrometria de Emissão Atômica por Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-AES): a técnica de ICP-AES é uma técnica multielementar com capacidade de medidas de concentrações que variam de ppb (partes por bilhão) a porcentagens em uma ampla variedade de amostras. A técnica é baseada na medida da intensidade da radiação emitida, quando um átomo ou íon excitado pelo plasma retorna ao seu estado fundamental. As análises de Si foram realizadas utilizando-se um equipamento seqüencial da marca SPECTRO - SPECTROFLAME modelo FMV 03;

3.3 Cromatografia por Troca Iônica: o íon sódio e o íon potássio foram separados e quantificados nas amostras pela técnica de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), com ênfase na troca iônica como meio de separação dos analitos de interesse (sódio e potássio). Para este mecanismo faz-se uso de uma coluna cromatográfica de troca catiônica que tem como suporte uma resina de poliestireno divinilbenzeno incorporada de um ácido sulfônico como grupo ativo.

Embora os resultados de apenas duas coletas, uma no final do período seco e outra no chuvoso possa parecer pouco representativa das perdas químicas, eles passam a ter significado na medida em que não se propõem a estudar variações diárias, semanais, mensais, ou mesmo anuais, mas ter uma base de comparação com os dados já coletados por Salgado (2002) e Cruz (2003), se esses dados encontram-se dentro da média esperada para a região.

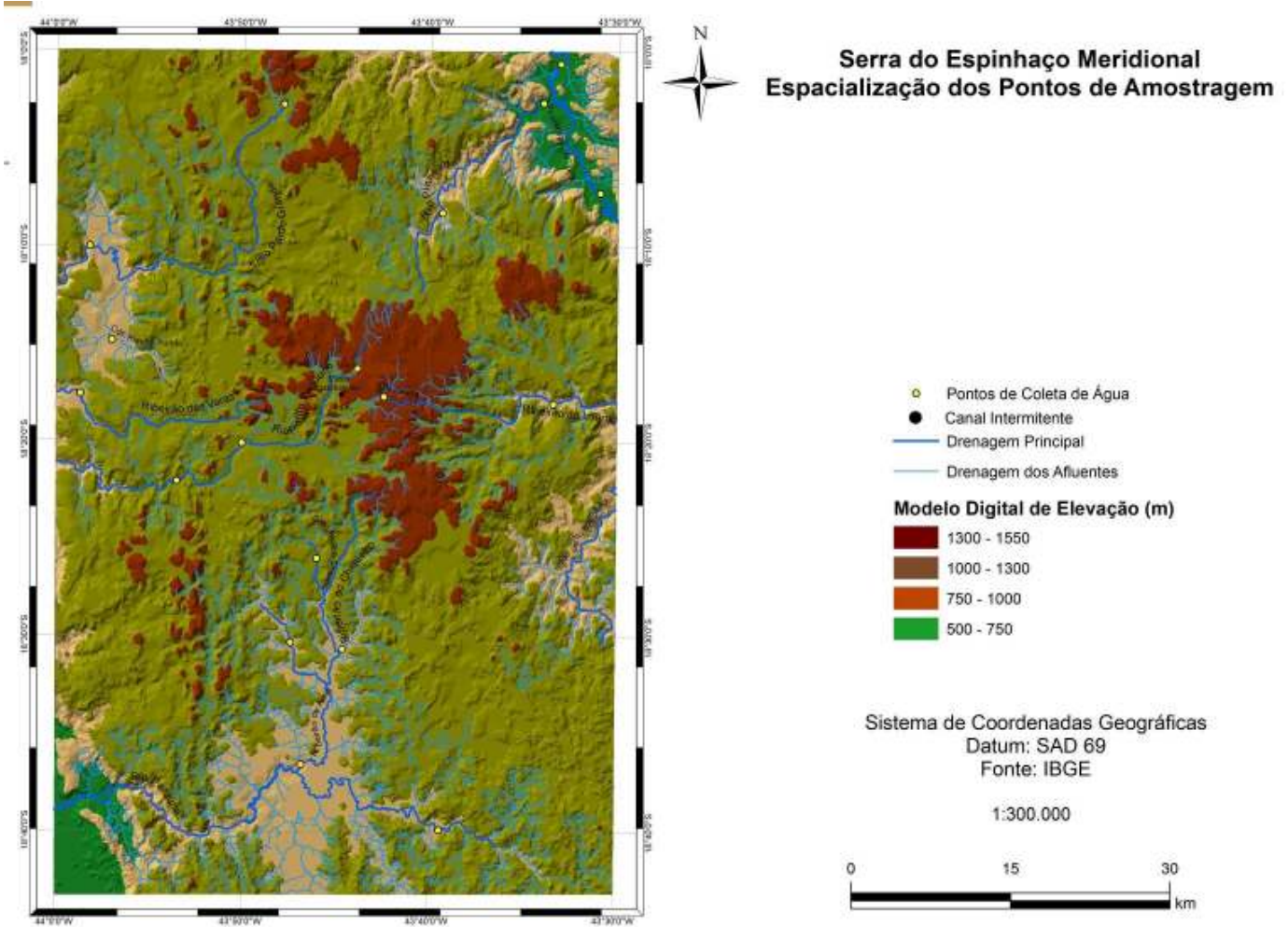


Figura 02. Espacialização dos Pontos de Amostragem

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não se pode pensar no modelado da Serra do Espinhaço Meridional como um conjunto de serras de formas homogêneas. Desta forma, é possível separar o Espinhaço Meridional em duas grandes unidades: a primeira associada à bacia do rio São Francisco, onde estão inseridas as bacias do Rio Pardo Grande e do Rio Paraúna e a segunda englobando as morfologias da bacia do rio Jequitinhonha Fonseca, (2007; et al, & Fonseca 2008).

O relevo da Serra do Espinhaço Meridional encontrado na bacia do Rio São Francisco pode ser caracterizado, em termos gerais, por formas escarpadas, com superfícies de topos aplainados. Nestas, é comum encontrar pacotes colúviais, recortados pelos sistemas de



drenagem. Mas a característica marcante dentro desta unidade é, no entanto, a formação de superfícies aplainadas, delimitadas por serras e/ou relevos residuais.

Já o relevo do Espinhaço Meridional que se encontra dentro da bacia do rio Jequitinhonha é bem diferente do ponto de vista geomorfológico. Segundo Silveira e Pessoa (1987), as estruturas tectônicas na região centro-leste de Diamantina estão representadas por falhas de rasgamento e de empurrão, assim como grandes lineamentos bem demarcados. Essa disposição geológica-estrutural favorece a formação de vales retilíneos e bem encaixados, típicos dos vales associados aos rios da Bacia do Rio Jequitinhonha. O resultado destes processos é a formação de um relevo muito escarpado, abrupto, com poucos sopés coluviais e com poucas superfícies aplainadas.

Resultados apresentados por Fonseca (2010) indicam menor capacidade erosiva do sistema hídrico da bacia do Rio São Francisco, a oeste, quando comparado ao da bacia do Jequitinhonha a leste. Os maiores índices de dissecação da bacia do Jequitinhonha parecem estar associados ao fato da drenagem do São Francisco fluir para uma área cratônica e as do rio Jequitinhonha para o litoral.

Além desse fator, o conjunto estrutural da Serra do Espinhaço Meridional na porção da bacia do rio São Francisco tem como unidade predominante a Formação Galho do Miguel, formada por quartzitos muito puros, com cerca de 95% de composição de quartzo Scholl & Fogaça (1979), Capistrano e Neto (1980) bastante fraturados e diaclasados o que facilitaria a penetração da água de escoamento superficial da chuva e, conseqüentemente, sua atuação na dissolução da sílica. Da mesma forma, os quartzitos da Formação Galho do Miguel, por serem de origem eólica, possuem acamamentos mais horizontalizados, fato esse que é essencial para que a água permaneça em contato com a rocha, como discutido por Martini (2000), levando a uma dissolução mais eficiente da sílica e contribuindo para a formação de um relevo mais plano.

Nas tabelas 1, 2 e 3 são apresentados os resultados das análises realizadas com as amostras de água coletadas nas duas estações climáticas, finais dos períodos seco e úmido, conforme descrição da metodologia.

A explicação mais simples para a menor concentração dos sólidos totais dissolvidos na estação úmida (Tab.1) é a maior quantidade de água dos canais fluviais, com grande contribuição do escoamento superficial, fato que proporciona a diminuição da concentração destes elementos por unidade de volume. Em contrapartida, nas estações secas o abastecimento dos canais fluviais recebe grande contribuição das águas subterrâneas e,



consequentemente, o teor de sais totais dissolvidos tende a aumentar. As quantidades mais elevadas do cálcio na estação úmida podem estar associadas, em primeiro lugar, ao fato desse ser um elemento transportado em solução e que, quando se encontra na forma de bicarbonato, se torna estável, ficando em equilíbrio durante o transporte fluvial. Faniran & Jeje, (1983)

A outra explicação para o elevado percentual de cálcio no Espinhaço Meridional é que em diversas áreas, principalmente na bacia do Rio Pardo Grande, Scholl & Fogaça (1979) encontraram e mapearam lentes de carbonatos associados, sobretudo, à Formação Galho do Miguel. Por serem muito solúveis e pelo fato da Formação Galho do Miguel possuir muitas fraturas e, assim, alta permeabilidade, encontra-se maior dissolução deste elemento nesses domínios. Além disso, nas formações superiores do Supergrupo Espinhaço, principalmente na Formação Rio Pardo Grande, Scholl & Fogaça (1979) mapearam grandes lentes de carbonato, fato que contribui com uma maior concentração de cálcio na bacia do Rio Pardo Grande.

Todos os pontos da bacia do Rio Pardo Grande possuem elevados teores de cálcio (Tab. 1). Os valores mais elevados estão no alto curso do Rio Pardo Grande e no Córrego intermitente. Os valores mais baixos correspondem àqueles da depressão do Riacho Fundo, fato esperado, pois a depressão encontra-se mais dissecada, portanto mais lixiviada. Outro fato importante é que as rochas que compõem a depressão possuem menores concentrações de cálcio; assim as concentrações de cálcio encontradas na depressão do Riacho Fundo, muito provavelmente, são oriundas das escarpas quartzíticas que a circundam.

O outro elemento a ser analisado e que merece destaque é a sílica (Tab. 1). A primeira explicação para a dissolução deste elemento são as condições climáticas, já que em ambientes tropicais o intemperismo da sílica ocorre com mais facilidade do que em outras regiões do globo. Fato constatado por Thomas (1994), Summerfield (1991), Ollier (1991), Faniran & Jeje (1983).

Outra questão importante, e que merece ser levantada, é que os dados sugerem que nos locais onde há formação de lateritas, a taxa de sílica tende a aumentar, já que este elemento é um dos últimos elementos a ser lixiviado, e o resultado final do intemperismo é a formação dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Fato semelhante foi também observado por Thomas (1994), Faniran & Jeje (1983). Ao observar a tabela 1, nota-se que a maior perda de sílica ocorre principalmente na estação seca, em comparação com a estação úmida, quando há diluição dos elementos químicos pelo aumento do escoamento superficial, como já visto anteriormente.



Também se deve levar em consideração que a água, quando penetra nas rochas e solos, não necessariamente sai desse sistema durante a mesma estação, ou seja, grande parte da água que infiltra depende da porosidade e permeabilidade e pode demorar meses ou até mesmo anos para chegar aos aquíferos. O mesmo foi observado por Cruz (2003), ao estudar a perda geoquímica das voçorocas na Depressão de Gouveia, que percebeu que algumas voçorocas tinham maior perda geoquímica na estação seca.

Em diversos pontos do Espinhaço Meridional, as zonas de foliação e os planos de acamamento dos quartzitos, principalmente da Formação Galho do Miguel, são horizontalizados. Esse fator aparentemente facilita a retenção da água de infiltração por mais tempo, diminuindo consideravelmente as taxas de percolação em profundidade. A sílica hidratada, aliada aos ácidos orgânicos e ao baixo pH, induzem seu processo de dissolução, por reunir condições ideais para a lixiviação da mesma, conforme relatado por Martini, 2000. Assim, a sílica tende a sair em maior concentração na estação seca.

Na bacia do Rio Pardo Grande (Tab. 1), nota-se que a maior perda de sílica ocorre no Rio Pardo Pequeno e no Córrego Olaria, pontos estes que estão dentro da Formação Galho do Miguel, do Supergrupo Espinhaço, caracterizada por quartzitos puros. Em contrapartida, os locais com menor concentração de sílica são encontrados no alto curso do Rio Pardo Grande, onde ocorrem os maiores teores de cálcio. O baixo curso do Rio Pardo Grande também apresenta valores consideráveis de perda de sílica, possivelmente porque nesse ponto recebe vários afluentes que vertem das escarpas quartzíticas. A depressão do Riacho Fundo também possui altos índices de perda de sílica pelas mesmas razões explicadas anteriormente para a perda de cálcio.

O ferro não mostra muita alteração em termos percentuais entre as duas estações (Tab. 1). As baixas concentrações deste elemento se devem à sua baixa solubilidade e, principalmente, porque tendem a formar lateritas, em vez de se tornarem disponíveis sob forma solúvel. Rocha et al (2008), ao estudarem as lateritas do Espinhaço Meridional observaram que estas ocorrem indistintamente em diversos pontos da Serra do Espinhaço Meridional, independentemente do tipo de litologia. Em função disto, podem ser utilizadas como marcadores de paleo-superfície.

A baixa concentração do alumínio mostrada na Tabela 1, nas duas estações do ano, é facilmente explicada por sua baixíssima solubilidade, praticamente não ocorrendo entre os pH 4,5 e 9,5. Para que este elemento seja lixiviado, o ambiente deve ser muito ácido ou muito alcalino, Thomas (1994), Ollier (1991), Faniran & Jeje (1983).



Outro elemento que aparece na mesma tabela, com baixa concentração é o manganês, que é encontrado na região apenas na forma de óxidos e, por este motivo, conta com uma baixa concentração nos cursos fluviais. O último elemento com baixa representatividade é o magnésio, que ocorre em tão baixas quantidades em função da predominância de quartzito como substrato rochoso, rocha pobre deste elemento em sua composição.

O potássio em alguns pontos aparece com valores significativos (Tab. 1), mas estes valores mais elevados correspondem às áreas com antigo cultivo de Eucalipto, assim é possível que grande parte do elemento se deva à sua incorporação ao solo. Essa explicação ganha força ao se constatar que nas demais áreas onde não houve influência da atividade agrícola, os valores são bastante baixos, assim como os do sódio.

Os dados de sílica na Depressão de Gouveia (Tab. 3) possuem valores bastante significativos, sendo que alguns pontos os cursos fluviais da depressão possuem valores mais elevados do que nas escarpas quartzíticas nas quais se encontram as cabeceiras das principais drenagens do município de Gouveia. Salgado (2002) interpretou os dados geoquímicos da região como resultantes de processo de erosão diferencial, onde os quartzitos mais resistentes perderiam menos sílica devido à maior resistência da rocha, e as rochas da Depressão, por serem menos resistentes, perderiam mais sílica.

Mas algumas questões merecem ser levantada. A primeira é que as rochas que ocupam a Depressão tendem a ser geoquimicamente mais pobres em sílica comparada com os quartzitos. A segunda é que a Depressão encontra-se bastante lixiviada e que até mesmo a sílica apresenta valores baixos (Augustin, 1995a) O terceiro ponto, talvez mais importante, é que os sistemas de drenagem do córrego do Rio Grande, do Ribeirão do Chiqueiro e do Ribeirão de Areia, têm suas cabeceiras, e de vários de seus tributários, que vertem das escarpas quartzíticas em direção ao fundo da Depressão. Sendo assim, é de se esperar que os valores de saída da sílica sejam maiores na área da Depressão de Gouveia, do que nos rios localizados diretamente sobre rochas quartzíticas. Na bacia do Rio Paraúna, na depressão de Gouveia, as únicas concentrações representativas de cálcio (Tab. 3) ocorrem no alto curso do Rio Paraúna, cujas nascentes estão sobre a Formação Sopa Brumadinho, na qual foi relatada por Scholl & Fogaça (1979) ocorrência de lentes de carbonato. Além disso, a bacia do Paraúna possui, em alguns pontos, algumas áreas com atividades agrícolas, nas quais é comum a correção da acidez do solo com a adição de calcário. Ressalta-se, contudo, que no alto curso deste rio a atividade agrícola é escassa.



Dados da Tabela 3 mostram que outro ponto representativo em relação ao percentual de cálcio encontra-se na foz do Ribeirão de Areia. Por se tratar de uma área de atividade agrícola mais intensa, acredita-se que a maior contribuição venha da agricultura, inclusive porque nos demais pontos os valores de cálcio são inexpressivos.

As baixas concentrações das bases na Depressão de Gouveia podem ser explicadas pela abertura da depressão ter ocorrido em torno de 45 milhões e, portanto, se tratar de um ambiente muito lixiviado, segundo Augustin (1995 b).



Tabela 1. Análise Química da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo Grande em parte por bilhão (ppb)

Pontos de Coleta	Si	Si	Fe	Fe	Al	Al	Ca	Ca	Mn	Mn	Mg	Mg	Na	Na	K	K
	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S
P3. RPG/AC	0,26 +- 0,03	0,38 +- 0,04	0,80 +- 0,08	0,66 +- 0,07	menor 0,2	menor 0,2	24 +- 2 0,01	0,10 +- 0,01	menor 0,05	menor 0,05	0,27 +- 0,03	0,09 +- 0,01	0,22 +- 0,02	0,26 +- 0,06	0,27 +- 0,03	0,05 +- 0,01
P1. RPG/BC	0,22 +- 0,02	2,6 +- 0,3	0,39 +- 0,04	0,61 +- 0,06	menor 0,2	menor 0,2	7,0 +- 0,7	1,0 +- 0,1	menor 0,05	menor 0,05	0,16 +- 0,02	0,62 +- 0,06	0,13 +- 0,01	0,34 +- 0,06	0,42 +- 0,04	0,54 +- 0,05
P2. R V	0,24 +- 0,02	0,84 +- 0,08	0,34 +- 0,03	0,41 +- 0,04	menor 0,2	menor 0,2	10 +- 1 0,04	0,43 +- 0,04	menor 0,05	menor 0,05	0,12 +- 0,01	0,21 +- 0,02	0,25 +- 0,03	0,27 +- 0,06	1,3 +- 0,1 0,05	0,52 +- 0,05
P5. RPP/AC	0,29 +- 0,03	0,84 +- 0,08	0,53 +- 0,05	0,34 +- 0,03	menor 0,2	menor 0,2	5,3 +- 0,5	0,29 +- 0,03	menor 0,05	menor 0,05	0,14 +- 0,01	0,22 +- 0,02	0,15 +- 0,02	< LQ 0,02	0,19 +- 0,02	< LQ 0,02
P4. RPP/MC	0,26 +- 0,03	3,0 +- 0,3	0,72 +- 0,07	0,69 +- 0,07	menor 0,2	menor 0,2	7,0 +- 0,7	0,50 +- 0,05	menor 0,05	menor 0,05	0,14 +- 0,03	0,29 +- 0,03	0,26 +- 0,03	0,37 +- 0,08	0,39 +- 0,04	0,19 +- 0,02
P15. RPP/BC	0,28 +- 0,03	3,0 +- 0,3	0,65 +- 0,06	0,63 +- 0,06	menor 0,2	menor 0,2	6,1 +- 0,06	0,37 +- 0,04	menor 0,05	menor 0,05	0,14 +- 0,03	0,28 +- 0,03	0,027 +- 0,003	0,28 +- 0,03	0,24 +- 0,02	10 +- 1 0,02
P. 18 CO	0,30 +- 0,03	2,8 +- 0,3	0,66 +- 0,07	0,20 +- 0,02	menor 0,2	menor 0,2	14 +- 1 0,04	0,42 +- 0,04	menor 0,05	menor 0,05	0,18 +- 0,01	0,19 +- 0,02	0,16 +- 0,01	0,22 +- 0,02	0,14 +- 0,01	3,7 +- 0,4 0,01
P. 17 CI	0,16 +- 0,02	0 0,03	0,31 +- 0,03	0 0,03	menor 0,2	menor 0,2	26 +- 3 0,5	0 0,05	menor 0,05	menor 0,05	0,14 +- 0,01	0 0,02	0,18 +- 0,02	0 0,06	0,10 +- 0,01	0 0,01
P. 14. DRF	0,26 +- 0,03	3,3 +- 0,3	0,42 +- 0,4	0,52 +- 0,05	menor 0,2	menor 0,2	5,0 +- 0,5	0,53 +- 0,05	menor 0,05	menor 0,05	0,17 +- 0,03	0,25 +- 0,03	0,14 +- 0,01	0,30 +- 0,06	0,32 +- 0,03	0,44 +- 0,8

RPG/AC – Rio Pardo Grande/ alto curso - RPG/BC – Rio Pardo Grande/ baixo curso - RV – Ribeirão das Varas
RPP/ AC – Rio Pardo Pequeno/ alto curso - RPP/ MC – Rio Pardo Pequeno/ médio curso - RPP/ BC – Rio Pardo Pequeno/ baixo curso
CO – Córrego Olaria - CI – Córrego Intermitente - DRF – Depressão do Riacho Fundo
E.U – Estação Úmida – E.S – Estação Seca.
P. Ponto de coleta

Tabela 2. Análise Química da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha em parte por bilhão (ppb)

Pontos de Coleta	Si	Fe	Al	Ca	Mn	Mg	Na	K
	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S
P8. RJQ/M	0,82+- 0,08	0,56+- 0,06	menor 0,2	2,3+- 0,1	menor 0,05	0,15+- 0,02	1,0+- 0,1	0,35+- 0,04
P10. RJQ/MN	0,71+- 0,07	0,80+- 0,08	menor 0,2	6,0+- 0,6	menor 0,05	0,20+- 0,03	0,32+- 0,03	0,18+- 0,02
P11. RP/AC	0,41+- 0,04	0,50+- 0,05	menor 0,2	5,0+- 0,5	menor 0,05	0,15+- 0,02	0,20+- 0,02	0,16+- 0,02
P9. RP/BC	0,46+- 0,08	0,66+- 0,06	menor 0,2	9,0+- 0,9	menor 0,05	0,10+- 0,01	0,36+- 0,04	0,34+- 0,03
P16. RI	0,42+- 0,4	0,56+- 0,06	menor 0,2	18+- 2	menor 0,01	0,22+- 0,02	0,19+- 0,02	0,18+- 0,02

RJQ/M – Rio Jequitinhonha/ Mendanha – RJQ/MN – Rio Jequitinhonha/ Maria Nunes

RP/AC – Rio Pinheiro/ alto curso – RP/BC – Rio Pinheiro/ baixo curso

RI – Ribeirão do Inferno

P. Ponto de coleta

Tabela 3. Análise Química da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraúna em parte por bilhão (ppb)

Pontos de Coleta	Si	Fe	Al	Ca	Mn	Mg	Na	K
	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S	E.U	E.S
P6. RPA/AC	1,1+- 0,1	0,85+- 0,09	menor 0,2	10,0+- 1	menor 0,05	0,27+- 0,03	0,33+- 0,03	0,37+- 0,04
P7. RPA/BC	1,1+- 0,1	0,8+- 0,09	menor 0,2	3,4+- 0,3	menor 0,05	0,22+- 0,01	0,18+- 0,02	0,34+- 0,03
P13. RA/AC	0,74+- 0,07	1,3+- 0,1	menor 0,2	0,29+- 0,03	0,11+- 0,01	0,30+- 0,03	0,42+- 0,04	0,21+- 0,02
P12. RA/F	1,9+- 0,2	1,0+- 0,1	menor 0,2	5,0+- 0,5	0,06+- 0,01	0,42+- 0,04	0,55+- 0,05	0,7+- 0,4
P19. CRG/F	3,9+- 0,03	0,38+- 0,04	menor 0,2	0,37+- 0,04	menor 0,05	0,22+- 0,02	1,46+- 0,15	0,70+- 0,07
P20. RCH/BC	2,0+- 0,02	1,1+- 0,1	menor 0,2	0,46+- 0,05	menor 0,01	0,40+- 0,04	1,04+- 0,01	3,4+- 0,05

RPA/AC – Rio Paraúna/ alto curso – RPA/BC – Rio Paraúna/ baixo curso

RA/AC – Ribeirão de Areia/ alto curso – RA/F – Ribeirão de Areia/ Foz

CRG/F – Córrego do Rio Grande – Foz

RCH/BC – Ribeirão do Chiqueiro/ baixo curso

P. Ponto de coleta



Além disso, não há nenhuma ocorrência significativa de carbonatos na Depressão, formada em rochas do complexo granítico. Desta forma, tem-se uma região quimicamente pobre em carbonato e bastante lixiviada. Estas então são as explicações para baixa concentração deste elemento nos cursos fluviais da Depressão de Gouveia.

As concentrações do potássio e do sódio da depressão de Gouveia apresentam valores muito semelhantes (Tab. 3), com um ligeiro percentual mais elevado para o sódio na estação seca. Na estação úmida o potássio possui valores mais elevados que o sódio. O sódio tem maior concentração nos cursos fluviais da Depressão de Gouveia, fato explicado possivelmente por se tratar de elemento mais abundante em rochas ígneas.

O ferro apresenta valores mais elevados em relação às demais bacias analisadas (Tab. 3) Este fato pode estar associado à grande ocorrência de rochas metabásicas em toda Depressão de Gouveia. Os baixos valores de alumínio (Tab. 3) assemelham-se aos encontrados na bacia do Rio Grande, tendo a mesma explicação.

A Tabela 2 apresenta os valores da saída dos elementos químicos analisados para a Bacia do Rio Jequitinhonha, também medida em duas estações: uma úmida e outra seca. O que pode ser observado é que a bacia do Rio Jequitinhonha também apresenta elevados teores de carbonatos. Aparentemente, a ocorrência da Formação Sopa-Brumadinho, do Supergrupo Espinhaço, responde por esta saída, uma vez que possui em sua matriz carbonatos, como relatado anteriormente.

Os demais elementos medidos são encontrados em pequenas proporções, com exceção da sílica, que tende a apresentar valores elevados na Serra do Espinhaço Meridional, por essa região ter como rocha predominante os quartzitos.

As perdas geoquímicas medidas entre os rios da bacia do Rio Pardo Grande e do Rio Jequitinhonha não mostram grandes variações, quando comparadas. As bacias que drenam tanto para a região cratônica e para o litoral são geoquimicamente muito pobres, com exceção do cálcio que possui valores elevados, por ser encontrado como parte constituinte de algumas formações do Supergrupo Espinhaço.

A sílica apresenta, em geral, teores elevados por se tratar de rochas quartzíticas em toda a região. Para Martini (2000), há uma diferença entre a dissolução do quartzo e dos minerais silicatados, porque o quartzo em rochas quartzíticas ou areníticas pode ser solubilizado por processos de hidratação da sílica, produzindo assim o ácido silícico. Este processo de dissolução pode ser aumentado com a adição de ácidos orgânicos. De acordo com



o autor *op. cit.*, a dissolução do quartzo na água ocorre de maneira relativamente simples, pelo processo de hidratação e a formação do ácido silícico.

O ferro apresenta teores mais elevados onde existe ocorrência de rochas metabásicas ou básicas, enquanto o alumínio, por apresentar baixa solubilidade não se encontra disponível na água, mas é encontrado nos solos da região em forma de óxidos. Os demais sólidos totais dissolvidos possuem baixas concentrações apresentando pequenas variações em algumas regiões dependendo da formação litológica.

No entanto, as regiões, embora não apresentem geoquimicamente diferenças marcantes, contam com formas de relevo bem distintas, nas quais a saída de elementos químicos parece ter papel importante. Assim é que se pode assumir que a perda de sílica e dos carbonatos associada às zonas de falhas e fraturas favorece o encaixamento e o entalhamento da drenagem e o recuo das escarpas quartzíticas, favorecendo a ampliação das superfícies aplainadas e ao mesmo tempo a formação dos mantos de intemperismo.

Dentro dessa perspectiva, a evolução do relevo tende ocorrer por processos desnudacionais químicos, além dos mecânicos, sendo, no entanto o processo geoquímico o mais ativo, devido as grandes perdas de sílica e carbonatos, assim, este é o fator mais envolvido na modelagem da paisagem na área.

Na porção leste do Espinhaço Meridional, onde está inserida a bacia do rio Jequitinhonha, são encontradas principalmente as Formações São João da Chapada e Sopa-Brumadinho. Nestas unidades, as zonas de foliação das rochas quartzíticas possuem maior inclinação, ao contrário da Formação Galho do Miguel. Esta maior inclinação favorece o desenvolvimento de relevos ruiformes, em forma de espigões, com escarpamentos acentuados.

Outro fator que favorece esses relevos mais escarpados e íngremes da porção leste do Espinhaço Meridional é o fato da bacia do rio Jequitinhonha drenar em direção ao litoral, fato este que faz com que essa bacia tenha maior poder erosivo ao contrário da bacia do São Francisco, que drena para o interior de uma área cratônica. Cabe ressaltar, no entanto, que os locais onde as zonas de foliação possuem planos mais horizontalizados podem se formar superfícies aplainadas, pelos mesmos fatores vistos anteriormente, o que parece apontar para o importante papel da estrutura, mesmo se tratando da atuação dos processos geoquímicos.



5 CONCLUSÃO

A evolução do relevo da Serra do Espinhaço Meridional apresenta dois componentes importantes, os processos desnudacionais geoquímicos e mecânicos, com maior relevância para a perda geoquímica. O segundo fator importante é o controle estrutural do Espinhaço Meridional, que dependendo das diferenças apresentadas em conjunção com os processos desnudacionais resulta em diferentes morfologias na paisagem.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA ABREU, P. A. 1995. *Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): O Rifte, a Bacia e o Orógeno*. GEONOMOS - Revista de Geociências. Vol. 3, nº 1, Julho. Pág. 1-18
- AUGUSTIN, C. H. R. R. 1995. *Geookologische Studien im Sudlichen Espinhaçogebirge Bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien unter Bersonderer Berucksichtigung der Landschaftsentwicklung*. J. W. Goethe Universität. F. R. G. Frankfurt. Doctoral Thesis, 147p.
- AUGUSTIN, C. H. R. R. 1995. *Aspectos geomorfológicos da região de Gouveia, Espinhaço Meridional, MG*. In: Anais do VIII Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Vol. 1, pág. 3-4.
- AUGUSTIN, C. H. R. R. 1999. "The relationship between gully erosion and land use in Gouveia, Minas Gerais". In: Abstracts of Regional Conference on Geomorphology, IAG, Rio de Janeiro, July 17-22, p. 88.
- AUGUSTIN, C.H.R.R & FOGAÇA, A.C.C., VALADÃO, R.C. 1994. *Gênese das coberturas superficiais vermelho-amarelas sobre o Grupo Macaúbas (Espinhaço Meridional /MG)*. In: CONG. BRAS. GEOL., 38, Camboriu-SC, Anais SBG, 1994. (3):276-278.
- AUGUSTIN, C.H.R.R. *Tropical landscape evolution: weathering and erosion processes in Gouveia, Minas Gerais, Brazil*. 1999. In: Regional Conference on Geomorphology - The Brazilian Geomorphological Union (UGB). Abstracts. Rio de Janeiro - RJ. p. 67.
- CAPISTRANO, F.A. DE & NOGUEIRA NETO, J. DE A. 1980. Relatório de Quadrículas Campo Sampaio (SE-23-Z-A-III-INE) Projeto de Mapeamento Geológico do Espinhaço Meridional. Diamantina – MG.
- CRUZ, L. O. M. 2003. *Comportamento desnudacional e evolução de curto-termo em voçorocas na microbacia do Córrego do Quebra em Gouveia-Espinhaço Meridional MG*. Instituto de Geociências da UFMG. Monografia de graduação. 62 p.
- DINIZ, A D. 2002 *Levantamento Pedológico da Porção Norte da Bacia do Ribeirão do Chiqueiro-Gouveia, MG, e a Relação Entre as Classes de Solos e a Erosão*. Belo Horizonte: IGC/UFMG,. 132p. (Dissertação de Mestrado).
- FANIRAN, A & JEJE, L.K.1983. *Humid Tropical Geomorphology*. Longman. New York.414p.
- FONSECA, B.M, CARVALHO, G.A. DINIZ,V.R. MOURA, A.C.M. 2007. A difusão de novas tecnologias de mensuração e dados do relevo com apoio ao ensino da representação topográfica.In.anais do XIII simpósio de sensoriamento remoto. Florianópolis.
- FONSECA, B.M & AUGUSTIN, C. H. R. R.2008.O uso do geoprocessamento para mapeamento geomorfológico para a serra do espinhaço Meridional. VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino Americano de Geomorfologia. Anais de Congresso.
- MARTINI, J. E. J. 2000. Dissolution of quartz and silicate minerals.Speleogenesis.
- OLLIER, C. 1991. *Anciente Landforms*.Belhaven Press. London
- ROCHA, L.C. et all. 2008. O Papel Geomorfológico das Lateritas no Espinhaço Meridional. VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino Americano de Geomorfologia. Anais de Congresso.



- SAADI, A.1995. *A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens*. GEONOMOS - Revista de Geociências. Vol. 3, nº 1, Julho de 1995. Pág. 41-63.
- SALGADO (2002). *Desnudação Geoquímica e Evolução do Relevo no Espinhaço Meridional/MG*. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2002. 189p. (Dissertação de Mestrado).
- SCHOLL & FOGAÇA (1979). Estratigrafia da Serra do Espinhaço em Diamantina. In. Simp. de Geol. de Minas Gerais. Anais pag. 55 a 73. Diamantina
- SILVEIRA, J. S. & PESSOA, G.C. 1987. *Mapeamento Geológico da Porção Centro-Leste da Quadrícula Diamantina*. (SE-23-Z-A-III-2SE) Trabalho de Graduação. Diamantina – MG.
- SUMMERFIELD, M.A.1991. *Global geomorphology: an introduction to the study of landforms*. New York: Longman Scientific & Technical, 537 p.
- THOMAS, M. F. *Geomorphology in the tropics: study of weathering and denudation in low latitudes*. Ed; Wiley. 1994.460p.