



RELAÇÃO ENTRE O SUBSTRATO ROCHOSO E PRESENÇA DE VOÇOROCAS NA BACIA DO RIBEIRÃO DO CHIQUEIRO, SERRA DO ESPINHAÇO, MINAS GERAIS.

Paulo Roberto Antunes Aranha – Departamento de Geologia – IGC/UFMG
Av. Antônio Carlos 6627, Instituto de Geociências, UFMG, Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. Cep:
31.270-901 –Tels: 34995442 – End. Eletrônico: aranha@igc.ufmg.br

Ana Clara Moura Mourão – Departamento de Cartografia – IGC/UFMG

Frederico Garcia Sobreira – Departamento de Geologia – Escola de Minas/UFOP

Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin – Departamento de Geografia – IGC/UFMG

5 – Análise e Diagnóstico de Processos Erosivos

Palavras-chaves: Voçorocas; Substrato-rochoso, Erosão

1 - Introdução

A variedade na abordagem dos estudos de voçorocas vem demonstrar que estas constituem um problema complexo do ponto de vista de contenção e na forma de sua compreensão (Lal, 1981; Augustin, 1995). Alguns estudos buscam na morfologia uma linha para a compreensão desse processo (Crouch, 1976, 1987; Faulkner, 1976; Vieira, 1978), outros enfatizam mais os processos associados à evolução da forma (Jones, 1971; 1987; Fiori e Soares, 1976; Bigarella e Mazuchowski, 1985; Ocagbue, 1986), enquanto alguns buscam, ainda, uma melhor caracterização das condições biofísicas da área de ocorrência das voçorocas como meio de previsão e de conhecimento dos fatores atuantes nos mecanismos dos processos envolvidos (Bradford et al., 1978; Valadão, 1986; Ohmori et al., 1986; Bryan e Poesen, 1989; Augustin, 1992, 1995; Bacellar, 2000). Young (1976) mostra a existência de uma corrente representada por estudiosos como Schumm e Hadley (1957), que enfatizam o caráter antrópico do processo. No meio tropical úmido, Augustin (1995) salienta a existência de elementos comuns de inicialização das voçorocas. Ao longo dos anos foram criados padrões de classificação das voçorocas considerando diversos aspectos relacionados com a forma, com os processos etc.; dentre eles, destacam-se:

- forma (linear, bulbos, dendrítica, treliça, paralela, composta) – Ireland et al. (1939);
- processos e morfologia – Imeson e Kwaad (1980);
- como membro de uma continuidade de canais cortados (ravina, voçoroca, “entrench channel”) – Harvey et al. (1985);
- morfologia, processo e taxa de erosão de cada forma para identificar qual a maior fonte de sedimentos dentro do sistema de voçorocas – Crouch (1987).

O pensamento mais recente sobre as voçorocas aponta para considerá-las como sistemas ambientais, ou parte deles, que estão sujeitos a perturbações externas e internas, e que acarretam modificações e instabilidades no sistema. Essa instabilidade ocasional levaria o sistema a procurar outro ponto de equilíbrio, de modo a ajustar-se às novas condições ambientais atuantes. O reconhecimento de limites críticos (*thresholds*) dentro de



um sistema, a partir dos quais altera-se o seu comportamento ou parte dele, é hoje amplamente aceito, uma vez que permite um manejo de componentes do sistema em vertentes e rios. Esse conceito foi primeiramente aplicado para sistemas geomórficos por Schumm (1973).

Vários trabalhos têm sido realizados sobre o tema em Minas Gerais, destacando-se os estudos conduzidos no Bação e na região de Gouveia (Parzanese, 1991; Augustin, 1994; Sobreira, 1998; Costa e Parizzi, 1999; Bacellar, 2000).

Dentre os estudos no Bação identifica-se o de Moreira (1992), que relaciona a distribuição das voçorocas da sub-bacia do rio Santo Antônio às condições estruturais locais, modificadas recentemente por processos tectônicos. Mais ainda, a autora identifica uma relação entre a forma da voçoroca e a forma da vertente. Por outro lado, não observou existir influência do tipo de solo na ocorrência das voçorocas.

Sobreira (1998) identificou, na mesma área, dois tipos principais de formas das voçorocas: a) grosseiramente circulares, sendo caracterizadas pela existência atual ou pretérita de processos de erosão interna, de solapamento e queda de blocos de solos; b) formas que se desenvolvem como dígitos (dendríticas). Mais além, o autor relaciona outras formas claramente condicionadas pelas ações antrópicas, como antigos divisores de propriedades: valas, árvores plantadas em linhas etc. Resumindo, o autor classifica morfologicamente cinco tipos de voçorocas: A, circular; B, dendríticas; C, retilínea (antrópica); D, mista – circular/retilínea (antrópica); E, com cristas no seu interior (ilhas) e, no desenvolvimento dessas cinco formas, identifica três tipos principais de processos no desenvolvimento das mesmas:

- 1 processos provocados pela ação do escoamento de águas superficiais (antrópico ou não);
- 2- processos causados pela ação das águas subsuperficiais;
- 3- processos provocados pelo material escorregado.

Em Gouveia, uma caracterização mais ampla das voçorocas foi realizada por Augustin (1995), mostrando que a ocorrência de voçorocas não apresenta uma distribuição espacial aleatória, estando sim condicionada por dois grupos de fatores independentes, porém com pesos diferentes em situações diferenciadas de ocorrência do voçorocamento:

- 1- Geologia – paleo-formas - antrópico
- 2- Solos - hidrologia

O primeiro aspecto está ligado às antigas feições superficiais existentes na área, isto é, anfiteatros, alvéolos, ravinas e vertentes, e suas relações com a ação antrópica. As condições geomorfológicas e o clima pretérito induziram a remodelação do relevo. As ações dos processos erosivos e a deposição, de parte do material erodido, estão evidenciadas pela presença de material orgânico em diferentes níveis altimétricos, deixando vários depósitos correlativos. A ocorrência de colúvio em paleo-depressões, nas quais são visíveis esses níveis de matéria orgânica, é o indicador mais característico dessa fase de baixa energia hidráulica, mas grande umidade, provavelmente associada a chuvas finas, bem distribuídas durante todo o ano. O uso e ocupação da área, ocorrida nos últimos 200 anos, ativaram sistemas antigos, já susceptíveis à erosão, através da construção de cercas, valas, abertura de estradas, a mineração a céu aberto, as quais, encontrando condições propícias, desencadearam o processo de erosivo acelerado.



O segundo aspecto está ligado ao comportamento hidrológico do solo, dependente de suas características físico-químicas. Em função dessas características o solo apresenta um comportamento hidrológico diferenciado. Figueiredo (1999), demonstrou a presença de micro-porosidades no solo decorrentes do papel agregador que os óxidos de ferro e alumínio exercem sobre as partículas de argila. Com o aumento da tensão intra-agregados, causado pela maior infiltração, ocorre a quebra desses agregados em partículas pequenas ocasionando o aumento do índice de vazios e de carreamento do solo. Esses vazios tendem a aumentar suas dimensões, podendo induzir a formação de *piping* que pode levar à formação de voçorocas.

Augustin (1995; 1996; et al., 1999) aponta para o fato que, embora relevante, a ação antrópica sozinha não responde pelo processo e que a própria evolução geomorfológica da região constitui a base para o entendimento do voçorocamento. Segundo a autora, na área ocorre um gradiente geomorfológico, evidenciado pelas características do solo e da vegetação, que permite a adoção do modelo de evolução da encosta do tipo: vertentes suaves com topos arredondados, com encostas longas acompanhadas por variação lateral do tipo de solo, indicando um processo de renovação dos solos do topo para a base da vertente. A superfície ao longo da vertente é caracterizada, assim, pela diferenciação da seqüência de solos e de vegetação. No topo, tem-se a presença de cerrado (degradado), com árvores pseudo-xeromórficas; a média vertente é coberta por gramíneas (pastagens), com poucos arbustos de pequeno porte e, na baixa vertente, verifica-se a presença de vegetação mais densa – mata ciliar. Igualmente, do topo para base, tem-se a diferenciação no conteúdo de cálcio e de bases. O teor de cálcio aumenta na direção da baixa vertente e, inversamente, a concentração de bases diminui na direção da baixa vertente.

Nessa perspectiva, a variabilidade das características do solo/rocha em função do tipo de vertente (e mesmo de sua localização na bacia) e das características locais do substrato não permite estabelecer correlações espaciais entre a forma de ocorrência dos processos, sua localização e o tipo de substrato; com isso, há a necessidade de se selecionar um elemento espacial no qual as correlações entre as variáveis analisadas apresentem um significado estatístico geomorfológico espacialmente definido: **a bacia de drenagem**, que constitui um sistema funcional aberto em relação às entradas de precipitação de chuva e de energia, e às saídas de água e de sedimento, podendo assim ser considerada como uma unidade geomorfológica básica (Gerrard, 1992).

Tendo em vista os resultados apontados por Augustin (1995), pesquisou-se desenvolvimento do processo de erosão acelerada a partir de sua localização e distribuição espacial, e a litologia, na bacia de drenagem do ribeirão do Chiqueiro, Gouveia, Minas Gerais.

2 - Descrição da Área

No conjunto Espinhaço Meridional, na área denominada por Pflug (1976) de “Depressão Gouveia”, a erosão diferencial, atuando principalmente a partir do encaixamento dos vales ao longo dos eixos de sinclinais e anticlinais, criou uma semi-janela estrutural que expôs as rochas do embasamento cristalino.

A área da Depressão engloba os municípios de Gouveia e Datas (Figura 1), localizados no alto vale do Jequitinhonha, serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais. A região tem como característica econômica uma forte dependência das atividades agropecuárias, porém com reduzida área de solos compatíveis com atividades de agricultura.



Figura 1 - Localização da bacia do ribeirão do Chiqueiro, dos municípios de Gouveia e Datas, Minas Gerais (Adaptado de Aranha, 2002).

Devido à abertura da “Depressão de Gouveia”, ocorreu uma mudança no comportamento diferenciado dos metassedimentos entre si e no contato com o embasamento. São nas interfaces dessas estruturas que se processam as grandes mudanças ocasionadas por agentes modeladores da paisagem, incluindo a erosão. Nesse local a drenagem desenvolveu-se ao longo dos eixos de sinclinais e de anticlinais, com direções predominantes N-S e, secundariamente, ao longo de falhas com direção E-W (Saadi e Valadão, 1987).

Grande parte da área é formada por afloramentos de quartzitos do Supergrupo Espinhaço ou solos arenosos derivados dessas mesmas rochas. Apenas sua parte central é formada por granito-gnaisses do embasamento cristalino e xistos, que geram solos mais profundos e aptos a serem cultivados. Estes, contudo, apresentam alto grau de lixiviação e laterização, aspectos exacerbados pela intensa erosão provocada por voçorocamentos que têm comprometido ainda mais a utilização dessas áreas para atividades agropecuárias (Augustin et al., 1999).

3 - Metodologia

A bacia de drenagem do ribeirão do Chiqueiro, que constitui uma das duas principais sub-bacias do rio Paraúna, foi selecionada como unidade espacial básica de pesquisa. Essa área foi delimitada a partir da definição do contorno da bacia de drenagem no mapa topográfico que compreende as folhas de Presidente Kubistchek e Diamantina na escala de 1:100.000 (IBGE, 1977), cuja área aproximada é de 400 km². No mapa topográfico, o ribeirão da Areia é apontado como afluente do ribeirão do Chiqueiro, porém, antes desse encontro, o nível de base do ribeirão da Areia encontra-se quase 2 m mais baixo que o nível de base do ribeirão do Chiqueiro (Augustin, 1996). Além disso, a drenagem do ribeirão da Areia antes da confluência apresenta um número hierárquico de ordem maior que a do ribeirão do Chiqueiro, segundo a classificação “Horton”. Essas características indicam tratar-se o ribeirão da Areia da drenagem principal, exercendo, desse modo, controle à montante sobre toda a bacia do ribeirão da Areia. Baseado nesses aspectos, apenas o trecho do ribeirão do Chiqueiro localizado acima da confluência com o ribeirão da Areia foi selecionado, desconsiderando-se a informação contida no mapa (IBGE, 1977) que aponta o contrário, ou seja, que a bacia do ribeirão do Chiqueiro continuaria a drenagem principal.



A partir da definição da área interpretou-se as fotos aéreas. Essas fotos foram tiradas pelo vôo Cruzeiro do Sul, 26/Jul/79 - DNPM/CPRM, e compreende as faixas 10 a 17 com escala aproximada de 1:30.000. A foto-interpretação foi realizada com o auxílio de estereoscópio de mesa, desenhando-se sobre papel *overlay* as feições de interesse, tais como: a drenagem, as voçorocas e os principais pontos: cidades, rodovias etc. Para realizar a foto-interpretação utilizou-se de conjuntos de trincas de fotos ao longo de cada faixa, de modo que a foto central da trinca possuía parte de sua área recoberta pelas fotos anterior e posterior; assim obteve-se 53 fotos-interpretadas. A partir destas montou-se um mosaico compondo a bacia do ribeirão, este mosaico foi então completamente transferido (desenhado) para uma folha inteira de papel *overlay*, confeccionando-se o mapa de drenagem da bacia. Ao se montar o mosaico este apresentou distorção em relação ao mapa topográfico, isto em função da foto aérea apresentar distorções de borda.

Para a realização da análise estatística sobre a localização e a distribuição das voçorocas houve a necessidade de se digitalizar o mapa de drenagem da bacia, georeferenciando-o a partir da identificação de pontos selecionados no mapa de drenagem (Figura 2) e suas respectivas coordenadas *UTM*, obtidas do mapa topográfico da área. Essa digitalização foi realizada no laboratório de cartografia digital – IGC/UFMG, utilizando-se uma mesa digitalizadora de tamanho *A0*, gerenciada pelo programa *MicroStation*. A distorção do mapa de drenagem calculada a partir dos pontos de referência escolhidos aproxima-se de 10%. O valor relativamente baixo de distorção permitiu a utilização desse mapa dentro dos objetivos e da escala de trabalho.

O mapa geológico da área (Figura 3) também foi digitalizado para permitir a superposição de imagens – mapa de drenagem sobre o mapa geológico – com fins interpretativos. Foi então “*escanderizado*” e digitalizado o mapa geológico da área (escala 1:100.000) utilizando-se o programa *MicroStation*. Para a sua apresentação manteve-se a mesma configuração de cores utilizadas no mapa original.

Para se correlacionar a distribuição das voçorocas com o tipo litológico ao longo da bacia, seria o ideal que houvesse um mapa geológico com a escala compatível com a obtida pela interpretação das fotos-aéreas. No entanto, o mapa disponível é o mapa do projeto Espinhaço, folhas de Diamantina e de Pres. Kubistchek (Comig, 1997), na escala de 1:100.000. Desse modo, optou-se por ajustar o mapa de drenagem, com escala de 1:30.000, ao mapa geológico, utilizando-se de ferramentas digitais disponíveis no programa *MicroStation*. Para tanto, foram necessárias as identificações de pontos comuns nos dois mapas para que o encaixe fosse o mais correto possível. Devido às distorções introduzidas com a foto-interpretação, optou-se por utilizar, como referência de ajuste, o traçado do ribeirão do Chiqueiro, por ser uma faixa que está presente em ambos os mapas e por apresentar menor distorção no mapa de drenagem.

Para esse tipo de interpretação optou-se pelo procedimento diagnóstico realizado pelo programa Sistema de Análise e Gestão Ambiental - SAGA (Mourão, 2003) que é um sistema eficiente para empreender a correlação desejada. O procedimento diagnóstico compreende os tratamentos necessários para a identificação, no tempo e no espaço, de dados e problemas específicos relevantes para a análise da situação ambiental em estudo. Abrange três fases:

- Inventário (identificação, localização e classificação das voçorocas no mapa de drenagem)
- Planimetria (identificação da área de ocorrência)

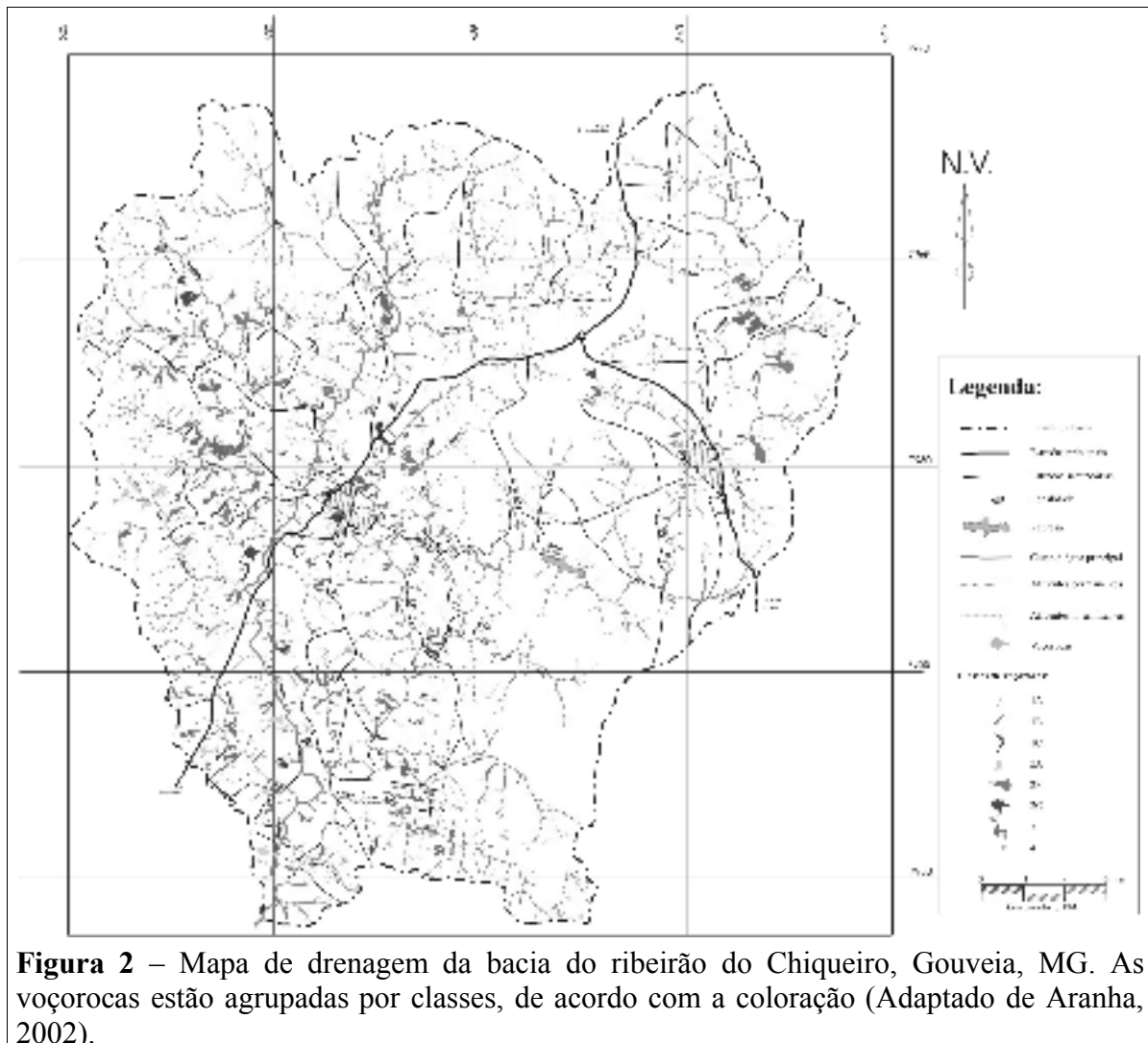


Figura 2 – Mapa de drenagem da bacia do ribeirão do Chiqueiro, Gouveia, MG. As voçorocas estão agrupadas por classes, de acordo com a coloração (Adaptado de Aranha, 2002).

- Assinaturas:

- O sistema permite o trânsito entre as localizações e os atributos, ou seja, a recuperação da localização a partir da seleção de uma informação e vice-versa (classificação das voçorocas por tipo e por agrupamento, superpondo com a informação do substrato geológico, identificando, por exemplo, a área de ocorrência ou percentagem de ocorrência de um atributo com uma determinada assinatura geológica).

Para realizar essa análise, os dados vetoriais, ou seja, os mapas de drenagem e geológico já digitalizados, foram convertidos em dados matriciais (*raster*). A resolução adotada para o *pixel* foi de 5 x 5 m, ou seja 25 m². Em função dessa dimensão, a matriz das áreas dos dois mapas foi obtida no formato 4.200 x 4.400 *pixels*, para uma área de dimensões 21 x 22 km. A resolução de 5 metros do *pixel* está de acordo com a precisão cartográfica do mapa fonte (mapa de drenagem da bacia), pois isso significa 0,2 mm no mapa em escala 1:25.000, o que coincide com o Padrão de Exatidão Cartográfica (a dimensão mínima que se pode esperar de informação em um mapa na escala 1:25.000).



programa *MicroStation Descartes*. As cores do mapa geológico deveriam estar diferenciadas para cada tipo litológico, uma vez que o programa SAGA trabalha com cores indexadas, associando a cada cor um componente de legenda. O arquivo de saída, com os dois mapas superpostos no formato *Tiff*, foi transformado para o formato *RST* (formato utilizado pelo SAGA). Nesse programa, então, efetuou-se a análise de ocorrência dos tipos de voçorocas em determinados substratos geológicos a partir da definição dos parâmetros de entrada e saída dos dados, ou seja, correlacionando-se um atributo com uma assinatura (um tipo de voçoroca e sua distribuição espacial em área em cada tipo litológico presente).

Para a caracterização das voçorocas da área observou-se que elas possuem, basicamente, três formas: lineares, arborescentes e mistas. Algumas são muito pequenas e não apresentam uma forma expressiva. As voçorocas foram classificadas, desse modo, nos seguintes grupos:

1 - Lineares 2 - Arborescentes 3 - Mistas, Complexas 4 - Indefinidas

Observou-se, ainda, que mesmo as voçorocas lineares apresentam algumas variações com presença de ramificações e curvas; as arborescentes apresentam formas abertas, com ramificações, alongadas etc. Desse modo, optou-se por utilizar classes dentro dos grupos, para facilitar a identificação e a caracterização das voçorocas.

Após a análise dos aspectos geométricos e das formas das voçorocas no mapa de drenagem da bacia, elas foram categorizadas nos grupos descritos na Tabela 1. Algumas voçorocas apresentam características híbridas, mesmo assim, aquelas que se enquadram em mais de uma classe foram identificadas com base na forma de maior realce à primeira vista.

Tabela 1 - Categorização dos grupos de voçorocas que ocorrem na bacia do ribeirão do Chiqueiro, Gouveia, Minas Gerais.

Grupo	Classe	Descrição	Modelo	
1	Lineares	1A	Longitudinal – predominantemente fechada sem ramificações	
		1B	Longitudinal fechada com ramificações	
		1C	Longitudinal fechada, com mudança de direção formando ângulo pronunciado	
2	Arborescentes	2A	Arborescente muito ramificada	
		2B	Arborescente com tendência longitudinal	
		2C	Arborescente radial	
3	Mistas/ Complexas	3	Complexa, mistura de longitudinal-foliar com ramificação	
4	Indefinidas	4	Longitudinal-Arborescente com dimensões reduzidas (menores que 100 m)	

A numeração utilizada incluiu as voçorocas que estão relacionadas nos trabalhos executados na década de 1980 e que possuíam uma numeração anterior. Isso foi realizado com o propósito de não se perder a referência dos trabalhos já efetuados nas mesmas, com os respectivos dados disponíveis (ex. Valadão, 1986; Malheiros, 1985; Ferreira, 1985; Oliveira, 1986; e outros).

4 – Discussão dos Resultados



A distribuição de voçorocas por grupos (Figura 4) mostra que aquelas pertencentes ao Grupo-1, longitudinal, possuem a maior concentração em termos de número, seguidas pela concentração do Grupo-2, do Grupo-4 e, por último, do Grupo-3.

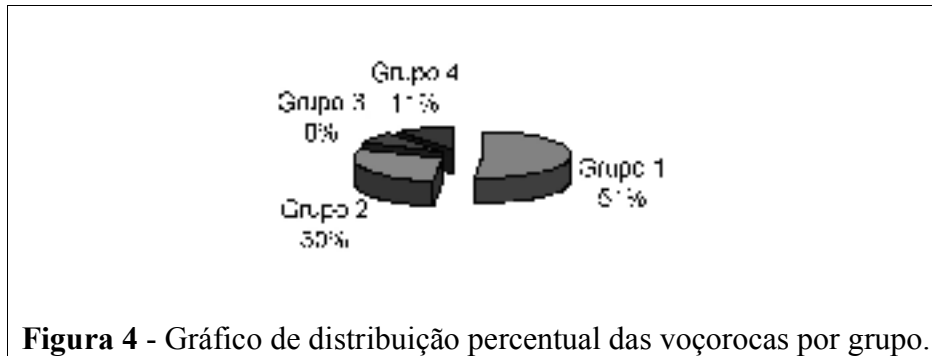


Figura 4 - Gráfico de distribuição percentual das voçorocas por grupo.

Dentre as voçorocas do Grupo-1, aquelas classificadas como 1A são em maior número, seguidas pela concentração das voçorocas classificadas como 2B, arborescente com ramificação e, logo a seguir, pelas classificadas como 1B, longitudinal com ramificações (Figura 5).

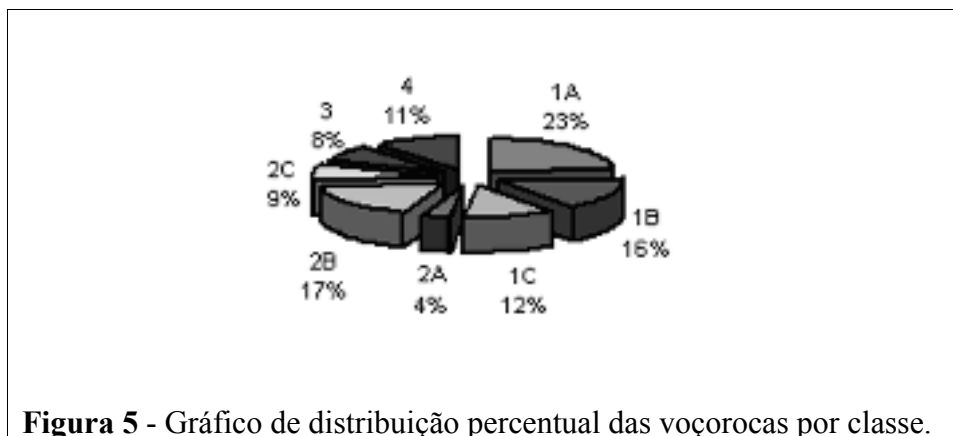


Figura 5 - Gráfico de distribuição percentual das voçorocas por classe.

Isso indica que o processo de incisão é um dos aspectos importantes no processo erosivo da área. Por outro lado, a presença significativa de voçorocas com ramificações, classes 1B e 2B, indica que o processo de alargamento das voçorocas está em andamento. Parece que essas ramificações estão localmente relacionadas com as características do solo/saprólito, sugerindo que esse alargamento está condicionado pela estrutura da subsuperfície. Essa característica pode ser também observada nos gráficos de distribuição das direções de crescimento de todas as voçorocas (Figura 6). Nestes, nota-se que as principais direções de crescimento das voçorocas são: N, ENE e SW; e, secundariamente: ENW e ESE. Essas direções são concordantes com as direções estruturais presentes na área do Complexo Gouveia, tais como foliação, foliação milonítica, direção de fraturas, direção de falhamentos, identificadas por Pflug e Carvalho (1964); Schöll e Fogaça (1981); Almeida-Abreu (1989); Cruz (2000) e outros.

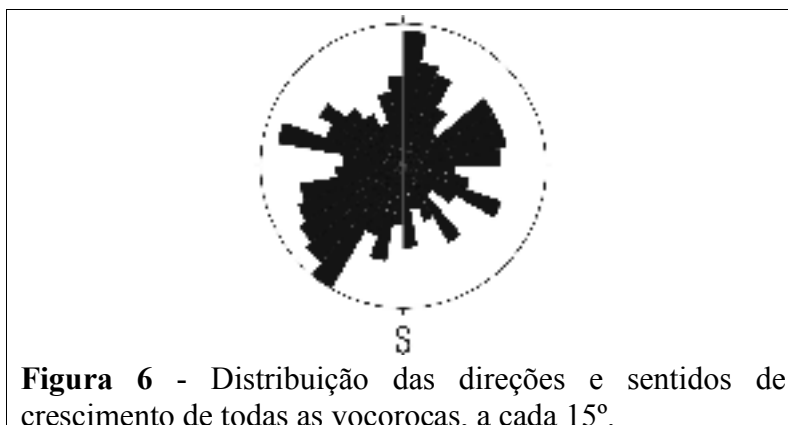


Figura 6 - Distribuição das direções e sentidos de crescimento de todas as voçorocas, a cada 15°.

Ao se analisar os dados de direção de crescimento em cada grupo de voçorocas (Figura 7), observa-se que aquelas que pertencem ao Grupo-1 apresentam como direções e sentidos principais: N, NE e SW. As voçorocas do Grupo-2 apresentam direções e sentidos de crescimento com ampla variação. Contudo, observa-se um sentido bem marcante: NW. As voçorocas do Grupo-3, complexas, apresentam direções e sentidos de crescimento que são semelhantes às direções apresentadas por aquelas dos Grupos-1 e 2.

Ao serem observadas as direções das voçorocas classificadas dentro do Grupo-1 em: 1A, 1B e 1C, percebe-se que em todos os gráficos as direções e os principais sentidos são iguais (Figura 8); no entanto, no gráfico daquelas classificadas como 1C, nota-se o aparecimento de outros dois sentidos marcantes: NW e SE, que representam uma única direção. Como estas voçorocas apresentam curvas em alto ângulo, isto se reflete na variação das direções de crescimento das mesmas, o que é corroborado pelo gráfico.

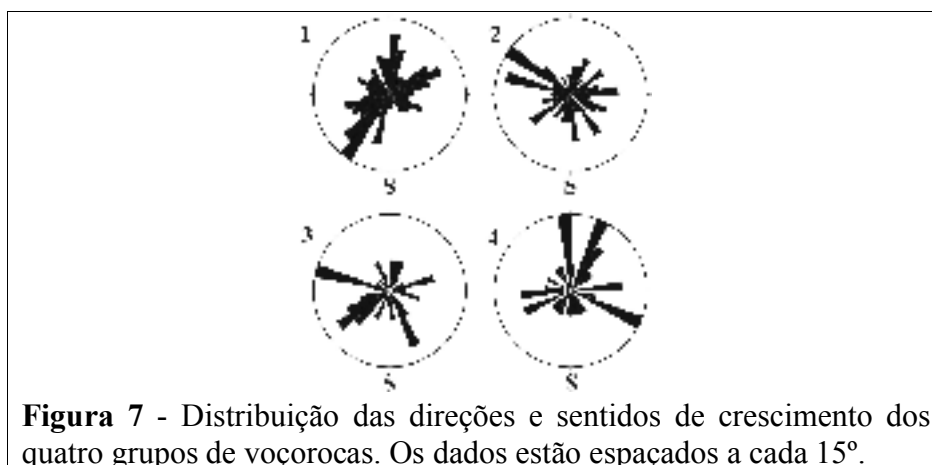


Figura 7 - Distribuição das direções e sentidos de crescimento dos quatro grupos de voçorocas. Os dados estão espaçados a cada 15°.

Ao se analisar o mapa de drenagem da bacia com a distribuição das voçorocas classificadas, identificadas por grupos (Figura 2), sobrepondo-o ao mapa geológico da bacia (Figura 3), observa-se a concentração das formas foliares (2A, 2B e 2C) na parte central e noroeste da bacia. De modo diferente, as voçorocas com formas lineares (1A, 1B e 1C) ocorrem por toda a bacia, concentrando-se, no entanto, nas porções média e jusante da bacia. Observa-se, também, que a ocorrência de voçorocas na região leste-nordeste da bacia é muito reduzida, indicando que as rochas quartzíticas apresentam pouca susceptibilidade à ocorrência desse tipo de processo erosivo. Pode-se inferir, a partir da observação do mapa de drenagem, que as voçorocas com maior comprimento e com maior largura concentram-se nas porções média e montante da bacia. Esse aspecto sugere que o



processo erosivo nesta área concentra-se em maior atividade, apresentando também correlação positiva com o aumento do gradiente da drenagem nesta área.

Observa-se também a correlação entre a localização das voçorocas e o substrato rochoso, indicando que a ocorrência destas está fortemente controlada pelas características geológicas da subsuperfície. Neste particular, observa-se a ocorrência de voçorocas nas áreas com rochas do Complexo Gouveia (granitos/gnaisses) e rochas do Grupo Costa Sena (quartzo xistos e quartzos-mica xistos). Nota-se que cada grupo ocupa uma área na bacia e contém voçorocas de mais de uma categoria.

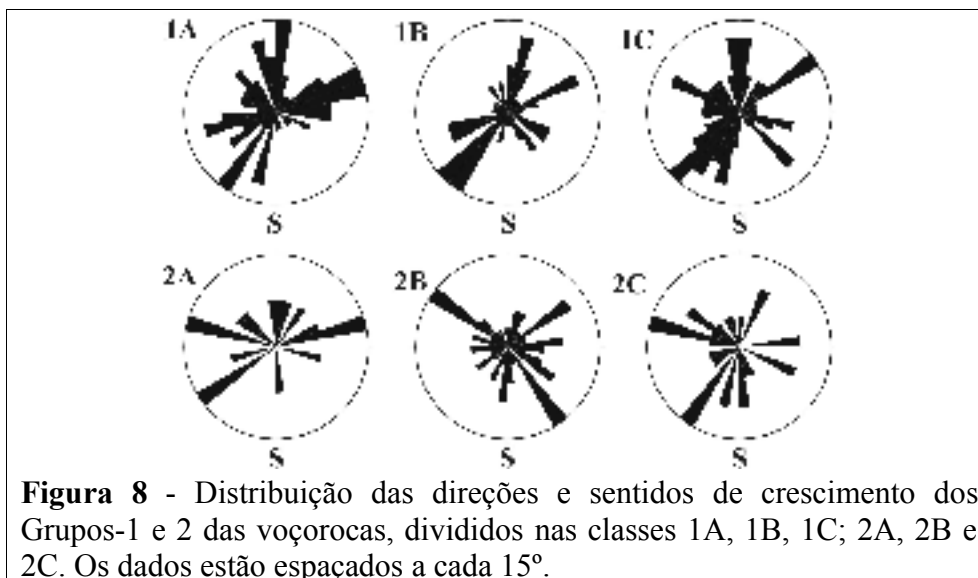


Figura 8 - Distribuição das direções e sentidos de crescimento dos Grupos-1 e 2 das voçorocas, divididos nas classes 1A, 1B, 1C; 2A, 2B e 2C. Os dados estão espaçados a cada 15°.

Para se analisar em detalhes as correlações entre as voçorocas e o tipo de substrato rochoso em que se desenvolvem, utilizou-se o programa SAGA. A partir da estampagem dos dois mapas com as informações necessárias, mapa de drenagem e mapa geológico da bacia, determinou-se as relações de ocorrência de um atributo (grupo e/ou classe de voçorocas) com uma assinatura no outro mapa (geologia da área). A relação solicitada foi a área de ocupação de cada grupo e de cada classe de voçorocas sobre cada tipo de litologia (Tabela 2). Ao analisar o resultado nota-se que:

- 68,3% das voçorocas do Grupo-1 ocorrem sobre rochas do Complexo Gouveia (granitos-gnaisses). Essa relação também se mantém alta para todos os outros grupos: 56%, 50% e 66% para os Grupos-2, 3 e 4, respectivamente. Esses dados indicam a predominância da ocorrência do processo erosivo sobre esse tipo de litologia. Isso vem corroborar o que é observado pela superposição direta dos mapas e nas investigações efetuadas em campo.
- 15% das voçorocas do Grupo-1 ocorrem sobre rochas do Grupo Costa Sena. Do mesmo modo, a percentagem para os outros Grupos se mantém baixa, isto é, 17%, 28% e 12% para os Grupos-2, 3 e 4, respectivamente, indicando uma segunda tendência do processo erosivo a ocorrer com menor intensidade sobre esse tipo de litologia (principalmente xistos).

Nota-se também que o percentual de voçorocas que ocorrem sobre rochas da formação Sopa-Brumadinho, em geral, é muito pequena. No entanto, este valor aumenta, em termos relativos, para as voçorocas dos Grupos-2 e 3. Observa-se que nesse tipo de litologia há o percentual relativo elevado de ocorrência de voçorocas da classe 2B, 22% do total destas. Percentual muito maior que para as classes 2A e 2C, respectivamente 10% e 6%.



Tabela 2 - Correlações de ocorrência dos grupos e das classes de voçorocas com as litologias presentes na bacia (análise realizada com o programa SAGA) – Modificada de Aranha (2002)

Geologia	Classe 1A			Classe 1B			Classe 1C			Grupo-1		
	Pixels	Ha	%	Pixels	Ha	%	Pixels	Ha	%	Pixels	Ha	%
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1397	3,4925	5,38	169	0,4225	0,44	1334	3,335	4,94	2900	7,25	3,18
3	942	2,355	3,63	1223	3,0575	3,21	356	0,89	1,32	2521	6,3025	2,77
4	4171	10,4275	16,06	2031	5,0775	5,33	1375	3,4375	5,09	7577	18,9425	8,32
5	5408	13,52	20,82	5448	13,62	14,29	3661	9,1525	13,55	14517	36,2925	15,93
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	13654	34,135	52,57	28747	71,8675	75,39	19850	49,625	73,47	62251	155,6275	68,32
Cont. Litológicos	384	0,96	1,48	512	1,28	1,34	442	1,105	1,64	1338	3,345	1,47
Drenagem	16	0,04	0,06	1	0,0025	0,00	0	0	0	17	0,0425	0,02
Total	25972	64,93	100	38131	95,3275	100	27018	67,545	99,998	91121	227,8025	100

Geologia	Classe 2A			Classe 2B			Classe 2C			Grupo-2		
	Pixels	Ha	%	Pixels	Ha	%	Pixels	Ha	%	Pixels	Ha	%
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1100	2,75	5,65	3257	8,1425	5,76	0	0	0	4357	10,8925	4,90
3	0	0	0	320	0,8	0,57	0	0	0	320	0,8	0,36
4	2088	5,22	10,72	12563	31,4075	22,23	852	2,13	6,62	15503	38,7575	17,45
5	1682	4,205	8,64	10390	25,975	18,39	3476	8,69	27,00	15548	38,87	17,50
6	310	0,775	1,59	555	1,3875	0,98	0	0	0	865	2,1625	0,97
7	13859	34,6475	71,18	28433	71,0825	50,31	8209	20,5225	63,77	50501	126,2525	56,83
Cont. Litológicos	432	1,08	2,22	994	2,485	1,76	336	0,84	2,6	1762	4,405	1,98
Drenagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	19471	48,6775	99,99	56512	141,28	100,0	12873	32,1825	100	88856	222,14	100

Geologia	Grupo-3			Grupo-4		
	Pixels	Ha	%	Pixels	Ha	%
1	0	0	0	0	0	0
2	2182	5,455	4,4	356	0,89	7,17
3	0	0	0	0	0	0
4	6897	17,2425	13,9	360	0,9	7,25
5	14077	35,1925	28,39	642	1,605	12,92
6	306	0,765	0,61	180	0,45	3,62
7	24891	62,2275	50,21	3325	8,3125	66,93
Cont. Litológicos	1222	3,055	2,47	105	0,2625	2,11
Drenagem	0	0	0	0	0	0
Total	49575	123,9375	100,0	4968	12,42	100

Ha = Hectare

Geologia	Descrição
1	Depósitos Terciário/Quaternário
2	Suíte Pedro Lessa
3	Fms. Galho Miguel + São João da Chapada
4	Formação Sopa-Brumadinho
5	Grupo Costa Sena indiviso
6	Grupo Pedro Pereira
7	Complexo de Gouveia



Observa-se, ainda, que o percentual de voçorocas sobre rochas metabásicas (Suíte Pedro Lessa) é muito pequeno, talvez devido à escala do mapeamento geológico utilizado, que não mostra as pequenas intrusões. Esses dados mostram inequivocamente, para a bacia em estudo, a correlação positiva entre a presença de processos acelerados (voçorocas) e o substrato rochoso granito/gnaiss; e, secundariamente, que esses processos podem se desenvolver sobre outras litologias, dependendo das condições locais.

Desse modo, deduz-se que as voçorocas apresentam o condicionamento geológico, isto é, o processo erosivo desenvolve-se sobre rochas que apresentam características apropriadas: rochas mais brandas, apresentando estruturas favoráveis à incisões – fraturas, lineamentos. Esses aspectos vêm corroborar os dados apresentados por Augustin (1995).

Salienta-se, entretanto, que apesar de se utilizar dois mapas originalmente com escalas diferentes, principalmente o mapa geológico com escala de 1:100.000 (com poucos detalhes das intrusões metabásicas) e o de voçorocas (drenagem) com escala de 1:30.000, a superposição do mapa de maior detalhe sobre o de menor detalhe, não apresenta discrepâncias essenciais na interpretação objetivada.

Agradecimentos:

Agradecemos à Fapemig (Cex – 1669/95 e Cra –4935) pelo suporte financeiro da pesquisa.

Referências Bibliográficas.

- Almeida-Abreu, P.A.. Geologia das Quadrículas de Onça e Cuiabá (Gouveia, M.G.) - Região Mediana Central da Serra do Espinhaço Meridional. Tese de Mestrado, UFRJ, 148p. Rio do Janeiro; 1989.
- Aranha, P.R.A. Contribuições às Ciências da Terra: Estudo das Coberturas Superficiais e sua Dinâmica na Região de Gouveia, Serra do Espinhaço, MG: Utilizando o radar de penetração no solo (GPR). Série D, V.1. UFOP, Ouro Preto, 305p.; 2002.
- Augustin, C.H.R.R. Gully development and its correlation with “paleo-drainage” systems: a case study from Gouveia, MG, Brazil. 13. Geowissenschaftliches Lateinamerika - Kolloquium, p.18-20, Münster-Alemanha; 1992.
- Augustin, C.H.R.R. Amphitheaters and Hollows with Depositional Sequences and their Significance on the Evolution of Tropical Landscape. 14th Intern. Sedimentol. Congr., IAS/UFPE, p.G5. Recife; 1994.
- Augustin, C.H.R.R. Geoökologische Studien in Südlichen Espinhaçogebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien unter besonderer Berücksichtigung der Landschaftsentwicklung. Tese de Doutorado, Universidade de Frankfurt. 121p., Frankfurt-Alemanha; 1995.
- Augustin, C.H.R.R. Aspectos geomorfológicos da região de Gouveia, Espinhaço Meridional, MG.13º Simpósio de Geologia de Minas Gerais, SBG- Núcleo Minas Gerais, p.13-14, Diamantina; 1996.
- Augustin, C.H.R.R.; Aranha, P.R.A., Pires Fº, J.L.; Costa, W.D; Parizzi, M.G.; Mata-Machado, R; Abreu, M.L.; Jardim, H.L. e Lúcio, P.S Relatório Técnico: Estudo das coberturas superficiais e sua dinâmica cenozóica na região de Gouveia, Espinhaço Meridional. Projeto de Pesquisa, Fundep/Fapemig, CEX 1669-96. 526p. Belo Horizonte; 1999.
- Bacellar, L.A.P. Condicionantes Geológicos, Geomorfológicos e Geotécnicos dos Mecanismos de Voçorocamento na Bacia do Rio Maracujá, Ouro Preto, MG. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 226p., Rio de Janeiro; 2000.



- Bigarella, J.J. e Mazuchowski, J.Z. Visão Integrada da Problemática da Erosão. 3º Simpósio de Controle de Erosão; Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p.332, Maringá; 1985.
- Bradford, J.M.; Piest, R.F. e Spomer, R.G. Failure Sequence of gully Headwalls in Western Iowa. Soil Sci. Soc. Am. Jour., v.42, p.323-328; 1978.
- Bryan, R.B. e Poesen, J. Laboratory experiments on the influence of slope length on runoff, percolation and rill development. Earth Surface Processes and Landforms, v.14, p.211-231; 1989.
- COMIG - Companhia Mineradora do Estado de Minas Gerais. Projeto Espinhaço, Mapas Geológicos, Folhas de Diamantina e Presidente Kubistchek, Escala 1:100.000. Cdroom, Belo Horizonte; 1997.
- Costa, W.D. e Parizzi, M.G. Análise fenomenológica do processo erosivo e estudo das contenções mais adequadas para a estabilização das voçorocas de Gouveia, Serra do Espinhaço. In: Estudo das coberturas superficiais e sua dinâmica cenozóica na região de Gouveia, Espinhaço Meridional. Relatório Final, Projeto de Pesquisa, Fundep/Fapemig, CRA 1669-96. 526p. Belo Horizonte; 1999.
- Crouch, R.J. Field Tunnel Erosion: A Review. - J. Soil Cons. Serv. of New South Wales; 1976.
- Crouch, R.J. The relationship of gully sidewall shape to sediment production. Australian Journal of Soil Research, v.25; p.531-539; 1987.
- Cruz, S.C.P. Zonas de cisalhamento do núcleo Anticlinal de Gouveia: Processos deformacionais e metamórficos. Dissertação de mestrado, Departamento de Geologia, Escola de Minas, UFOP, MG, 276p., Ouro Preto; 2000.
- Faulkner, H. An allometric growth model for competitive gullies. - Z. Geomorph. N.F., Suppl. Bd.; v.20, p.36-63, Stuttgart-Alemanha; 1976.
- Ferreira, M.B. Análise morfométrica das redes de drenagem de voçorocas do alto Paraúna (Gouveia), Serra do Espinhaço, MG. Monografia de Graduação, Instituto de Geociências - UFMG, 76p., Belo Horizonte; 1985.
- Figueiredo, M.A. Óxidos de Ferro Pedogênicos e sua Influência na Agregação de Partículas de Argila: Estudo de Caso na Região de Gouveia, Serra do Espinhaço Meridional- MG. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, UFMG, 95p., Belo Horizonte; 1999.
- Fiori, L. e Soares, A. Aspectos relativos das voçorocas. Notícias Geomorfológicas, v.16, n.32, p.40-48, Campinas. 1976.
- Gerrard, J. Soil Geomorphology, an integration of pedology and geomorphology. Ed. Chapman & Hall, 269p., Londres-Inglaterra; 1992.
- Harvey, M.D.; Watson, C.C. e Schumm, S.A. Gully Erosion. USDI, Bureau of Land Management, Technical Note 366, Denver-EUA; 1985.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta topográfica 1.100.000, folhas de Diamantina e Presidente. Kubistchek, Rio de Janeiro; 1977.
- Imeson, A.C. e Kwaad, F.J.P.M. Gully types and gully prediction. KNAG, Geografisch Tijdschrift v.XIV, n.5, p.430-441; 1980.
- Ireland, H.A.; Sharpe, C.F. e Eargle, D.H. Principles of gully erosion in the Piedmont of South Carolina. US Dep. of Agriculture, Technicall Bulletin 633, Washington DC – EUA; 1939.
- Jones, J.A.A. Soil Piping and Stream Channel Initiation. Water Resources Research, v.7, n.3, p.602-610; 1971.



- Jones, J.A.A. The effects of soil piping on contributing areas and erosion patterns. *Earth Surface Processes and Landforms*, v.12, p.229-248; 1987.
- Lal, R. Analysis of different process governing soil erosion by water in the tropics. *IAHS Publications*, v.13, p.351-366; 1981.
- Malheiros, D.D. Análise Preliminar da Morfologia das Bordas das Voçorocas na Região do Alto Paraúna - Serra do Espinhaço, Gouveia - MG: 2a. Etapa. Monografia de Graduação, Departamento de Geografia, IGC-UFMG, 176p., Belo Horizonte; 1985.
- Moreira, C.V.R. Fatores condicionantes das voçorocas na sub-bacia do Rio Santo Antônio, Bacia do Rio Grande, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, IGC-UFMG, 163p., Belo Horizonte; 1982.
- Mourão, A.C.M. Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano. Ed. da Autora, v.1; 294p; Belo Horizonte; 2003.
- Ocagbue, C.O. Gully development and advance in a rain forest of Nigéria. 5th Intern. Ass. of Engineering Geology Congress; v.3 , Balkema, p.1990-2010. Buenos Aires-Argentina; 1986.
- Ohmori, H.; Speight, J.G. e Takeuchi, K. Stratigraphic background of gully development of the Pekina catchment in the Mt. Loft Ranges, South Africa. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*. Tokio – Saigak, v.21, p.65-84; 1986.
- Oliveira, L.M. Estudo sobre a variação das formas das vertentes nas áreas de ocorrência de voçorocas - Alto médio Paraúna, Gouveia, MG. Monografia de Graduação, Departamento de Geografia, IGC-UFMG, 112p., Belo Horizonte; 1986.
- Parzanese, G.A.C. (1991). Gênese e desenvolvimento de voçorocas em solos originados de rochas granitóides na região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, 117p.,UFV, Viçosa.
- Pflug, R. Die Serra do Espinhaço - Ein präkambrischer Kontinentalrand. - 5. Geowiss. Lateinamerika Koll., Abstr., Clausthal-Alemanha; 1976.
- Pflug, R. e Carvalho, R.T. Evolução estrutural da região de Gouveia e Serra do Espinhaço, MG. DNPM/DGM, Boletim 213, 37p., Rio de Janeiro; 1964.
- Saadi, A. e Valadão, R.C. Evolução morfodinâmica da região de Gouveia, Serra do Espinhaço, Minas Gerais. 4^o Simpósio de Geologia de Minas Gerais, SBG, Núcleo Minas Gerais, p.434-448, Belo Horizonte; 1987.
- Schöll, W.U. e Fogaça, A.C.C. Relatório geológico das quadrículas de Guinda/Gouveia. Projeto Mapeamento Geológico do Espinhaço Meridional, Convênio DNPM/UFMG-Centro de Geologia Eschwege, Diamantina; 1981.
- Schumm, S.A. Geomorphic thresholds and complex response of drainage basins. In: *Fluvial Geomorphology*, Wiley and Sons, New York-EUA; 1973.
- Schumm, S.A. e Hadley, R.F. Arroyos and the semiarid cycle of erosion. *American Journal of Science*, v.255, p.161-174; 1957.
- Sobreira, F.G. Estudo das erosões de Cachoeira do Campo, Ouro Preto, MG. UFOP/DEGEO, Relatório Fapemig, CEx 860/96, 130p., Ouro Preto; 1998.
- Valadão, R.C. Estudo sedimentológico das formações superficiais do sistema alveolar do córrego dos Pereiras, Bacia do Ribeirão do Chiqueiro, Espinhaço. Monografia de Graduação, Departamento de Geografia, IGC-UFMG, 140p.; Belo Horizonte; 1986.
- Valadão, R.C. Evolução de longo-termo do relevo do Brasil oriental: desnudação, superfície de aplainamento e soerguimentos crustais. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, CPGG, 243p., Salvador; 1998.
- Vieira, N.M. Estudo Geomorfológico das boçorocas de Franca, São Paulo. Tese de Doutorado, Unesp, IHSS, Franca; 1978.
- Young, A. *Tropical Soils and Soil Survey*. Cambridge University Press, Cambridge, Londres-Inglaterra; 1976.