

## ASPECTOS GEOLÓGICOS RELACIONADOS ÀS CAVERNAS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO - MG

*GEOLOGICAL ASPECTS RELATED TO THE CAVES ON QUADRILÁTERO FERRÍFERO - MG*

**Oswaldo A. Belo de Oliveira**

Vale - Gerência de Espeleologia e Tecnologia.

Contatos: [osvaldo.belo@vale.com](mailto:osvaldo.belo@vale.com).

### Resumo

O estudo de cavernas no Quadrilátero Ferrífero – MG permitiu a observação de feições geológicas relacionadas às coberturas de canga que não condizem somente com sua origem eluvionar e coluvionar atualmente estabelecida. Estas coberturas – que hospedam a maioria das cavernas em rochas ferríferas – constituem um pacote de sedimentos fluviais e lacustres depositados em bacias controladas tectonicamente a partir do Neocretáceo.

**Palavras-Chave:** Canga, depósitos lateríticos, paleoclima, tectônica, espeleologia.

### Abstract

*The study of caves in the Quadrilátero Ferrífero - MG allowed the observation of geological features related to the coverage of canga that conflict with the eluvial and colluvial origin currently set. These covers - which host the majority of caves in ferriferous rocks - are a package of river and lake sediments deposited in tectonically controlled basins from the Early Cretaceous.*

**Key-words:** Canga, lateritic deposits, paleoclimate, tectonics, caving.

### 1. INTRODUÇÃO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) - situado na porção centro-norte de Minas Gerais - é uma das principais províncias metalogenéticas do Brasil. Os levantamentos espeleológicos realizados em atendimento à nova legislação ambiental possibilitaram a identificação de feições geológicas no campo que serviram de premissa para este trabalho.

### 2. METODOLOGIA

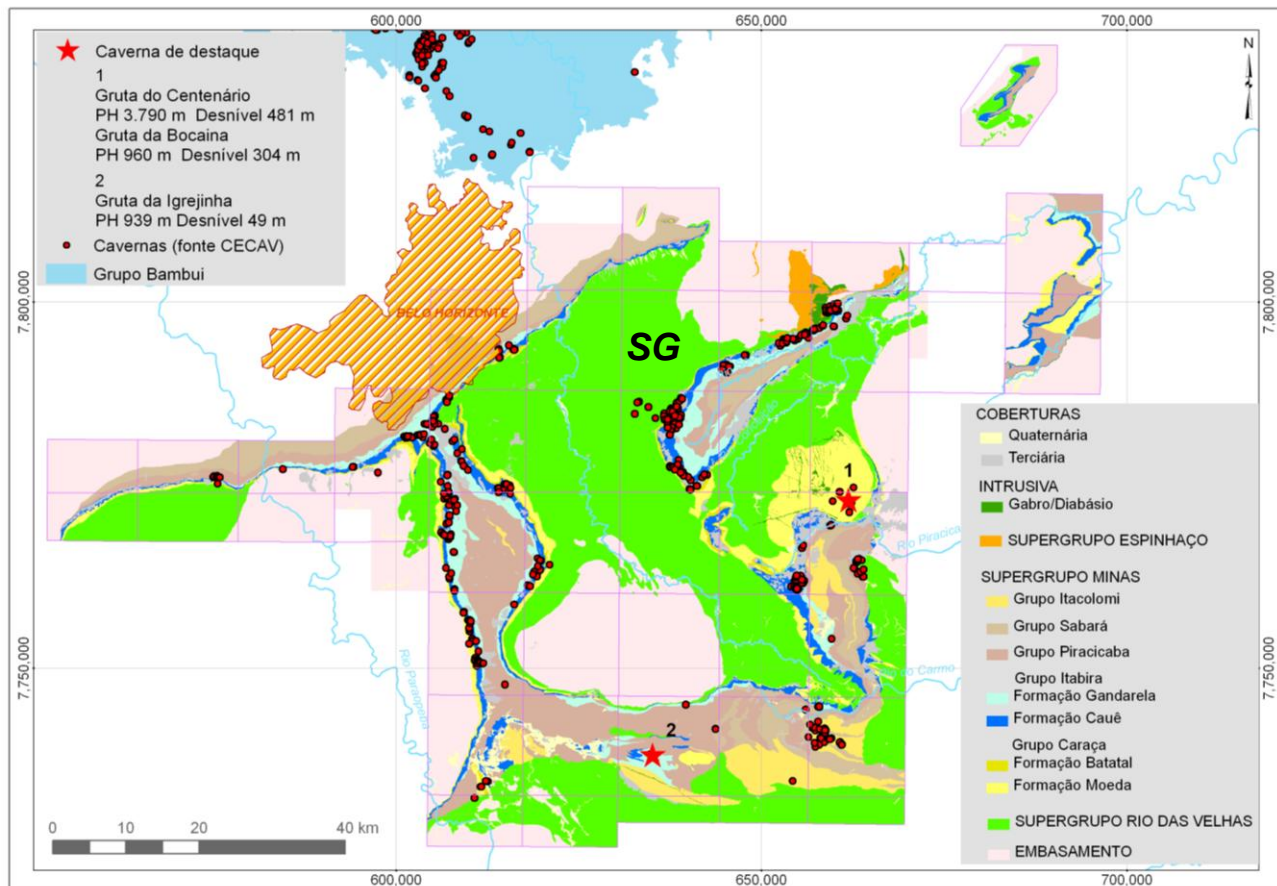
As hipóteses apresentadas foram feitas a partir da interpretação de imagens de ortofotos de alta resolução utilizando-se dados espeleológicos, geológicos, aerogeofísicos e de sondagem da unidade geomorfológica Serra do Gandarela (Belo de Oliveira et al., 2011). O objetivo deste trabalho é ampliar o conhecimento geológico das cavernas naturais subterrâneas relacionadas às rochas ferríferas para estudos comparativos de relevância e de compensação.

### 3. CONTEXTO

O Quadrilátero Ferrífero (QF) representa, geologicamente, uma das áreas mais importantes do Brasil. Destaca-se por suas reservas de ouro e ferro, responsáveis pelo desenvolvimento da região mais rica do estado de Minas Gerais, a partir do século XVII, com o ciclo do ouro e a partir de 1917 com o ciclo do ferro, hoje importante pilar da economia mineral do país.

Apesar de abrigar a Gruta do Centenário, uma das maiores cavernas em quartzito do mundo, com projeção horizontal de 3.790 m, a maior parte das cavernas do QF está contida em rochas ferríferas, cuja projeção horizontal média de 24 m contrasta com as cavernas em rochas carbonáticas existentes no Brasil, ainda pouco conhecidas na região, onde destaca-se a Gruta Igrejinha, em rocha dolomítica, com projeção horizontal de 938 m (figura 1).

O grande número de cavernas descobertas em rochas ferríferas no QF está associado ao novo regramento jurídico para a espeleologia no Brasil, que direcionou grandes esforços da indústria mineral para a prospecção espeleológica e estudos de relevância, visando atender a legislação em vigor e diminuir os riscos e impactos econômicos das suas atividades.



**Figura 1** – Localização do Sinclinal do Gandarela (SG) e das cavernas no Quadrilátero Ferrífero MG (simplificado de Door, 1969)

#### 4. DISCUSSÃO

A canga no QF forma uma extensa cobertura de rochas em cotas altas a intermediárias, representando relictos de coberturas que se estendem por áreas bem maiores. Nela está contida a maioria das cavernas identificadas em rochas ferríferas. No Sinclinal do Gandarela (SG), 82% das cavernas estão na canga e 18% em itabirito. Destas, 76% estão situadas num raio de 50 m fora da canga, o que evidencia sua intrínseca relação com a espeleogênese.

O estudo de cavernas em rochas lateríticas no QF foi feito pioneiramente por Simmons (1963) - que já correlacionava a ocorrência de cavidades à existência de canga - e posteriormente por diversos pesquisadores, destacando-se os trabalhos de Pinheiro & Maurity (1988), Maurity & Kotschoubey (1995), Auler & Piló (2005), Pilo & Auler (2005) e Pilo & Auler (2009).

#### 4.1 As rochas ferríferas hospedeiras das cavernas no QF

A atual definição de canga foi dada por Dorr (1969), que a classificou em quatro tipos: detrítica, estruturada, rica e química. A primeira corresponde a uma rocha rica em ferro de origem detrítica formada pela litificação de seus fragmentos - geralmente de itabiritos, minério com alto teor de hematita e, ocasionalmente, de filito e quartzo - derivados de rochas imediatamente adjacentes ou subjacentes, cobrindo principalmente itabiritos.

A canga estruturada é quantitativamente menos importante e, estritamente, não corresponde à canga, mas ao itabirito intemperizado. Por sua feição fisiográfica e aspecto físico muito semelhantes, foi classificada como canga. Já o termo canga química foi aplicado para a canga com poucos fragmentos detríticos e muita limonita. Geralmente, é muito aluminosa e mais frequente em encostas suaves. A canga rica, por sua vez, corresponde à rocha com fragmentos predominantemente de hematitas e seu conteúdo de ferro é comumente acima de 64%. Segundo Dorr (1964), a canga detrítica e estruturada normalmente

gradam em profundidade para itabiritos enriquecidos.

Durante os estudos geoespeleológicos no SG, identificou-se, na cobertura de canga, duas unidades geológicas sedimentares; uma correspondente à canga detrítica e outra, mais nova, equivalente à canga química constituída por sedimentos terrígenos.

#### 4.1.1 Sedimento terrígeno

Sedimento terrígeno corresponde a lateritos (Costa, 1991), que constituem um pacote de rochas sedimentares com espessura mínima de 60 m, constituído por argilitos, siltitos, arenitos e microconglomerados depositados predominantemente sobre a canga. Estruturas sedimentares de acamamento são pouco frequentes e quando observadas possuem baixo ângulo, provavelmente refletindo o paleorelevo da bacia deposicional. Por ser mais propenso à erosão, sua distribuição em superfície é menos expressiva, apesar de alcançarem extensões contínuas superiores a 4 km. Sua cartografia, feita através de informações de sondagem e de aerogeofísica, indica uma geometria meandrante sugestiva de sedimentos fluviais, cuja extensão pretérita, condicionada pela cobertura de canga, seria muito maior. Os depósitos de bauxita descritos na SG (Varajão, 1988) estão associados a essas rochas.

Na extremidade de uma camada cartografada com mais de 6 km de extensão, estes sedimentos compreendem os sedimentos da Bacia do Gandarela (Gorceix, 1884), com espessura mínima de 125 m - um pacote de argilitos e arenitos, com uma camada de linhito intercalada, recoberto por canga.

O estudo bioestratigráfico, paleoecológico e sedimentológico destes sedimentos (Maizatto, 2001) indicou um ambiente deposicional lacustre, com três unidades cronoestratigráficas empilhadas do Eoceno superior ao Mioceno inferior. A gênese do linhito está vinculada às condições de clima tropical quente e úmido durante o Neoeoceno e subtropical frio e seco no Oligoceno. Esse padrão climático foi também estabelecido para outras bacias tafrogênicas terciárias do SE do Brasil e para outros continentes (Garcia et al., 2007).

#### 4.1.2 Canga

O estudo de cavernas no SG permitiu a observação de feições texturais na canga que não condizem somente com a origem eluvionar-

coluvionar estabelecida por Dorr (1969). A estratificação dos fragmentos constituintes da rocha e o baixo grau de seleção, com fragmentos de 60 cm, indicam uma sedimentação em ambiente aquoso com alta energia de transporte. Essa rocha, com clastos sub-angulosos de itabiritos que chegam a suportar mais de 90% de sua matriz, corresponde a uma brecha. Sua matriz é limonítica, produto da ação da água meteorítica sobre seus clastos - sedimentos terrígenos superiores - percolando, dissolvendo e precipitando ferro em condições ambientes (Simmons, 1960; Dorr, 1964). A canga forma uma carapaça inerte ao intemperismo químico e resistente ao intemperismo mecânico (Dorr, 1969).

Na área estudada, tem uma espessura mínima de 19 m. Sua largura em superfície não corresponde à sedimentação original, pois boa parte da mesma está localizada em encostas, como depósitos coluvionares, produtos de sua erosão e retrabalhamento. Nesta situação os clastos são mais arredondados e contêm fragmentos da própria canga desagregada intempericamente; posteriormente são cimentados por limonita num processo regenerativo contíguo ao longo do tempo geológico. O produto do retrabalhamento nas porções cimeiras - depósitos eluvionares - constitui camadas sobre a canga primária (brecha) que chegam a se destacar na paisagem (figura 2).



**Figura 2** – Camada de canga eluvionar sobre canga primária (brecha sedimentar)

Cangas mais jovens, semelhantes às da Bacia do Gandarela, foram também descritas na Bacia de Fonseca (Maxwell, 1972) - localizada no extremo leste do QF. Posteriormente, foram redefinidas como conglomerados ferríferos - originados em leques aluviais (Sant'Anna & Schorscher, 1994) - também situados no topo desta sequência sedimentar onde é conhecida uma jazida de bauxita (Varajão, 1988).

A datação do perfil de intemperismo de depósitos de minério de ferro laterítico do QF (Spier, 2005) - com idades entre 70 e 12 Ma - permite a dedução da idade relativa da canga entre o Neocretáceo e o Paleoceno, períodos cujas condições úmidas e quentes - com registros em Carajás, África e Austrália - foram responsáveis pela gênese dos depósitos lateríticos de ferro, manganês, níquel, alumínio e caulim (Silva & Oliveira, 1995; Ferrari, 1996; Spier, 2005; Shuster et al., 2005; Costa et al., 2009).

#### **4.2 A relação das coberturas cenozóicas com a tectônica**

O paleoclima do Cenozóico está intimamente relacionado aos processos tectônicos que culminaram com a ruptura do Gondwana Ocidental e a abertura do Oceano Atlântico Sul no Cretáceo Inferior. A evolução do relevo no sudeste do Brasil, a partir do Cenozóico, ocorreu pela reativação de antigas zonas de cisalhamento - com intensa atividade de falhas normais, predominantemente com direção NE-SW - gerando as bacias tafrogênicas terciárias associadas e originando as serras do Mar e da Mantiqueira (Almeida 1976; Riccomini, 1989; Hasui, 1998).

A discordância da canga sobre itabiritos sub-verticalizados na SG, observadas em estruturas do tipo graben, é interpretada como registro sindeposicional de colapso extensional em bacias intermontanas, ainda no Cretáceo. A instabilidade da bacia é evidenciada pela presença de diques clásticos em itabiritos - fendas preenchidas por brechas sedimentares - observados em algumas cavernas e em superfície. A existência desses diques dentro da canga indica que as falhas normais, relacionadas à tectônica extensional, foram ativas durante o Cenozóico, a exemplo da Bacia de Fonseca (Sant'Anna et al., 1997)

A reativação de estruturas antigas é deduzida do alinhamento e paralelismo das falhas normais da Bacia do Gandarela (Maizatto, 2001), de dolomitos vizinhos e de estruturas sub-verticais a verticais com direção NW-SE identificadas em itabiritos laterizados, nas porções cimeiras da SG. As estruturas identificadas nos itabiritos estão relacionadas ao evento compressional eoproterozóico

A reativação das estruturas eoproterozóicas já teria ocorrido no Mesoproterozóico. Diques máficos com direção NW-SE, cortando ortogonalmente os itabiritos, apresentam uma incipiente foliação que

marca o metamorfismo neoproterozóico. Estes diques, assim como os da Serra do Caraça, estão associados ao evento extensional relacionado à abertura do Espinhaço (Alkimim & Marshak, 1998). A recorrência da tectônica extensiva ao longo do tempo geológico é confirmada também pela deformação de caráter extensional dos sedimentos da Bacia do Fonseca (Sant'Anna *et al.* 1997). O notável paralelismo da Gruta do Centenário (Dutra et al., 2002), com diques e lineamentos estruturais com direção NW-SE sugere que a reativação das estruturas proterozóicas tiveram um papel importante na sua espeleogênese.

#### **4.3 A relação da tectônica com as cavidades nas rochas lateríticas**

A canga, ao contrário das rochas carbonáticas das principais províncias espeleológicas do Brasil, não possui os principais atributos que condicionam a espeleogênese, como a presença de rocha solúvel e elevado grau de diaclasamento. (Karmann et al., 1979). Por possuir baixa permeabilidade e ser muito pouco fraturada, comparada às rochas proterozóicas das principais províncias espeleológicas - afetadas por diversos eventos tectônicos compressoriais e distensionais - apresenta pequeno desenvolvimento e isoladas feições raras ou de interesse científico.

As cavernas estão sempre situadas muito próximas à superfície, o que justifica a frequência de clarabóias. Suas dimensões são reduzidas, com projeção horizontal média de 26 m e desnível médio de 2 m, normalmente com tetos muito baixos. Os espeleotemas mais frequentes são coralóides milimétricos e crostas ferruginosas. Pingentes ocorrem menos frequentemente e com tamanho centimétrico, chegando a alcançar 45 cm.

A maior caverna no grupo de rochas lateríticas na SG tem 345 m de projeção horizontal, hospedada no pacote de sedimentos terrígenos. Pelos parâmetros espeleométricos, foi classificada como de relevância máxima, sendo também a maior cavidade em rochas ferríferas no QF. Sua morfologia diferencia-se das demais por seus condutos terem um padrão curvilíneo com seções abobadas com altura média de 1,5 m., semelhante à maior cavidade em rochas lateríticas da unidade geomorfológica Serra Sul (Valentim et al., 2011), com 1.546 m de projeção horizontal, destacando-se da média de 28 m desta unidade.

A grande quantidade de cavernas existentes em rochas ferríferas no QF é consequência do detalhamento durante a prospecção espeleológica,

em atendimento à legislação. O mesmo grau de detalhamento aplicado em outras rochas resistentes à erosão, e com expectativa de potencial espeleológico baixo, também revelariam uma grande quantidade de cavidades subterrâneas naturais, a exemplo de uma área de 80 ha prospectada ao sul da SG, onde foram encontradas 52 cavidades com desenvolvimento linear médio de 29 m.

## 5. CONCLUSÕES

As coberturas cenozóicas que hospedam a maioria das cavernas em rochas ferríferas no QF são constituídas por sedimentos fluviais e lacustres. A distribuição espacial das cangas permite vislumbrar

não só o traçado do relevo no início do Terciário assim como as estruturas distensivas que condicionaram sua sedimentação – reativação de estruturas arqueanas e paleoproterozóicas que configuram o atual arcabouço do QF.

A reativação das estruturas arqueanas e proterozóicas foi a força motriz da tectônica extensional que a partir do Cretáceo promoveu a geração das bacias terciárias, especulando-se sobre a sua importância na espeleogênese das Gruta do Centenário (Dutra et al, 2002) e Igrejinha (Silva & Souza, 1997), cuja direção do conduto principal é paralela à falha transcorrente do Engenho - com mais de 70 km de extensão - situada no extremo sul do QF. e mesmo na Província Espeleológica do Bambuí (Karmann & Sanches, 1979).

## BIBLIOGRAFIAS

- ALKMIM, F. F. AND MARSHAK, S. **Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero**: Precambrian Research, v. 90, p. 29 – 58, 1998.
- ALMEIDA, F.F.M. System of Continental Rifts Bordering The Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, V.48 (suplemento), p 15-26, São Paulo, 1976.
- AULER, A.S.; PILÓ, L.B. **Introdução às cavernas em minério de ferro e canga**. O carste v.17, n.3, 228p. Belo Horizonte, 2005.
- BELO DE OLIVEIRA, OSVALDO A.; OLIVITO, JOÃO PAULO; RODRIGUES-SILVA, DANIELA. **Enfoque Local e Regional – Quadrilátero Ferrífero**. Espeleo-Tema, SBE – Campinas, SP. Inédito, 2011.
- COSTA, M. L. **Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia**. Revista Brasileira de Geociências. v.21 n.2, p.146-160. São Paulo, 1991.
- COSTA, M. L.; SOUZA, D.J. L.; ANGÉLICA, R. S. **The contribution of lateritization processes to the formation of the kaolin deposits from eastern Amazon**. Journal of South American Earth Sciences 27, p. 219–234, 2009.
- DORR, J.V.N. II. **Supergene Iron Ores of Minas Gerais, Brazil**. Economic Geology, v.59, n.7, 1964.
- DORR, J.V.N. II. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Paper USGS/Geological Survey Professional, Washington, n.611-A, 110p., 1969.
- DUTRA, G. M.; RUBBIOLI, E. L.; Horta, L. S. - 2002. **Gruta do Centenário, Pico do Inficionado (Serra do Caraça), MG**. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T; Winge, M.; Berbet-Born, M. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: SIGEP-UNB, p. 431-441, 2002.
- FERRARI, J.A. **Deriva Continental e Sucessão Paleoclimática: Simulação da Evolução das Paisagens Lateríticas da América do Sul e da África**. Tese (doutorado em geofísica), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – Instituto Astronômico e Geofísico, São Paulo. 111p., 1996.

- GARCIA, M. J.; BERNARDES-DE-OLIVIRA, M. E. C.; DINO, R.; ANTONIOLI, L.; CASADO, F. C.; BISTRICHI, C. A. **Floras paleógenas sul americanas no contexto mundial**. In: Paleontologia: Cenários de vida. V. 1, 1ª edição. Rio de Janeiro. Editora Interciência, p. 690-723, 2007.
- GORCEIX, H. **Bacia Terciária de Água Doce nos arredores de Ouro Preto**. Anais da Escola de Minas, n.3, p.75-92, Ouro Preto, 1884.
- HASUI, Y. **Evolução Morfotectônica do Sudeste do Brasil**. In: SBG/Núcleo Minas Gerais, Congresso Brasileiro de Geologia, 40, *Anais*: 78.1998
- KARMANN, I.; SÁNCHEZ, L. H. **Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil**. Espeleotema, Monte Sião, v. 13, p. 105-167, 1979.
- MAIZATTO, J.R. **Análise bioestratigráfica, paleoecológica e sedimentológica das bacias terciárias do Gandarela e Fonseca - Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais, com base nos aspectos palinológicos e sedimentares**. Tese (doutorado em evolução crustal e recursos naturais), Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, 249p. Ouro Preto, 2001.
- MAURITY, C.W.; KOTSCHOUBEY, B. **Evolução recente da cobertura de alteração no Platô N1 – Serra dos Carajás-PA. Degradação, pseudocristificação, espeleotemas**. Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi. Série Ciências da Terra, n 7, p. 331-362, 1995.
- MAXWELL, C., H. **Geology and ore deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil**. Paper USGS/Geological Survey Professional, Washington, n.341-A, 72p., 1972.
- PILÓ, L. B.; RUBBIOLI, E. **Cavernas do Vale do Rio Peruçu (Januária e Itacarambi), MG - Obra-prima de carste brasileiro**. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.; Queiroz, E.T; Winge, M.; Berbet-Born, M. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília: SIGEP-UNB, p. 453-460, 2002.
- PILÓ, L.B.; AULER, A.S. **Cavernas em minério de ferro e Canga de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, MG**. O carste v.17, n.3, 228p. Belo Horizonte, 2005.
- PINHEIRO, R.V.L.; MAURITY, C.W. **As cavernas em rochas intempéricas da Serra dos Carajás (PA) – Brasil**. Anais do 1º Congresso de Espeleologia da América Latina e do Caribe, Belo Horizonte, PP. 179-186. 1988.
- RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Tese de doutoramento. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 256p., 1989.
- SANT'ANNA, L.G. & SCHORSCHER, J.H.D. **Estratigrafia, ambiente de sedimentação e mineralogia das argilas da bacia de Fonseca, Minas Gerais**. In: SBG. 38 Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*, 3, 253-254. 1994
- SANT'ANNA, L.G.; SCHORSCHER, H.D.; RICCOMINI, C. 1997. **Cenozoic tectonics of the Fonseca Basin region, eastern Quadrilátero Ferrífero, MG, Brazil**. *Journal of South American Earth Sciences*, 10(3-4):275-284
- SHUSTER, D. L.; VASCONCELOS, P.M.; HEIM, J.A.; FARLEY, K.A. **Weathering geochronology by (U-Th)/He dating of goethite**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 69, N. 3, p. 659–673, 2005
- SIMMONS, G. C.; **Origin of certain cangas of the Quadrilátero Ferrífero of Minas Gerais, Brazil**. Sociedade Brasileira de Geologia, v.9, n.2, p37-59, 1960.
- SIMMONS, G.C. **Canga caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. The National Speleological Society Bulletin, v 25, p. 66-72. 1963.

- SIMÕES, P. R. G. **Caracterização física de ambientes cársticos através de sensoriamento remoto e SIG; o caso do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu – Januária/Itacarambi, MG.** Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências da UNICAMP, 2007
- SILVA, C. M. T.; SOUZA, K. **Geoespeleologia da Gruta Igrejinha.** XXIV Congresso Brasileiro de Espeleologia, Ouro Preto, Resumos, 1997.
- SILVA, M. L. M. C.; OLIVEIRA, S. M. B. **As fases portadoras de níquel do minério laterítico de níquel do vermelho, Serra dos Carajás (PA).** Revista Brasileira de Geociências. v.25 n.1, p.69-78. São Paulo, 1995.
- SOUZA FILHO, C. R.; AUGUSTO, V.; OLIVEIRA, W. J.; LAMMOGLIA, T.. **Detecção de exsudações de hidrocarbonetos por geobotânica e sensoriamento remoto multitemporal: estudo de caso no Remanso do Fogo (MG).** Revista Brasileira de Geociências. v.38 n.2 supl. São Paulo, 2008.
- SPIER, C.A. **Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG..** Tese (doutorado em geoquímica e geotectônica), Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 298p. São Paulo, 2005.
- VALENTIM, R.F.; OLIVITO, J.P.R.; et al. **Unidade Espeleológica Carajás: Enfoques Regional e Local.** Espeleo-Tema, SBE – Campinas, SP. Inédito, 2011.
- VARAJÃO, C.A.C. **Estudo comparativo das jazidas de bauxita do Quadrilátero Ferrífero, MG.** Dissertação de Mestrado Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 232 p. São Paulo, 1988.