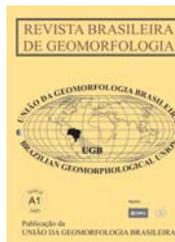




www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 13, nº 3 (2012)



ESTUDO DA GÊNESE DAS CAVIDADES E DEPRESSÕES EM MINÉRIO DE FERRO - QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG: SERRAS DO ROLA MOÇA E DO GANDARELA

STUDY OF THE GENESIS OF CAVITIES AND DEPRESSIONS ON IRON ORE – QUADRILÁTERO FERRÍFERO/MG: ROLA MOÇA'S AND GANDARELA'S RIGDE

Manuela Corrêa Pereira

*Instituto de Geociências/UFMG - Avenida Antônio Carlos, 6.627 Pampulha - CEP: 31270-901 -
e-mail: manuelacp1@gmail.com.*

Yuri Okawara Stávale

*Instituto de Geociências/UFMG - Avenida Antônio Carlos, 6.627 Pampulha - CEP: 31270-901 -
e-mail: ystavale@yahoo.com.br.*

André Augusto Rodrigues Salgado

*Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Geociências/UFMG - Avenida
Antônio Carlos, 6.627 Pampulha - CEP: 31270-901 - e-mail: geosalgado@yahoo.com.br*

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
06/06/2011

Data de Aprovação:
25/05/2012

Palavras-chave:

Feições cársticas, Itabirito,
Canga, Quadrilátero Ferrífero/
MG

Keywords:

Karst features, Itabirite, Iron
Crust, Quadrilátero Ferrífero/
MG

Resumo

Feições cársticas são típicas de áreas moldadas sobre rochas carbonáticas. Entretanto, também podem se desenvolver em outros litotipos, como no itabirito e na formação de canga, por exemplo. Sendo assim, o Quadrilátero Ferrífero/MG torna-se uma área de interesse para estudo destas feições em rochas não carbonáticas. Neste contexto, o presente trabalho investigou duas áreas do Quadrilátero Ferrífero/MG: O Parque Estadual da Serra do Rola Moça, com estudo sobre cavidades naturais, e a Serra do Gandarela, com investigação acerca das depressões. Os procedimentos metodológicos se basearam: (i) revisão bibliográfica; (ii) coleta de dados em campo; (iii) confecção de material cartográfico e topográfico e (iv) análise dos resultados. Os resultados obtidos evidenciaram que as áreas de estudo possuem densidade de feições relevante para uma área cárstica, com um índice de 1,81 cavidades/km² no Parque Estadual da Serra do Rola Moça e 1,01 depressões/Km² na Serra do Gandarela. Foi possível constatar ainda que a maioria destas cavidades e depressões, principalmente as de maiores dimensões, está sobre o itabirito e/ou sobre a canga e parece ter sua gênese associada a processos de dissolução.

Abstract

Karst features are typical of areas molded on carbonate rocks. However, these features can also be located on others rock types as itabirite and iron crust, for example. Thus, the Quadrilátero Ferrífero/MG become an interesting area for the study of features developed on non-carbonate rocks. In this context, it was investigated two Quadrilátero Ferrífero's areas: The State Park of Rola Moça Ridge, which has natural cavities and the Gandarela Ridge, which has depressions. The methodological procedures were based on: (i) literature review; (ii) field data collection; (iii) preparation of cartographic and topography materials and (iv) analysis of results. The results showed that the studied areas have a relevant density of features when compared to traditional karst areas, with an index of 1.81 cav/km² at the State Park of Rola Moça Ridge and 1.01 dep/Km² at Gandarela Ridge. It was possible to observe that many of these cavities and depressions, especially the developed ones, are on itabirite and/or on iron crust and they can have their genesis associated with dissolutions processes.

Introdução

Na atualidade tem sido crescente o número de registros e estudos sobre feições cársticas desenvolvidas em rochas não carbonáticas. Dentre estes estudos destacam-se os realizados em rochas areníticas e quartzíticas, como por exemplo, os de Sallun Filho & Karmann (2007), Reno *et al* (2009), Uagoda & Netto (2009) e Chalcraft & Pye (1984).

Para alguns pesquisadores, como por exemplo, Simmons (1963) e Mcfarlane & Twidale (1987), feições cársticas também podem ser desenvolvidas em formações ferríferas. Isto ocorre em razão de que as cavidades e demais geofomas que existem em formações ferríferas possuem na dissolução um importante fator para a sua gênese. Entretanto, apesar deste fato, poucos foram os estudos que investigaram feições cársticas em formações ferríferas. No Brasil, estudos científicos que remetem à gênese dessas feições iniciaram-se com Simmons (1963). Posteriormente, trabalhos de maior relevância vieram ocorrer apenas no início do século XXI, por iniciativa de autores como Augusto Auler e Luiz Piló (PEREIRA & SOUZA, 2009).

O ressurgimento de estudos sobre feições cársticas em minério de ferro, a partir do século XXI, insere-se num cenário de preservação ambiental frente à exploração mineral cada vez mais acelerada. Entretanto, apesar do aumento do número de estudos e registros espeleológicos em formações ferríferas em todo o Brasil, ainda há uma grande carência de publicações e pesquisas aprofundadas sobre o assunto. Isto é válido inclusive para regiões onde a mineração de ferro é muito ativa, como por exemplo, o Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais.

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar a gênese de geofomas típicas de carste em duas áreas do Quadrilátero Ferrífero que possuem canga, itabirite e dolomito hematítico como substrato. As duas áreas amostrais escolhidas foram: (i) o Parque Estadual da Serra do Rola Moça (PESRM), pelo seu notável conjunto de cavidades naturais e; (ii) um trecho das cristas da Serra do Gandarela que apresenta representativa densidade de depressões.

Área de estudo

O Quadrilátero Ferrífero possui cerca de 7.200 km² e localiza-se na região centro-sul do Estado de Minas Gerais. As duas áreas investigadas neste trabalho – Parque Estadual da Serra do Rola Moça e a parte das cristas da Serra do Gandarela (Figura 1) – situam-se em seu interior e possuem por substrato as cangas ou os itabiritos que constituem as formações ferríferas bandadas (BIFs- banded iron formations- representados pela cor preta na Figura 1) da Formação Cauê - Grupo Itabira - Supergrupo Minas.

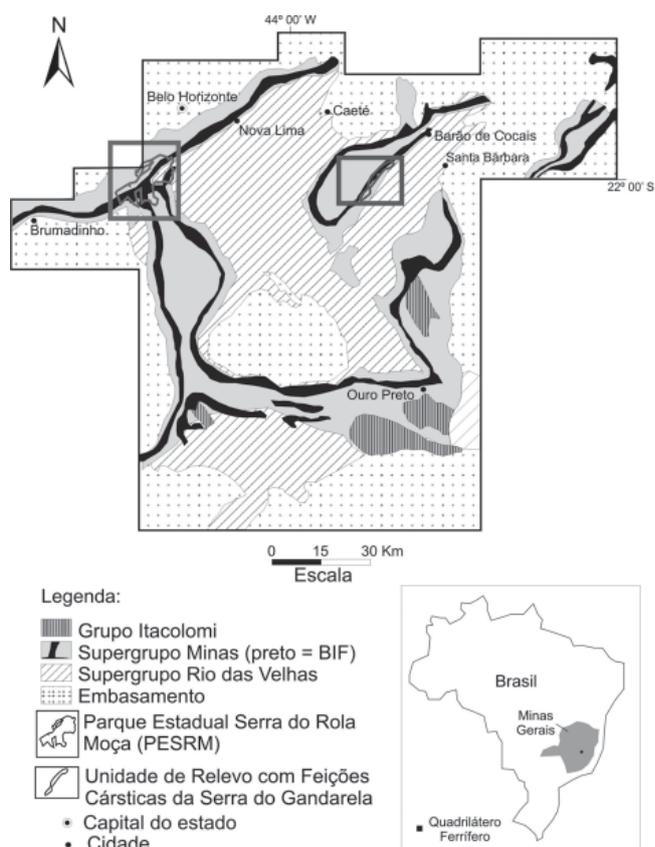


Figura 1 - Localização das Áreas de estudo (Modificado de ALKMIM & MARSHAK, 1998)

Embora complexa, a geologia do Quadrilátero Ferrífero pode ser resumida em (ALKMIM & MARSHAK, 1998) (Figura 1): (i) embasamento cristalino de idade arqueana, composto por granitos, gnaisses e migmatitos; (ii) Supergrupo Rio das Velhas, de idade arqueana, composto basicamente por quartzitos, xistos e filitos que constituem uma sequência tipo *greenstone belt*; (iii) Supergrupo Minas, constituído por rochas metassedimentares (quartzitos, xistos, filitos e formações ferríferas) de idade proterozóica e; (iv) Grupo Itacolomi, constituído basicamente por quartzitos igualmente de idade proterozóica.

Morfologicamente, o Quadrilátero Ferrífero é delimitado por quatro estruturas regionais, representadas topograficamente por terras altas (DORR, 1969). Estas quatro estruturas são: o limite norte do Quadrilátero Ferrífero com direção geral N60°E e recebendo várias denominações locais (e.g. Serra de Itatiaiuçu, do Curral, da Piedade). O limite oeste tem uma crista dupla, de direção geral norte-sul, que corresponde aos dois flancos da megaestrutura geológica denominada “Sinclinal Moeda”. Esta estrutura apresenta continuidade física com outra grande estrutura denominada “Sinclinal Dom Bosco”, que constitui o limite sul do Quadrilátero Ferrífero. Já o limite leste é delimitado, de sul para norte, pela Serra de Antônio Pereira, Serra do Caraça e Serra da Gandarela.

A configuração do relevo é resultado da evolução morfológica de uma estrutura dobrada, onde a intercalação de camadas de diferentes resistências junto à ação do clima e da tectônica, ao longo do tempo geológico, causou a inversão do relevo: anticlinais foram arrasadas e as sinclinais permanecem alçadas na paisagem (SALGADO, 2006). Porém, o fato mais evidente do relevo regional é a erosão diferencial. Neste contexto, quartzitos e itabiritos, por serem as rochas de maior resistência, constituem o substrato das terras altas. Xistos-filitos e granitos-gnaisses, por apresentarem menor resistência frente à erosão e ao intemperismo, constituem o substrato, respectivamente, das terras médias e baixas (SALGADO et al. 2004, 2007a, 2008).

O clima da região é identificado como tropical semi-úmido de altitude, apresentando duas estações bem definidas: inverno seco e verão chuvoso (CAMPOS, 1985). Os solos locais variam de acordo com o substrato e, conseqüentemente, com a altitude. Neossolos litólicos predominam nas áreas mais elevadas – substrato de itabiritos e quartzitos - cambissolos nas terras médias e nas áreas de maior declividade – xistos-filitos - e latossolos no interior das áreas deprimidas moldadas sobre os granito-gnaisses (DORR, 1969; VARAJÃO et al. 2009). A vegetação também acompanha o relevo, predominando os campos rupestres e de altitude nas terras altas e as savanas (Cerrados) e florestas semidecíduais nas terras baixas (BEHLING & LICHTER, 1997; LAMOUNIER et

al. 2010). Entretanto, deve-se ressaltar que praticamente toda a vegetação original já foi alterada pela ação antrópica: seja para possibilitar a exploração mineral, seja para a ocupação agropecuária (BARBOSA, 1967).

Parque Estadual do Rola Moça

O Parque Estadual da Serra do Rola Moça localiza-se na região metropolitana de Belo Horizonte/MG. A unidade de conservação está localizada nos municípios de Belo Horizonte, Nova Lima, Ibirité e Brumadinho e possui uma área de 39,41 Km². Encontra-se na junção de duas das principais estruturas do Quadrilátero Ferrífero (DORR, 1969): o Sinclinal Moeda com o Homoclinal da Serra do Curral (Figura 1).

Na área do parque, quatro são as principais unidades estratigráficas (IEF, 2006): Grupo Nova Lima (Supergrupo Rio das Velhas) e grupos Caraça, Itabira e Piracicaba (Supergrupo Minas). A unidade mais importante para a correlação com a formação de cavidades é o Grupo Itabira, que se apresenta através de duas formações, a Formação Cauê na base e a Formação Gandarela no topo. A Formação Cauê é uma formação ferrífera, composta por itabiritos, que por vezes apresentam lentes de dolomito. Sobreposta a Formação Cauê, a Formação Gandarela tem composição dolomítica. Vale ressaltar que as cangas de ferro recobrem quase toda superfície de topo do Parque do Rola Moça.

A Serra do Gandarela

A Serra do Gandarela está localizada nos municípios de Caeté, Santa Barbara, Barão de Cocais, Rio Acima, Itabirito e Raposos. Por constituir uma serra de grandes dimensões, neste trabalho será estudada apenas a sua porção denominada *Cristas Superiores com Feições Cársticas* (SILVA & SALGADO, 2009) (Figura 1). Esta subunidade do relevo possui 12,98 Km² e situa-se sobre a aba sul da Serra do Gandarela (Figura 1). Tem por substrato, a exemplo do Parque Estadual da Serra do Rola Moça, o Grupo Itabira. Nesta área, a Formação Cauê apresenta itabiritos dolomíticos que geralmente ocorrem associados aos dolomitos da Formação Gandarela. As cangas também são muito recorrentes e sustentam boa parte da superfície somital da área: uma estreita faixa de crista entre duas escarpas pronunciadas.

Procedimentos metodológicos

A execução desta pesquisa pode ser dividida em quatro etapas: (i) revisão bibliográfica; (ii) coleta de dados em campo; (iii) confecção de material cartográfico, topográfico e; (iv) análise dos resultados.

Na primeira etapa foi feito um levantamento bibliográfico sobre carste em minério de ferro, assim como acerca das características ambientais das áreas de estudo. Além disso, foram utilizadas imagens dos satélites SPOT (2002) e IKONOS (2003), para identificação prévia das formas superficiais de interesse.

A etapa de campo compreendeu o mapeamento das cavidades no Parque Estadual da Serra do Rola Moça, bem como a identificação do substrato nas quais estas cavidades se localizavam: itabirito, dolomito e/ou canga. Para melhor estudar as cavidades, foi feita uma classificação de tamanho das mesmas, sendo utilizadas três classes: (i) classe 1, de 0 a 19 metros; (ii) classe 2, de 20 a 49 metros; (iii) classe 3, de 50 a 80 metros. Já nas depressões da Serra do Gandarela, foram mensuradas suas dimensões e, a exemplo do que foi feito no Parque Estadual da Serra do Rola Moça, foi identificada a rocha nas quais elas se localizavam.

O material cartográfico foi confeccionado através da utilização dos softwares ARCGIS e AUTOCAD. Esses foram trabalhados para que se pudesse constatar a frequência das feições quanto à localização na paisagem, morfometria e geologia. Paralelamente, para estabelecer uma comparação entre o resultado da densidade de depressões e cavidades por área desta pesquisa com a de outras pesquisas, foram escolhidos quatro estudos realizados em áreas que possuem litologias diferentes da deste estudo. Para a correlação da densidade de cavernas foram utilizados estudos em unidade calcária da APA CARSTE LAGOA SANTA – Formação Sete Lagoas (DUTRA et al., 1998) e também nos quartzitos da Serra de Ibitipoca – Sequência Carrancas (SILVA, 2004). Para a correlação da densidade das depressões foram utilizados os estudos de SOUZA (2008), que mapeou as feições cársticas em rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas na porção centro-norte do município de Vespasiano, e também o estudo de UAGODA (2006), que mapeou as depressões em quartzito na Bacia do Ribeirão Santana/MG.

Resultados e discussões

Cavidades – Parque Estadual Serra do Rola Moça (PESRM)

Todas as 42 cavidades existentes no Parque Estadual da Serra do Rola Moça (Tabela 1) estão localizadas nas bordas dos platôs de canga. Verifica-se que a maior parte das cavidades (79%) encontram-se na classe 1, possuindo até 19 metros de desenvolvimento. Na classe 2 existem 5 cavernas (11%), com desenvolvimento de até 49 metros e somente 3 na classe 3 (10%) possuindo até 80 metros de desenvolvimento.

Tabela 1 - Dados gerais sobre as cavernas do PESRM.

Caverna	Coordenadas UTM	Altitude (m)	Desenvolvimento da profundidade (m)
RM - 01	7781825 N - 603402 E	1.480	25 m
RM - 02	7781505 N - 603711 E	1.490	17 m
RM - 03	7783362 N - 603930 E	1.320	33 m
RM - 04	7783272 N - 604263 E	1.335	35 m
RM - 05	7781660 N - 601094 E	1.387	7 m
RM - 06	7781738 N - 601469 E	1.370	8 m
RM - 07	7781736 N - 601476 E	1.370	10 m
RM - 08	7781688 N - 601565 E	1.370	17 m
RM - 09	7781716 N - 601884 E	1.370	16 m
RM - 10	7781711 N - 601903 E	1.363	8 m
RM - 11	7781464 N - 601311 E	1.390	7 m
RM - 12	7781459 N - 601360 E	1.390	15 m
RM - 13	7781482 N - 601504 E	1.442	10 m
RM - 14	7781540 N - 602233 E	1.383	6 m
RM - 15	7781532 N - 602234 E	1.384	8 m
RM - 16	7781822 N - 602941 E	1.406	12 m
RM - 17	7781835 N - 603160 E	1.409	15 m
RM - 18	7781896 N - 603219 E	1.431	9 m
RM - 19	7781920 N - 603296 E	1.422	8 m
RM - 20	7781908 N - 603370 E	1.427	11 m
RM - 21	7781998 N - 603871 E	1.443	9 m
RM - 22	7781655 N - 601649 E	1.390	9 m
RM - 23	7780355 N - 605174 E	1.392	7 m
RM - 24	7780535 N - 605325 E	1.419	6 m
RM - 25	7783299 N - 604278 E	1.334	6 m
RM - 26	7784474 N - 605380 E	1.319	7 m
RM - 27	7784485 N - 605385 E	1.319	6 m
RM - 28	7784459 N - 605349 E	1.376	9 m
RM - 29	7784504 N - 605312 E	1.376	9 m
RM - 30	7784526 N - 605342 E	1.379	10 m
RM - 31	7784228 N - 605260 E	1.327	12 m
RM - 32	7784242 N - 605260 E	1.344	14 m
RM - 33	7784344 N - 605163E	1.385	80 m
RM - 34	7783391 N - 604238 E	1.378	16 m
RM - 35	7781298 N - 604725 E	1.238	20 m
RM - 36	7781253 N - 604855 E	1.378	15 m
RM - 37	7787058 N - 607258 E	1.365	6 m
RM - 38	7786713 N - 606854 E	1.357	50 m
RM - 39	7786491 N - 606981 E	1.310	70 m
RM - 40	7786363 N - 606940 E	1.266	20 m
RM - 41	7787258 N - 607295 E	1.387	6 m
RM - 42	7787258 N - 607295 E	1.387	22 m

A partir do mapa geológico da área pode-se constatar que 71% destas cavidades estão situadas sobre o contato da canga com o itabirito, da formação Cauê e 29% está no contato com a Formação Gandarela (Figura 2). Quanto à geologia das cavernas mais desenvolvidas (classe 3), houve a predominância das cavidades situadas na formação Cauê em contato com a canga. Além disso, esta formação abriga as cavidades mais desenvolvidas - RM-33 e RM-39 (Figura 2 e Tabela 1).

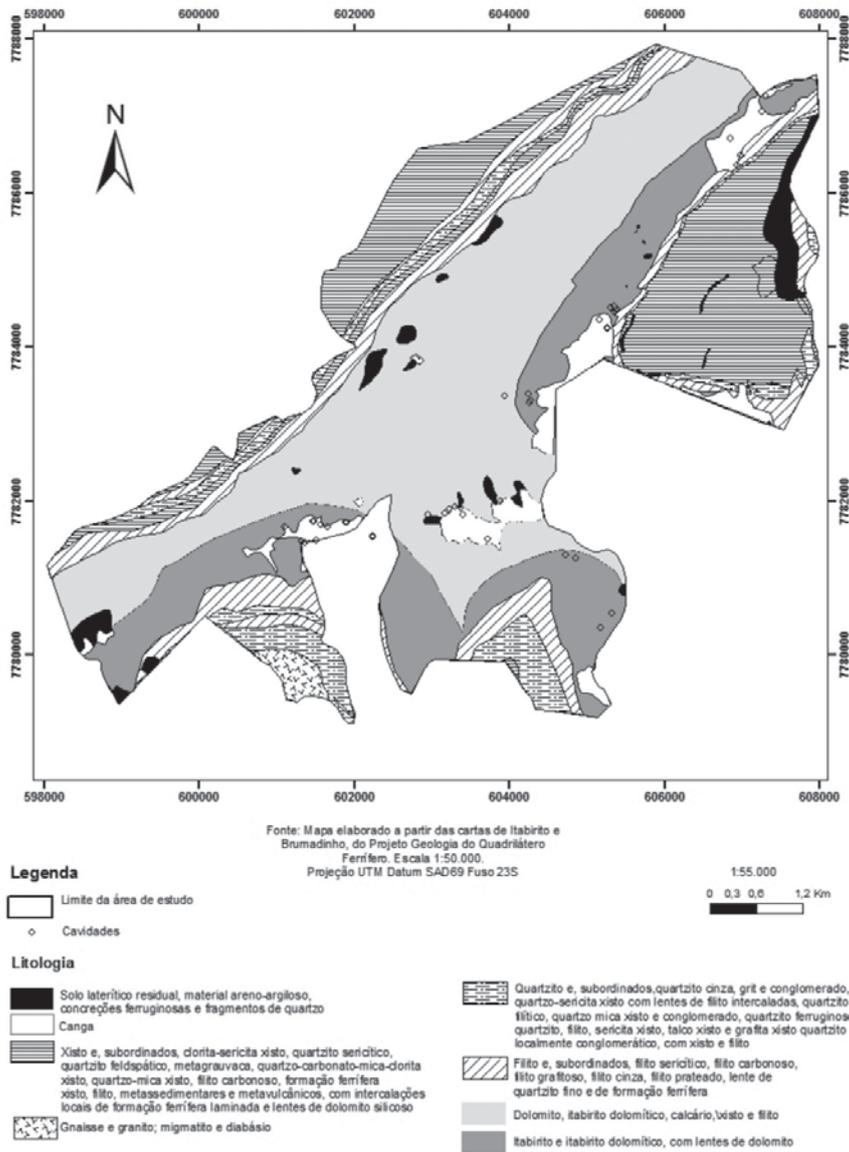


Figura 2 - Geologia e localização das cavidades no Parque Estadual do Rola Moça.

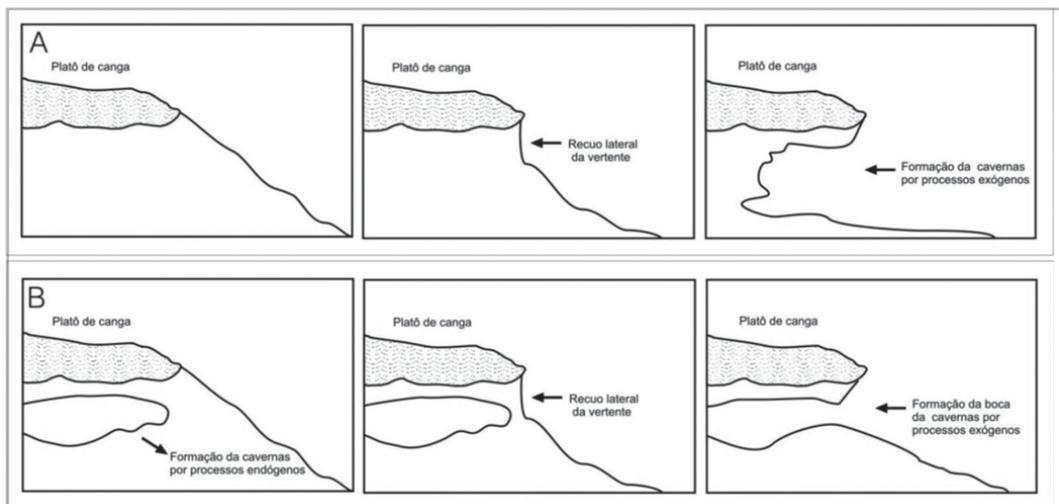


Figura 3 - Modelos de formação das cavidades: a) gênese associada a processos exógenos; b) gênese associada a processos endógenos.

Para compreender a formação das cavidades em minério de ferro é preciso entender o processo da formação das rupturas¹, das quebras das bordas dos platôs. Estudos realizados no Quadrilátero Ferrífero já comprovaram que as terras altas desta região – substrato de cangas, itabiritos e quartzitos – evoluem graças ao recuo lateral das vertentes (SALGADO et al. 2007b). Neste contexto, os platôs constituídos de canga constituem o material mais resistente, em detrimento das rochas que sustentam a estrutura do platô. Deste modo, acontece o recuo lateral da vertente (*backwearing*), graças à erosão dos litotipos mais frágeis localizados em sua base. Este recuo, na borda do platô, erode com mais eficiência o material inferior à canga, caracterizando a ruptura do relevo (Figura 3-a). Deste modo ocorre a formação de pequenas cavidades que, de modo geral, tem seu teto sustentado pela capa de canga, mas possuem sua base nos litotipos mais frágeis que constituem as porções inferiores da vertente. Estas cavidades são formadas pelos processos exógenos, ou seja, por agentes externos.

¹ Entende-se como ruptura a escarpa gerada pela mudança de substrato.

Outro modelo de formação de cavernas é aquele que admite a formação de vazios internos nos maciços rochosos, ou zonas de alta porosidade, como já foi comprovado no trabalho de RIBEIRO (2003). Esta seria a primeira etapa de formação das cavernas maiores, onde ocorre uma predominância dos chamados processos endógenos que se baseiam na dissolução química. Depois de formados estes vazios, pode ocorrer o recuo lateral da vertente. Quando este recuo alcança a borda do platô, as cavidades internas são exumadas e formase a entrada da caverna (Figura 3-b). Estes dois processos, o exógeno e o endógeno, podem ocorrer associadamente, contribuindo para o processo de formação da caverna.

Ao se analisar as cavidades no contexto da paisagem constata-se que 14 cavidades localizam-se em áreas com topografia e/ou rupturas suaves (Figura 4-a). Das 28 cavidades restantes, todas estão em rupturas do relevo, sendo que sete delas estão em rupturas escarpadas (Figura 4-b) e 21 em rupturas marcantes e com continuidade lateral acima de 20 metros. (Figura 4-c).

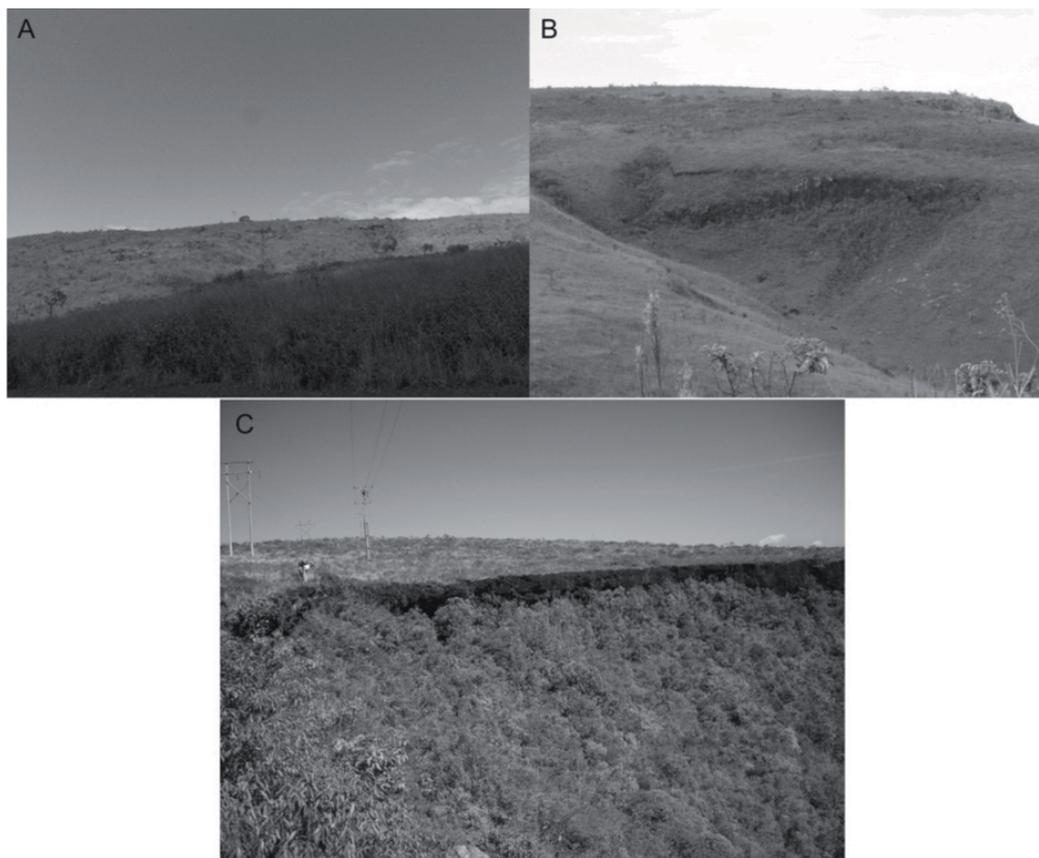


Figura 4 - Tipos de rupturas do relevo no Parque Estadual do Rola Moça: (A) ruptura suave; (B) ruptura escarpada; (C) ruptura marcante.

As características das rupturas estão relacionadas com as características das cavidades. O que foi verificado em campo é que nas rupturas maiores e mais escarpadas ocorrem as menores cavidades, enquanto que nas rupturas menores e mais suaves encontram-se as maiores cavernas. Nesse contexto, é possível perceber que as cavidades de maior dimensão possuem na dissolução um fator importante para sua gênese, visto que se localizam em vertentes de ruptura suave, onde o recuo lateral da vertente não é pronunciado.

A densidade de cavernas encontradas na área, considerando a Formação Gandarela e Formação Cauê (23,1 Km²), foi de 1,81/ Km². Comparando este dado com informações obtidas nos outros estudos (tabela 2), constata-se que a área do Parque Estadual da Serra do Rola Moça possui a densidade de cavidades próxima a das áreas representativas de outras litologias.

Tabela 2 - Comparação entre a densidade de cavernas em diferentes áreas cársticas.

Autor	Local	Geologia	Densidade (nº de cavernas por km ²)
IBAMA (1998)	APA Carste Lagoa Santa/MG	Calcário - Formação Sete Lagoas (Mb Lagoa Santa e Pedro Leopoldo)	1,92 cav/km ²
SILVA (2004)	Serra do Ibitipoca/MG	Quartzito – Sequência Carrancas	1,23 cav/km ²
STÁVALE (2007)	Parque Estadual Serra do Rola Moça	Dolomito, Itabirito e Canga – Grupo Itabira, Formação Gandarela e Cauê	1,81 cav/km ²

Depressões – Cristas da Serra do Gandarela

Na área de estudo (12,98 Km²) foram identificadas 13 depressões (1,01/Km²). Desta forma, constata-se que a unidade de relevo em estudo possui uma densidade de depressões pertinente ao padrão de representatividade² destas feições em áreas cársticas (Tabela 3). De uma maneira geral, os substratos rochosos das depressões mapeadas diferem-se no sentido NE-SO, sendo que na porção sudoeste predominam depressões sobre formações de canga (Figura 5).

Tabela 3 - Comparação entre a densidade de depressões em diferentes áreas cársticas.

Autor	Local	Geologia	Densidade (nº de depressões por Km ²)
SOUZA (2008)	Porção centro-norte de Vespasiano/MG	Formação Sete Lagoas (calcário)	0,76/Km ²
PEREIRA (2009)	Área Cárstica da Serra do Gandarela/MG	Grupo Itabira (dolomito, itabirito e formação de canga)	1,01/Km ²
UAGODA (2006)	Bacia do Ribeirão Santana/MG	Grupo Andrelândia (quartzito)	2,05/Km ²

² A densidade de depressões da unidade *Cristas da Serra do Gandarela* possui um padrão de representatividade pertinente, à medida que o valor de sua densidade se aproxima dos valores de densidade das demais áreas analisadas na Tabela 3.

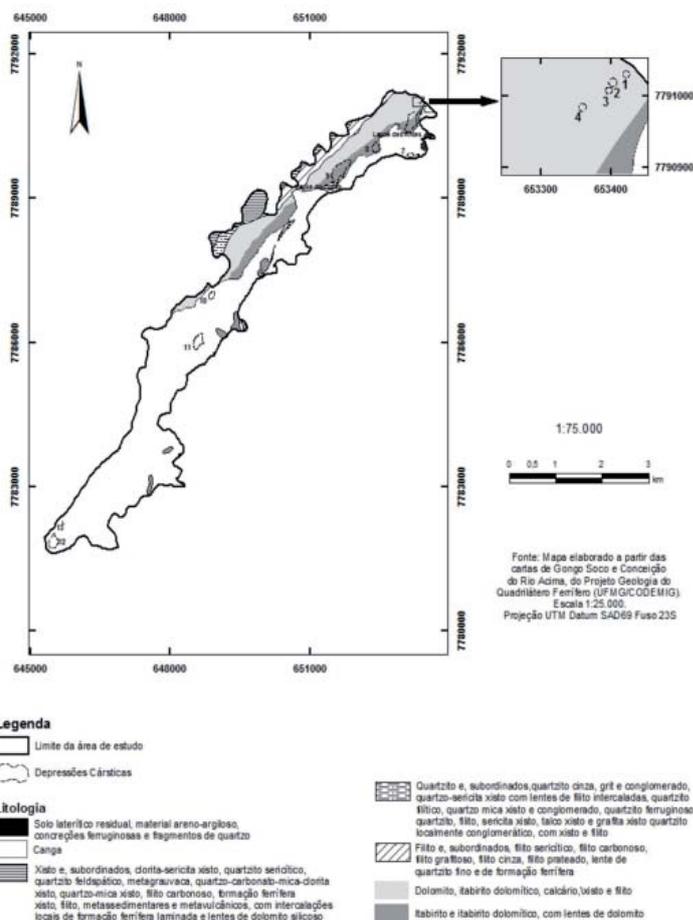


Figura 5 - Mapa litológico e depressões presentes nas cristas superiores com feições cársticas na Serra do Gandarela.

Conforme a classificação de dolinas proposta por JENNINGS (1985), as quatro primeiras depressões mapeadas (depressões 1 a 4 da Figura 5) podem ser denominadas dolinas de dissolução. Desse modo, em termos morfogenéticos, a formação dessas depressões estaria relacionada à dissolução em pontos mais suscetíveis da rocha (fraturas, juntas, planos de acamamento), formando depressões morfometricamente pequenas (Tabela 4). Apesar de pouco desenvolvidas, elas estão totalmente situadas em rocha carbonática – dolomito.

Quanto à morfogênese das demais depressões situadas sobre o itabirito em contato com a canga, esta também pode ter sido originada através da dissolução de pontos mais suscetíveis da rocha, já que o itabirito da Formação Cauê também apresenta um caráter dolomítico (SPIER, 2005). Entretanto, as depressões mais desenvolvidas estão, inteiramente, sobre a canga (Figuras 5 e 6) (Tabela 4). Neste contexto e considerando-se que a canga quando formada não é propícia a gerar dolinas e uvalas, apenas duas hipóteses podem explicar a existência destas depressões. A primeira explicação para a gênese destas depressões parece estar

relacionada à dissolução e ao intemperismo do dolomito da Formação Gandarela e do itabirito dolomítico da Formação Cauê. Neste contexto, concomitantemente a esta dissolução e a este intemperismo, graças à abundância de ferro no sistema, ocorreu a formação das cangas que, atualmente, pela sua imensa resistência frente aos processos erosivos e denudacionais, preservam as depressões no topo das cristas da Serra do Gandarela. A segunda possibilidade estaria relacionada a dissolução de dolomitos ou de itabiritos dolomíticos situados abaixo da canga. Neste caso, a canga cederia em superfície graças a perda de sustentação em sua base.

Tabela 4 - Medidas morfométricas das depressões mapeadas.

Depressões Cársticas	Profundidade (m)	Largura (m)	Coordenada UTM (X/Y)
Depressão (1)	1,90	9,5	653436/7791122
Depressão (2)	1,10	12	653390/7791017
Depressão (3)	1,35	9,5	653389/7791004
Depressão (4)	0,78	10,1	653348/7790985
Depressão (5) (Lagoa das Antas)	6,4**	183*	653279/7790837
Depressão (6)	1,7	79*	653452/7790867
Depressão (7)	0,5	8	N. R.
Depressão (8)	N. R.	103*	N. R.
Depressão (9) (Lagoa do Couto)	0,90	192*	651858/7789782
Depressão (10)	0,30	90*	648919/7789933
Depressão (11)	2**	123*	648468/7789282
Depressão (12)	1	180*	645570/7781791
Depressão (13)	0,10	8	646509/7783455

*medição através do software ARCGIS

**relatada por moradores da região

N. R. = Não registrado

Fonte: Trabalho de campo realizado em setembro de 2009



Figura 6 - Lagoa das Antas, uma das depressões de maiores dimensões da Serra do Gandarela.

Considerações Finais

No presente trabalho foi possível constatar que formas como cavidades e depressões são muito recorrentes nas áreas de canga e itabirito do Quadrilátero Ferrífero. Foi possível constatar ainda que muitas destas cavidades e depressões, principalmente as de maiores dimensões, parecem ter sua gênese associada à dissolução.

Neste contexto, o presente trabalho evidenciou o elevado potencial de rochas ferríferas em desenvolver feições típicas de paisagens cársticas. Logo se julga importante conhecer, mapear, registrar e divulgar tais feições para que este patrimônio espeleológico seja devidamente preservado.

Agradecimentos

Agradecemos às geógrafas Thaisa Santos Faria, Tatiana Aparecida Rodrigues Souza, Juliana Rodrigues da Silva e Marina Ribeiro Leão, assim como ao apoio financeiro da Pró Reitoria de Graduação da UFMG e da FAPEMIG através do projeto APQ-00507-08.

Referências bibliográficas

ALKIMIM, F.F.; MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in the São Francisco cráton, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, v. 90, p. 29–58, 1998

BARBOSA, G. V.; Rodrigues, D. M. S. *Quadrilátero Ferrífero*. Belo Horizonte: UFMG, 1967. 130p.

BEHLING, H.; LICHTER, M. Evidence of dry and cold climatic conditions at glacial times in tropical Southeastern Brazil. *Quaternary Research*, v. 48, p. 348-358, 1997.

CAMPOS, A. E. F. *Contribuição à geologia da Porção Sul do Sinclinal Gandarela, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. 1985. Monografia (Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1985.

CHALCRAFT, D.; PYE, K. Humid tropical weathering of quartzite in Southeastern Venezuela. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 28, n. 3, p. 321-332, 1984.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM and UNITED STATES DEPARTEMENT OF THE INTERIOR GEOLOGICAL SURVEY. 1968. Mapa Geológico da Quadricula Gongo Sôco, Minas Gerais, Brasil. Washington: Interior Geological Survey (Escala 1:25000).

DORR, J.V. Desenvolvimento fisiográfico, estratigráfico e estrutural do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. Washington: Interior Geological Survey. 1969.

DUTRA, G.M.; HORTA, L.S.; BERBERT-BORN, M.L.C. Levantamento espeleológico. In: PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGICO, HISTÓRICO E CULTURAL: APA CARSTE DE LAGOA SANTA. Volume III. Belo Horizonte. 1998.

IEF – Instituto Estadual de Florestas (2006) – Plano de manejo do Parque Estadual da Serra do Rola Moça – Encarte 2: Análise da região da unidade de conservação – Belo Horizonte. 2006.

JENNINGS, J. N. *Karst Geomorphology*. Oxford: Basil Blackwell, 1985. 304p.

- LAMOUNIER, W.L.; CARVALHO, V.L.M.; SALGADO, A.A.R.; MARENT, B.R. A influência da litologia na distribuição da cobertura vegetal e no uso do solo na Serra do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero/MG. *Geografias*, v. 6, n. 1, p. 152-165, 2010.
- MCFARLANE, M. J.; TWIDALE, C. R. Karstic features associated with tropical weathering profiles. *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl. Bd*, v. 64, p. 73-95, 1987.
- PEREIRA, M. C; SOUZA, T. A. R. A ocorrência de cavernas em minério de ferro e canga: a evolução dos estudos geoespeleológicos no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. In: ANAIS DO XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2009, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- RENÓ, R.; DUQUE, T. R. F.; LUCON, T. N.; LEVY, M. O. P.; SIMÕES, P. R. (2009). Considerações sobre o carste em quartzito do Parque Estadual do Itacolomi, Mariana/Ouro Preto – MG. 2009. In: ANAIS DO XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA. Montes Claros - MG. 2009. p.193-196.
- RIBEIRO, D. T. *Enriquecimento supergênico de formações ferríferas bandadas: estruturas de colapso e desordem*. 2003. Tese (Tese de Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2003.
- SALGADO, A. A. R. *Estudo da evolução do relevo do Quadrilátero Ferrífero, MG - Brasil, através da quantificação dos processos erosivos e denudacionais*. 2006. Tese em cotutela (Tese de Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais/Geociências) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto/Université d'Aix-Marseille III. 2006.
- SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; BRAUCHER, R.; NALINI JUNIOR, H. A.; VARAJÃO, A. F. D. O papel da denudação geoquímica no processo de erosão diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 5, n. 1, p. 55-69, 2004.
- SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, C. A. C.; VARAJÃO, A. F. D.; NALINI JUNIOR, H. A.; COLIN, F.; BRAUCHER, R. Study of the erosive and denudational processes in the upper Córrego Maracujá Basin (Quadrilátero Ferrífero/MG - Brazil) by the in situ-produced cosmogenic ¹⁰Be method. *Earth Surface Processes and Landforms*. v. 32, p. 905-91, 2007a.
- SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, A. F. D.; NALINI JUNIOR, H. A.; CHEREM, L. F.; MARENT, B. R.; BRINDUSA, C. B. Estimativa das taxas de erosão das terras altas da alta bacia do Rio das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: implicações para a evolução do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 8, n. 2, p. 1-8, 2007b.
- SALGADO, A. A. R.; BRAUCHER, R.; VARAJÃO, C. A. C.; COLIN, F.; VARAJÃO, A. F. D.; NALINI JUNIOR, H. A. Relief evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brazil) by means of (¹⁰Be) cosmogenic nuclei. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 52, p. 317-323, 2008
- SALLUN FILHO, W. S.; KARMANN, I. Dolinas em arenito da bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 3, p. 551-564, 2007.
- SILVA, S.M. *Carstificação em rochas siliclásticas: Estudo de caso na Serra do Ibitipoca, Minas Gerais*. 2004. Dissertação (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 2004.
- SILVA, J. R.; SALGADO, A. A. R. Mapeamento das unidades de relevo da Serra do Gandarela -Quadrilátero Ferrífero-/MG. *Geografias*, v. 5, p. 107-125, 2009.
- SIMMONS, G. C. Canga Caves in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *The National Speleological Society Bulletin*, v. 25, p. 66-72, 1963.
- SOUZA, T. A. *A Geomorfologia Cárstica aplicada ao planejamento territorial: Um estudo de caso em Vespasiano – Minas Gerais*. 2008. Monografia (Monografia em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 2008.
- SPIER, C. A. *Geoquímica e gênese das formações ferríferas bandadas e do minério de ferro da mina de Águas Claras, Quadrilátero Ferrífero, MG*. 298 f. Tese (Tese de Doutorado em Geologia) - Instituto de Geologia, Universidade de São Paulo. 2005.
- UAGODA, A. S. A.; NETTO, A. L. C. Depressões Fechadas em Relevo Cárstico-Quartzítico, Bacia do Ribeirão Santana, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. *Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*. v. 29, p. 87-100, 2006.
- UAGODA, R.; NETTO, A. L. C.; AVELAR, A. S. Morfologia de depressões fechadas em domínio cárstico-quartzítico na bacia do ribeirão Santana/MG: datações absolutas iniciais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 10, n. 2, p. 91-98, 2009.
- VARAJÃO, C. A. C.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D.; BRAUCHER, R.; COLIN, F.; NALINI JUNIOR, H. A. Estudo da Evolução da Paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil:) Através da Mensuração das Taxas de Erosão (¹⁰Be) e da Pedogênese. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (Online), v. 33, p. 1409-1425. 2009.