

Artigo de Pesquisa

Suscetibilidade ao colapso de dolinas cársticas em rochas siliciclásticas no município de Chapada do Guimarães (MT, Brasil)

Susceptibility to the collapse of karst dolines in siliciclastic rocks in the municipality of Chapada dos Guimarães (State of Mato Grosso, Brazil)

Caiubi Emanuel Souza Kuhn ¹, Renan Rodrigues Pires ², Fábio Augusto Gomes Vieira Reis ³ e Claudia Vanessa dos Santos Corrêa ⁴

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Rio Claro, Brasil; Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia, Várzea Grande, Brasil. E-mail: cauibigeologia@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1434-9433>

² Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil. E-mail: renan.0h7@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6886-2078>

³ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, Brasil. E-mail: fabio.reis@unesp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3918-6861>

⁴ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Pós-doutorado em Geociências e Meio Ambiente, Rio Claro, Brasil. E-mail: claudia.correa@unesp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2524-8443>

Recebido: 04/04/2020; Aceito: 18/12/2020; Publicado: 10/04/2021

Resumo: Este trabalho visa descrever um sistema cárstico em rochas siliciclásticas da Formação Ponta Grossa, no perímetro urbano do município de Chapada dos Guimarães, além de realizar uma análise da suscetibilidade ao colapso na área de estudo. Foi utilizado como método de estudo o processamento de imagens de satélites disponível no Google Earth Pro® no ArcGIS® e descrição e mapeamento das feições em campo. Foram identificados condutos, ressurgências de água e dolinas, sendo que duas delas ocorreram próximas a residências e duas em uma área sem ocupação, com vegetação nativa. As dolinas 1, 2 e 4 possivelmente estão interligadas por dois condutos, que somados possuem a extensão próxima de 400m, sendo que as duas primeiras estão situadas no perímetro de ocupação urbana. Próximo à dolina 1, é possível observar em residências rachaduras formadas pela rotação em bloco do cômodo devido ao recalque causado pela cavidade. As dolinas 1 e 2 colapsaram nos últimos 5 anos e foram preenchidas por aterro pela prefeitura municipal. As dolinas 3 e 4 e as duas ressurgências de água estão situadas em área sem ocupação residencial, e que ainda possui vegetação preservada. O conjunto de processos relacionados ao desenvolvimento das feições foi debatido ao longo do trabalho e relacionado com as ações e medidas previstas na política de Proteção e Defesa Civil. Os resultados sugerem uma relação entre o desenvolvimento do sistema cárstico e a formação do latossolo e demonstram a necessidade de realizar mais estudos para compreender essa evolução. O trabalho propõe um mapa de suscetibilidade ao colapso, considerando a densidade de feições cársticas e o possível trajeto dos condutos que as interligam. Ainda, o ordenamento territorial da área deve considerar a fragilidade do sistema cárstico e suscetibilidade a colapsos.

Palavras-chave: Desastres Naturais; Cárstico; Área de risco.

Abstract: This work aims to describe a karstic system in siliciclastic rocks of Ponta Grossa Formation, in the urban perimeter of the municipality of Chapada dos Guimarães (State of Mato Grosso, Brazil), in addition to conducting an analysis of the susceptibility to collapse in the study area. It was used as a study method the processing of satellite images available in Google Earth Pro® in ArcGIS® and description and mapping of features in the field. Two conduits were identified, two water resurgences and four dolines, two of which occurred close to residences and two in an area without occupation, with native vegetation. Dolinas 1, 2 and 4 are possibly interconnected by two conduits, which together have a length of just over 400m, the first two of which are in the perimeter of urban occupation. Next to the dolina 1, it is possible to observe in homes cracks formed by the block rotation of the room due to the repression caused by the cavity. Dolina 1 and 2 collapsed in the last 5 years and were filled by landfill by the city hall. Dolinas 4 and 3 and the two water resurgences are in an area without residential occupation, which still has preserved vegetation. The set of processes related to the development of the features was discussed throughout the work and related to the actions and measures provided for in the civil Protection and Defense Policy. The results suggest a relationship between the development of the karst system and the formation of an oxisol and demonstrate the need for further studies to understand this evolution. The work proposes a map of susceptibility to collapse, considering the density of karst features and the possible path of the ducts that interconnect them. In addition, the territorial ordering of the area must consider the fragility of the karst system and susceptibility to collapse.

Keywords: Natural disasters; Karstic system; Risk area.

1. Introdução

No final do ano de 2018 a abertura de uma cavidade em um terreno na Chapada dos Guimarães despertou a atenção da população local e da imprensa. Análises iniciais indicavam a formação de dolinas e outras feições cársticas, desenvolvidas em Latossolo da Formação Ponta Grossa. O evento ocorreu no bairro de São Sebastião a partir de uma ocupação irregular ocorrida no final da década de 80. Devido a este fato, antes da implementação do bairro não foram realizados estudos geológicos ou geotécnicos, conforme orientações previstas na Lei nº 6.766/1979 (BRASIL, 1979), que dispõe sobre as diretrizes relacionadas ao parcelamento do solo urbano.

Dolinas são feições do relevo cárstico com forma similar a um funil e um sistema de drenagens subterrâneas, desenvolvidas em rochas calcárias ou areníticas, com diâmetro que pode chegar a dezenas de metros, e profundidades que podem chegar a mais de 100m (SUGUIO, 1998; SALLUN-FILHO; KARMANN, 2007; BOUZERDA; MEHDI; FADILI, 2020). Jennings (1985) classificou as dolinas em cinco categorias, de acordo com seu processo de formação: a) dolina de colapso; b) dissolução; c) aluviais; d) de colapso resultante de rochas subjacentes ao carste; e e) de subsidência.

No processo de desenvolvimento do relevo cárstico Chaves (2017) destaca a ocorrência de formação de cavidades naturais. O autor salienta que o termo cavidade natural pode ser aplicado para todas as cavidades, independentemente do seu comprimento, desnível e litologias. Desta forma, podem ser consideradas cavidades naturais furnas, abrigos ou lapas, cavernas ou grutas, dolinas, entre outros. Chaves (op.cit.), ainda considera grutas e cavernas como sinônimos, sendo que podem ser desenvolvidas ora em rochas calcárias, ora em rochas areníticas. Pinheiro, Maurity e Pereira (2015) relacionam a presença de cavernas a interação de fatores geológicos, geomorfológicos, hidrodinâmicos e climáticos, tais como: (1) fraturamento da rocha; (2) variações isostáticas do relevo; (3) oscilações do nível freático; (4) corrosão das rochas por águas meteóricas; (5) erosão por fluxo em fraturas (piping); e (6) erosão tardia em condições vadasas.

O carste deve ser entendido como um processo e não ser reduzido apenas a formas geomorfológicas ou litológicas, que pode ocorrer inclusive em terrenos areníticos, quartzíticos entre outros, desde que ocorra o processo de carstificação (SPOLADORE, 2006; VERESS, 2020). De acordo com Fabri, Augustin e Auler (2014), o termo carste é utilizado para designar regiões da superfície terrestre, onde a circulação hídrica, em superfície e subsuperfície, desenvolve uma morfologia e hidrologia específica, relacionado com fatores de origem geológico-estrutural como fraturas, juntas e planos estratigráficos, que favorecem a dissolução e desagregação de grãos.

Para Fabri e Augustin (2013), Freire et al. (2019) e Fernandes-Ferreira e Uagoda (2020), nos últimos anos ocorreu um aumento das pesquisas no Brasil e no mundo referente a relevos cársticos em rochas não-carbonáticas. Arenitos e metarenitos, abundantes no território brasileiro devido ao clima tropical com abundância de chuva e vegetação, somados à presença de matéria orgânica, óxidos de ferro, sais e longo tempo de exposição às intempéries, contribuem para acelerar o processo de intemperismo químico do quartzo, produzindo uma ampla

variedade de formas cársticas em arenitos (HARDT, 2011; PONTES et al., 2020). Em rochas siliciclásticas, podem ser descritos espeleotemas como arborescente (coral), em forma de cogumelo, estalactítico, estalagmítico, colunar com crescimento horizontal ou ascendente, e fibroso (PONTES et al., 2020).

Hardt (2011) afirma que os sistemas cársticos se desenvolvem de acordo com o modo de entrada da água no sistema com a remoção do material, que pode ser por erosão, dissolução ou por meio de condutos. Para Fabri e Augustin (2013), em litologias não carbonáticas ocorre o predomínio de processos de remoção mecânica por piping, embora nas fases iniciais a dissolução desempenhe um papel fundamental na iniciação do processo. A formação de dutos (pipes) ou túneis ocorre devido ao carreamento de pequenos grãos do solo, partículas de argila e outros coloides, ou através da remoção dos componentes do solo por solução, por meio do processo de piping. Durante esse processo, são desenvolvidas rotas preferenciais de escoamento subsuperficial, que podem formar uma rede para transportar materiais sólidos e componentes dissolvidos, devido à ação de processos físicos e químicos (AUGUSTIN; ARANHA, 2006). A dissolução de rochas químicas como calcários são comuns na natureza, e mesmo a sílica tendo uma baixa solubilidade em condições normais, fatores ambientais como mudanças do pH, presença de óxidos de ferro, ácidos orgânicos, sais e a ação de micro-organismos, podem alterar a solubilidade, permitindo a dissolução em rochas silicosas (HARDT, 2011; PONTES et al., 2020).

Assim, este trabalho tem como objetivo principal descrever o sistema cárstico existente em rochas siliciclásticas da Formação Ponta Grossa, no bairro São Sebastião, no município de Chapada dos Guimarães, além de identificar a área com maior suscetibilidade ao colapso. O caso em estudo é pouco comum, uma vez que a formação de carste se dá normalmente em rochas de origem química, e mesmo nestas situações, não existem muitos registros de desenvolvimento de dolinas em áreas urbanizadas.

2. Área de Estudo

A área de estudo está situada no município de Chapada dos Guimarães, localizado a 69km de Cuiabá, capital do Estado de Mato Grosso. O tipo climático é o tropical de savana, marcado pela sazonalidade, com inverno seco e verão úmido (ALVARES et al., 2013). A temperatura média varia entre 21,5 e 22,5° C, e a pluviosidade total é de 1800 a 2100mm (MATO GROSSO, 2001).

As rochas que afloram na região do bairro São Sebastião pertencem à Formação Ponta Grossa, compostas por folhelho e folhelhos silticos e siltitos bege a cinza e arenitos finos a muito finos (Figura 1). Um espesso manto de alteração pedogenético se desenvolveu recobrando as unidades geológicas, sob a forma de um Latossolo vermelho argilo-arenoso que ultrapassa 6m de espessura.

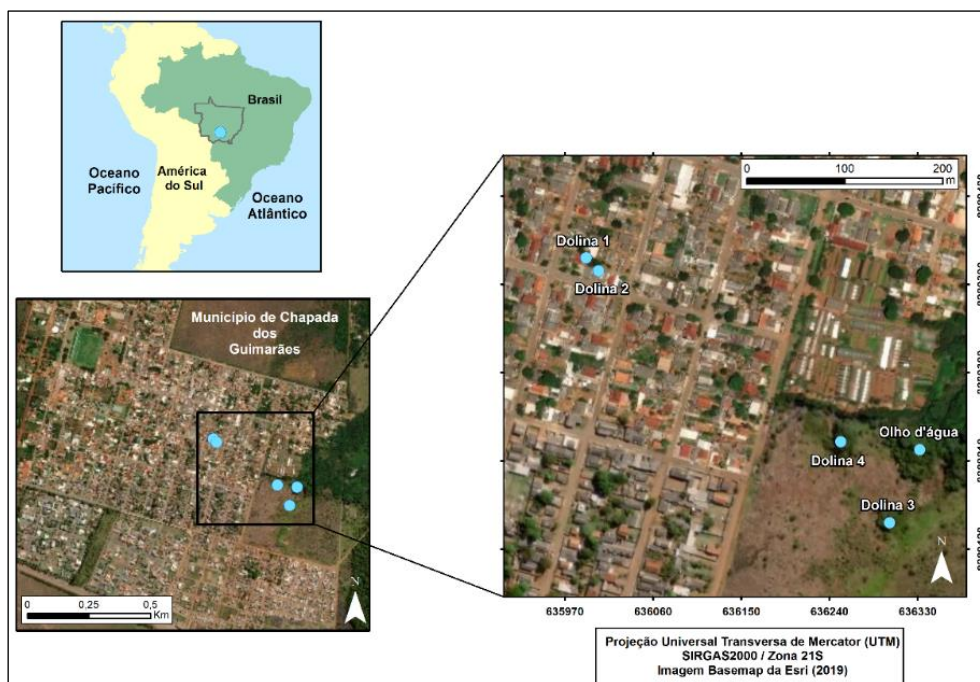


Figura 1. Localização da área de estudo. As cavidades em questão situam-se entre as coordenadas UTM zona 21S (E) 635914m / (S) 8289514m e (E) 636376m / (S) 8289075m.

Segundo Salomão, Elder e Migliorini (2012), os solos da região compreendem Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos, de texturas argilosas, e Plintossolos Pétricos. Nos Latossolos é possível encontrar uma couraça ferruginosa a profundidades superiores a 2m (Figura 2). A topografia é ligeiramente aplainada, em rampa, cuja declividade máxima é de 6%, o que possibilitou o processo de ocupação urbana.

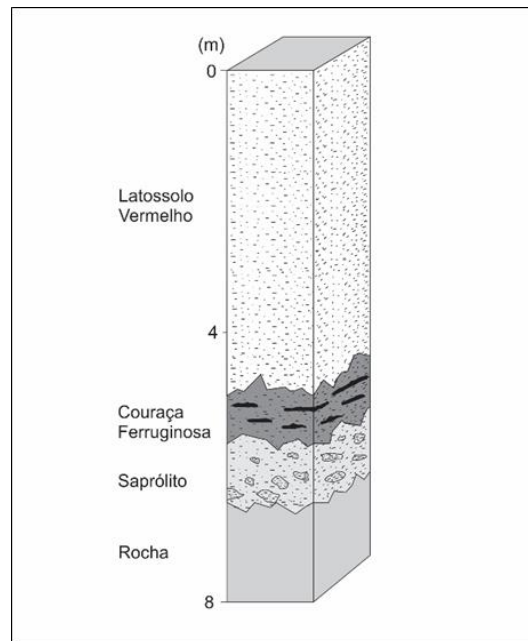


Figura 2. Perfil esquemático de solo da área de estudo elaborado pelo autor com base nas observações realizadas em campo e considerando as descrições de Salomão, Elder e Migliorini (2012).

2. Materiais e Métodos

Esta pesquisa se iniciou após o contato de representantes da prefeitura municipal de Chapada dos Guimarães, que informaram sobre o surgimento de uma cavidade próxima a uma residência no bairro de São Sebastião e solicitaram uma análise preliminar da situação relatada pela Defesa Civil municipal. No local foi identificada uma dolina formada pela erosão interna, que remobilizou o material a partir do fluxo da água.

Mediante essa situação, o trabalho foi realizado em 4 etapas: 1) Levantamento bibliográfico; 2) Análise de imagens orbitais e mapeamentos de feições indicativas de ambiente cárstico; 3) Levantamento de campo; e 4) Integração e análise dos resultados e confecção do mapa de suscetibilidade.

O levantamento bibliográfico ocorreu de forma transversal ao longo de todas as etapas do estudo. Foram realizadas pesquisas de bibliografias que auxiliassem na caracterização local, na compreensão sobre o processo de formação de sistemas cársticos, na ocorrência de casos similares em outras cidades no Brasil e outras referências que contribuíssem para o entendimento das feições descritas e suas implicações na área de estudo.

A análise de imagens e mapeamentos foi realizada através de fotointerpretação da série histórica de imagens no Google Earth Pro®, por meio de software de geoprocessamento ArcGIS® para identificar feições indicativas de ambiente cárstico, tais como feições circulares e inconsistência na rede de drenagem, estruturas geológicas e mudanças no padrão de vegetação.

Segundo Ferreira e Uagoda (2020), a utilização de fotointerpretação para análise de ocorrências de dolinas possui imprecisões e a coleta de dados in loco é uma das formas para reduzir a subjetividade das análises remotas. Portanto, trabalhos de campo foram realizados de modo a corroborar as interpretações realizadas por meio do processamento de imagens, bem como descrever as feições identificadas e as relações com a ocupação territorial.

As estruturas identificadas foram relacionadas com a carta geotécnica elaborada por Salomão, Elder e Migliorini (2012), e foi elaborado um mapa de suscetibilidade ao colapso da área. A suscetibilidade foi definida baseado no fato de que todas as feições estão situadas dentro da mesma unidade geotécnica, com as mesmas condições climáticas, hidrológicas, mesmo tipo de solo e localizadas na vertente de uma colina. Ademais, também se considerou para a determinação da suscetibilidade do local ao colapso o possível trajeto dos condutos e a

densidade de feições cársticas, conforme proposto por Salles et al. (2018). Também foram apresentadas recomendações em relação ao uso e ocupação do solo no local.

3. Resultados

As dolinas 1 e 2 foram identificadas durante a primeira visita a área de trabalho e as demais feições (dolinas 3 e 4, condutos 1 e 2 e as duas ressurgências) foram identificadas a partir da análise de imagens de satélite e confirmadas nos trabalhos de campo.

A dolina 1 tem cerca de 4m de profundidade (até o nível freático) e aproximadamente 8m de diâmetro. Ela se tornou visível em novembro de 2018 após a abertura repentina de uma porção do terreno (cerca de 200cm²) (Figuras 3A, B e C). Foi observado que mesmo ocorrendo a percolação de águas pluviais para o interior da dolina, o nível freático visível permaneceu estável, o que pode indicar um fluxo de água subterrâneo. O processo ocorreu próximo a quatro residências, onde moram cerca de vinte pessoas.

Nas residências próximas ao local foram observadas trincas verticais com abertura para o topo (Figura 3D). Também se notou a subsidência do solo em alguns pontos do terreno. A dolina 1 está situada embaixo de uma residência e a menos de 1m de outra moradia. Outro agravante é que o local possui quatro fossas negras, sendo que três delas estão a menos de 3m do limite da cavidade.

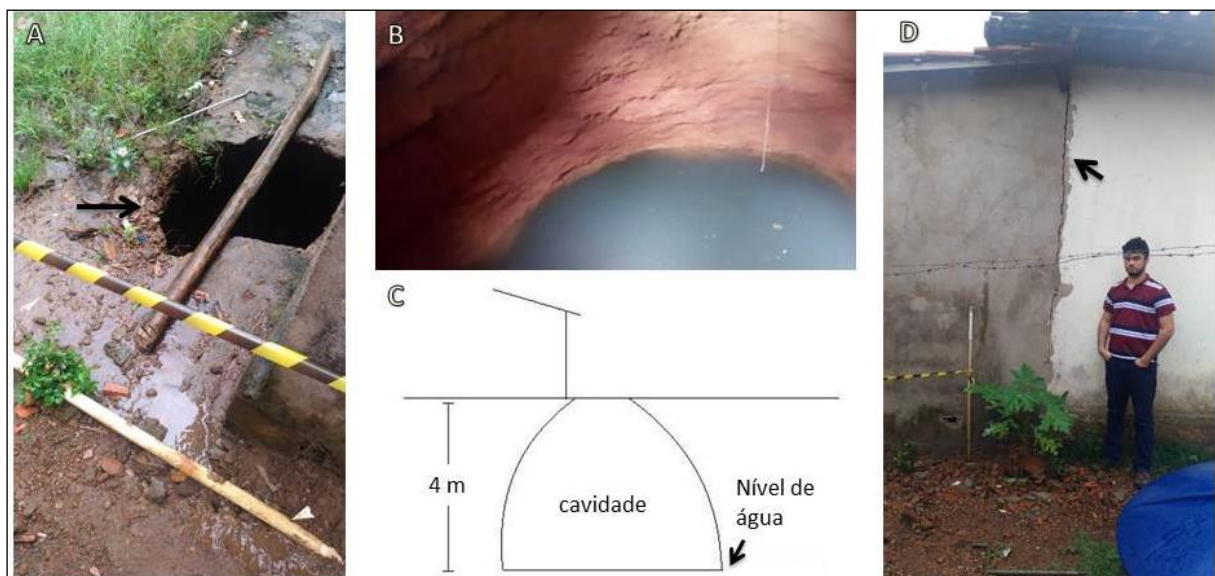


Figura 3. (A) Vista da cavidade a nível do solo; (B) Vista interna da cavidade, onde é possível observar o nível freático; (C) Modelo esquemático da dolina 1; (D) Rachadura formada pela rotação em bloco do cômodo devido ao recalque causado pela cavidade.

Residentes circunvizinhos ao local onde foi identificada a dolina 1 informaram a existência de, ao menos, mais um caso de abertura de dolinas no solo nos últimos anos, situada a aproximadamente 30m da cavidade atual, denominada neste estudo de dolina 2, cuja abertura foi registrada no ano de 2014. A medida mitigatória empregada no local à época foi o seu preenchimento com cerca de 100m³ cúbicos de material inconsolidado, de modo a soterrá-la, conforme relatos dos moradores.

A partir da fotointerpretação empregada nas imagens de satélite disponíveis no Google Earth Pro® foram identificadas feições circulares em locais próximos, dentro de uma área com vegetação nativa, distantes cerca de 300 a 400m da área de ocorrência das dolinas 1 e 2 (Figura 4). Em campo foi possível observar um sistema cárstico composto por dolinas, sumidouros e duas ressurgências de água (olho d'água). A dolina 3 tem vegetação em seu entorno e está totalmente preenchida com água (Figura 5). A dolina 4 tem uma ressurgência situada a montante e o fluxo de água segue para dentro de uma cavidade subterrânea que está interligada com outra ressurgência de água, situada a cerca de 80m de distância (Figuras 6A e B). Em ambos os casos a área ao redor das cavidades tem com a vegetação natural bem desenvolvida, o que permite deduzir que o processo de formação de dolinas nesta região antecede o adensamento populacional ocasionado pelo bairro São Sebastião, se tratando de um processo natural.



Figura 4. Identificação de feições: (A) área com vegetação em forma circular; e (B) estrutura circular com acúmulo de água. Fonte: plataforma Google Earth Pro®.



Figura 5. Vista da área da dolina 3, onde é possível observar a vegetação arbórea no entorno da feição.



Figura 6. (A) fluxo de água se direcionando para dentro da dolina 4 e adentrando por uma cavidade; (B) ressurgência do fluxo de água oriundo da dolina 4 em um olho d’água.

Com base na topografia local e por considerar que existe apenas uma única ressurgência de água da vertente, presume-se que o mesmo curso de água é responsável pelo surgimento das dolinas 1, 2 e 4, conforme modelo esquemático (Figura 7). Essas feições provavelmente estão ligadas por um conduto de aproximadamente 400m.

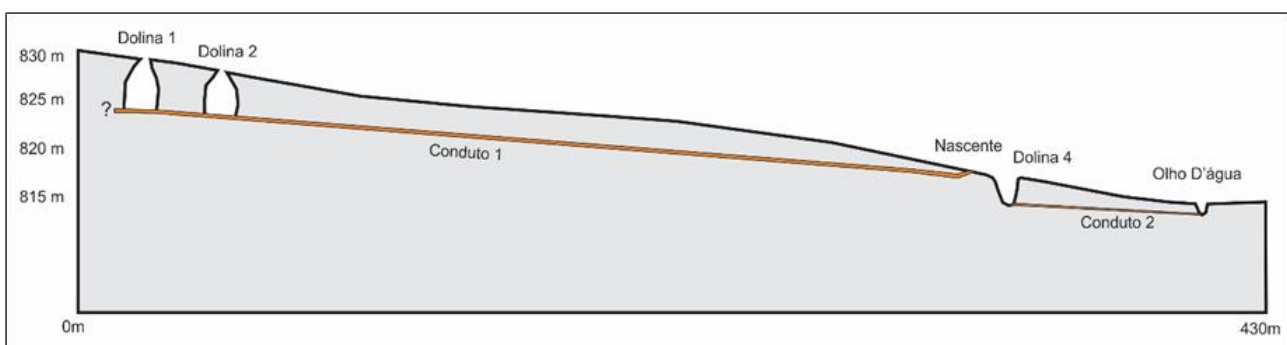


Figura 7. Modelo esquemático do sistema cárstico, nas dolinas 1, 2 e 4.

4. Discussão

4.1. A gênese e evolução do sistema cárstico

A gênese de cavernas em geral possui relação com a estrutura da rocha, porém, embora estas discontinuidades sejam planos preferenciais de penetração de água e dissolução, a formação de cavidades também pode possuir sua origem vinculada com outros fatores como a formação de piping e a distribuição não homogênea e intemperismo preferencial de certos minerais (FABRI; AUGUSTIN; AULER, 2014).

A formação de sistemas cársticos não convencionais tem sido discutido por diversos autores na literatura. Para Mecchia et al. (2019) a difusão molecular torna a água subsaturada em relação à sílica, e, por isso, ocorre a dissolução do quartzo e a liberação de grãos individuais da rocha-mãe, que são removidos de forma gradativa

pelo fluxo de água, de forma lenta. Fabri, Augustin e Auler (2014) sugerem que o relevo cárstico em rochas siliciclásticas demanda um tempo maior para desenvolvimento que em rochas carbonáticas devido à elevada estabilidade química da sílica e sua consequente baixa alterabilidade.

O transporte do material durante a formação das dolinas se dá através dos dutos e se inicia quando o piping estabelece conexão com a superfície, processo que ocorre pela cavidade e carrega partículas e outros coloides, além de componentes dissolvidos (PINHEIRO; MAURITY; PEREIRA, 2015; PEREIRA et al., 2016). Portanto, após a ação dos processos de dissolução, a fase erosiva é controlada pelo processo de piping. O sistema cárstico depende do fluxo de água, seja ela alogênica ou autogênica, para que ocorra a dissolução e remoção de partículas, e, portanto, o gradiente hidráulico é uma variável importante nesse processo (HARDT, 2008; FABRI; AUGUSTIN; AULER, 2014).

A erosão interna ocorre pela ação do fluxo de água subterrânea, que pode ser influenciada pela mudança da quantidade de energia disponível em virtude da concentração ou mudança de fluxo (OLIVEIRA, 2007; PALADINI; ARTIGAS; LIMA, 2012). A gênese das cavidades subterrâneas pode ser relacionada com o rebaixamento nível freático e alterações no relevo (SPOLADORE, 2006).

Aubrecht et al. (2019) relacionam a formação de carste em rochas siliciclásticas com a dissolução do cimento de quartzo, e a lixiviação e a remoção de filossilicatos por lateritização. A área de estudo possui um espesso Latossolo, com a existência de níveis de couraça ferruginosa. A formação da laterita envolve um processo geoquímico, onde rochas passam por uma decomposição superficial sob o clima tropical úmido, e, entre outros efeitos, ocorre a remoção em solução da sílica e outros elementos (GHOSH; GUCHHAIT, 2020). Assim, o processo de lateritização pode ter contribuído para o desenvolvimento das condições necessárias para a formação do sistema cárstico na área de estudo.

A formação do solo e sua erosão são dois processos naturais e opostos, embora grande parcela dos solos naturais tenha uma taxa de formação que é equilibrada por uma taxa de erosão (MACEDO; SOUZA, 2016). Os Latossolos são solos bem desenvolvidos e possuem valores baixos de perda de finos superficiais, pois apresentam maior permeabilidade, o que aumenta a infiltração e reduz o escoamento superficial (PELLEGRINA, 2011). Essas características contribuem para que exista um fluxo de água subterrânea que pode favorecer a erosão interna.

A formação de piping na interface entre a rocha e o horizonte C já foi descrito por Augustin e Aranha (2006), que destacam que em casos de presença de voçorocas, os dutos mais profundos localizam-se, em geral, no contato solo/saprólito. A erosividade do solo é influenciada por propriedades como a textura, estrutura, porosidade, densidade aparente e estabilidade dos agregados, além de características químicas, biológicas e mineralógicas do solo (SPOLADORE; FUKUDA; GONÇALVES, 2009). Embora não se tenha encontrado na literatura bibliografias que permitam esclarecer todo o processo existente na área, é evidente que as feições descritas se enquadram como um sistema cárstico.

4.2. Implicações para uso e ocupação do solo

Devido aos aspectos ambientais e geotécnicos, os sistemas cársticos são naturalmente mais frágeis e suscetíveis que outros ambientes (LOPES; SILVA; SILVA, 2014). A análise de um sistema cárstico não convencional em uma região com adensamento populacional é complexo, uma vez que devido às alterações antrópicas, a análise de interpretação de imagens fica prejudicada. Uma alternativa para superar esse obstáculo é a utilização de métodos geofísicos.

Na carta geotécnica do perímetro urbano da Chapada dos Guimarães elaborada por Salomão, Elder e Migliorini (2012) a área em estudo se situa na Unidade Chapadas (UG1), que corresponde às áreas de cimeira do Planalto dos Guimarães (Figura 8). A carta geotécnica municipal é composta por 6 unidades, sendo elas: Chapadas (UG1), Superfícies Rampeadas (UG2), Colinas Arenosas (UG3), Vales Profundos (UG4), Transição Chapada-Frente de Escarpa (UG5) e Morros e Morrotes (UG6) (Tabela 1). Segundo Salomão, Elder e Migliorini (2012), devido à alta permeabilidade do solo, no local existe o risco de contaminação do aquífero em regiões aplainadas, além de moderada à alta suscetibilidade à erosão laminar. Ademais, os autores salientam que a unidade é favorável à ocupação sem restrições.

As feições identificadas podem ser enquadradas em duas diferentes situações. As dolinas 1 e 2 referem-se a episódios de colapsos recentes, que ocorreram nos últimos anos na área urbanizada do Bairro São Sebastião. Portanto, indicam que o sistema cárstico ainda está em desenvolvimento e que novos colapsos podem ocorrer. Por

outro lado, a existência dos condutos, ressurgências e das dolinas 3 e 4 em uma área onde ainda existe a vegetação natural, sugere que as feições são anteriores às mudanças no uso de solo que ocorrem na área urbanizada.

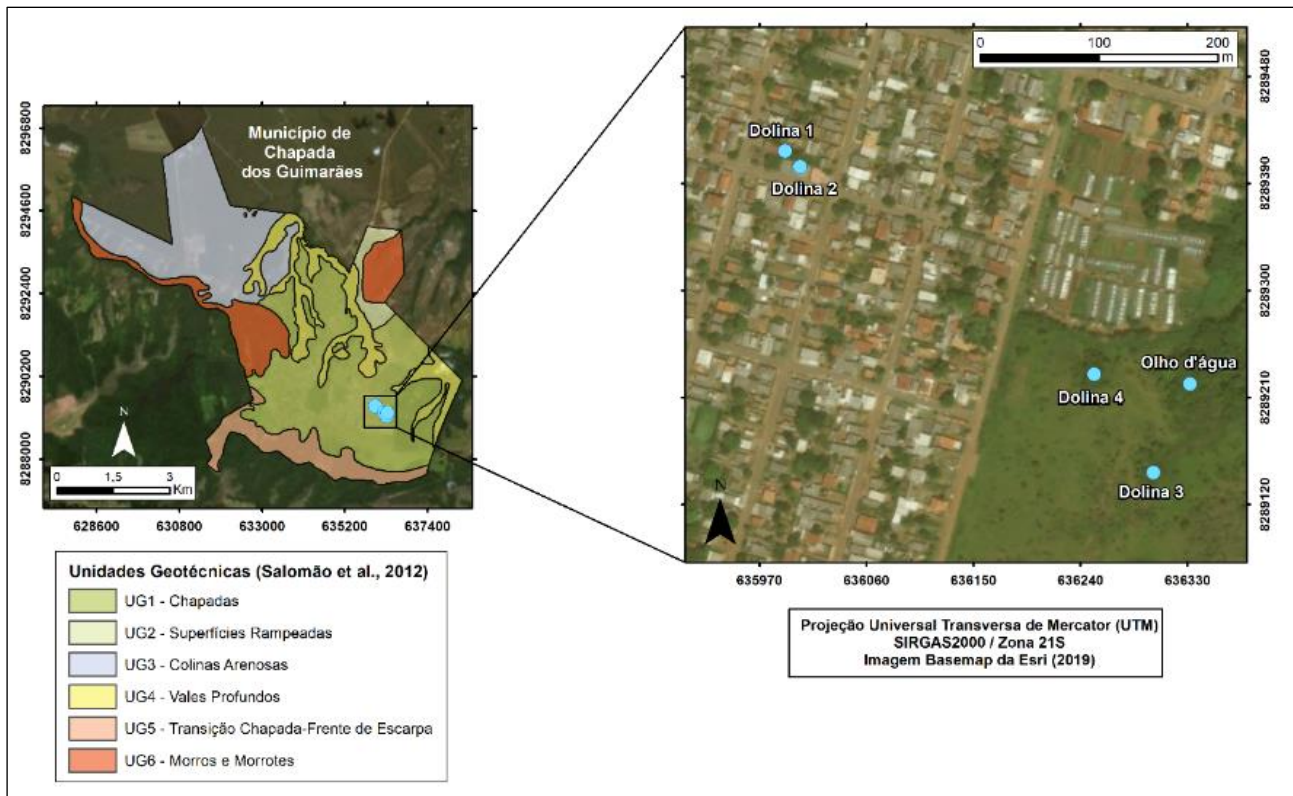


Figura 8. Posicionamento da área de estudo dentro da carta geotécnica. Fonte: Salomão, Elder e Migliorini (2012).

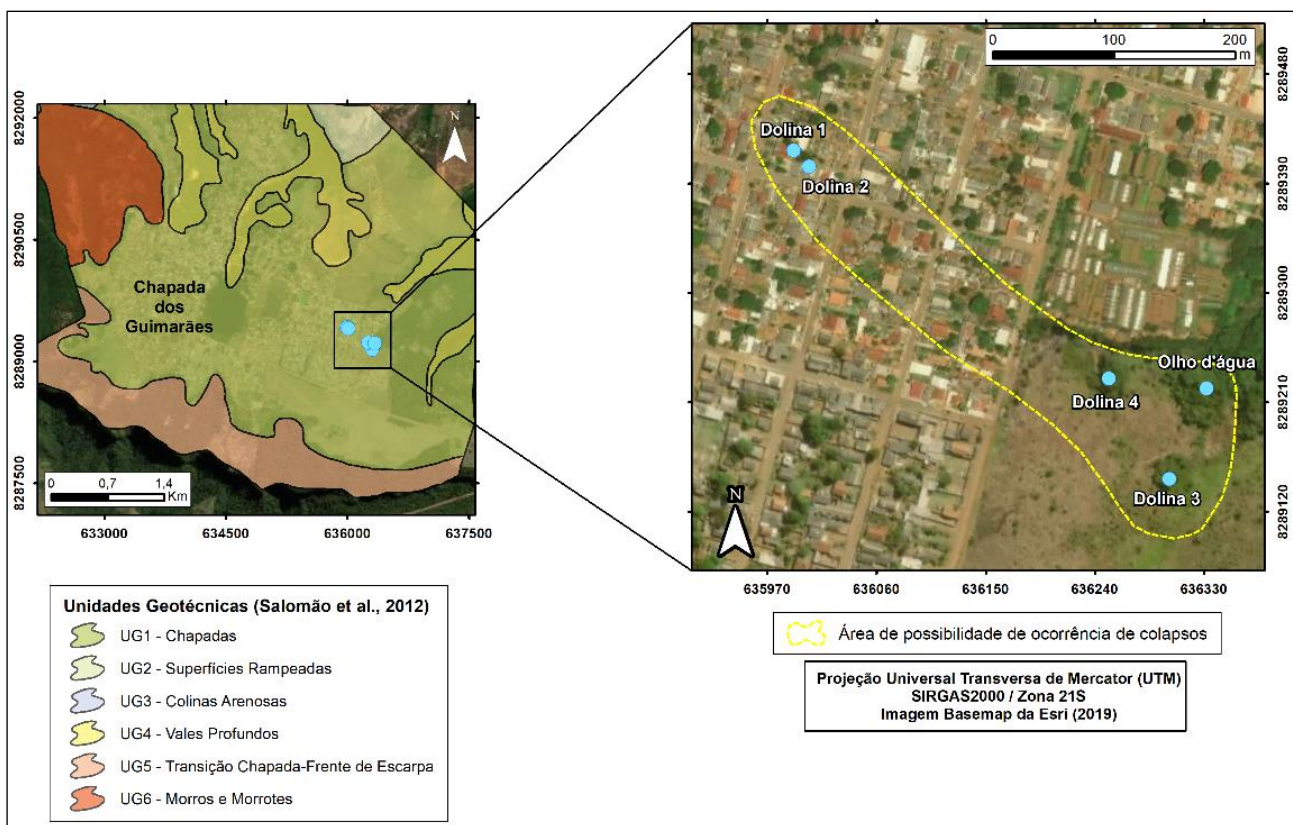


Figura 9. Mapa de suscetibilidade a processos cársticos.

Tabela 1. Atributos que compõem as unidades da carta geotécnica de Chapada dos Guimarães. Fonte: Salomão, Elder e Migliorini (2012).

Unidade Geotécnica	Atributos geotécnicos
Chapadas (UG1). Favorável à ocupação, sem restrições.	Solos, não expansivos, de fácil escavação, com boa capacidade de carga, baixa compressibilidade, resistentes a desmoronamentos e boa qualidade como aterros compactados, ocorrem couraças ferruginosas recobrando, que podem dificultar a escavação não mecanizada. O substrato rochoso é constituído por argilitos, siltitos e arenitos finos, sendo escavados apenas mecanicamente ou com uso de explosivos. Os taludes são estáveis desde que não apresentem minerais expansivos.
Superfícies Rampeadas (UG2). Favorável à ocupação com restrições, exigindo recomendações específicas e impedimento da construção civil na faixa de transição para a Unidade geotécnica UG4.	Solo de fácil escavação, não expansivo, com baixa compressibilidade e boa capacidade de carga, susceptíveis a erosão e desmoronamento, recobertos por couraça ferruginosa e impróprios à utilização em aterros compactados.
Colinas Arenosas (UG3). Favorável à ocupação com restrições, exigindo recomendações específicas e impedimento de construção civil junto aos fundos de vale.	Esta unidade é similar a UG2, porém, o solo de constituição arenosa é bem mais espesso, com uma maior instabilidade dos taludes de cortes, ocasionando uma maior dificuldade para construir obras civis. A unidade é susceptível a ocorrência de erosões lineares profundas na forma de ravinas e boçorocas.
Vales Profundos (UG4). Não favorável à ocupação, que somente será admitida se atrelada a condições específicas de projeto e execução, regulamentadas por lei.	Os solos nas encostas dos vales são caracterizados como com boa capacidade de carga e baixa compressibilidade, enquanto no fundo dos vales, possuem alta compressibilidade e baixa capacidade de carga, podendo ocorrer recalques ou fenômenos relacionados com argilas expansivas. O substrato rochoso e/ou a camada de couraça ferruginosa estão próximos da superfície, e são constituídos por material resistente, escaváveis apenas por e equipamentos mecânicos ou por explosivos. Os taludes de corte possuem boa estabilidade, com exceção de locais com exposição de rochas fraturadas, como argilas e siltitos com argilas expansivas. A unidade é sujeita a processos de erosão e movimentos de massa.
Transição Chapada-Frente de Escarpa (UG5). Não favorável à ocupação, que somente será admitida se atrelada a condições específicas de projeto e execução, regulamentadas por lei.	Solos de encostas com baixa boa capacidade de carga e baixa compressibilidade; porém nos fundos de vales ocorrem solos muito compressíveis e com baixa capacidade de carga, onde pode ocorrer recalques e expansividade. O substrato rochoso e/ou couraça ferruginosa estão a pouca profundidade, e são resistentes a escavação. Os taludes possuem boa estabilidade, exceto quando constituídos por argilitos e siltitos com minerais expansivos. Devido ao alto declive, a unidade é sujeita a movimentos de massa por quedas de blocos e escorregamentos.
Morros e Morrotes (UG6). Não favorável à ocupação, destinada à prevenção, limitando-se ao uso eventual e localizado, desde que autorizado pela administração pública para interesse social.	Solos pouco profundos, com boa capacidade de carga e suporte e baixa compressibilidade. Ocorrem surgências d'água nas encostas. A unidade é susceptível a erosão, escorregamentos planares,

Conforme a Tabela 1, todas as feições estão situadas na mesma unidade geotécnica. A área de estudo está na vertente de uma colina, onde existe um latossolo bem desenvolvido, e a unidade geológica aflorante é a Formação Ponta Grossa. Também não existem diferenças em relação à condição climática, e, portanto, conforme indicado na metodologia, os melhores critérios para determinação da área suscetível à ocorrência de colapso é a densidade de feições (Figura 1) e o provável trajeto dos condutos mostrado no modelo esquemático da Figura 7.

Os resultados obtidos nesse trabalho possibilitam apresentar um mapa das áreas em que existe a possibilidade de ocorrência de colapsos (Figura 9). O entorno dos locais onde foram identificados processos cársticos precisam ser considerados como áreas suscetíveis ao colapso e não deveriam ser ocupados, porém podem ser utilizados como parques municipais ou áreas verdes.

O colapso de uma dolina pode “engolir” um carro ou até mesmo uma residência, podendo causar danos materiais, físicos e até levar a óbito moradores locais. Portanto, medidas mitigadoras precisam ser tomadas pelo poder público para compreender o processo e orientar a população. Desta forma, é preciso discutir a situação sob a perspectiva da gestão territorial relacionada à política de Proteção e Defesa Civil.

O avanço da urbanização e o desmatamento estão entre as variáveis que mais influenciam na quantidade de água infiltrada no solo (OLIVEIRA, 2007). O bairro de São Sebastião não possui sistema de coleta de esgoto e o sistema de coleta de águas pluviais é precário. No local onde ocorreu a abertura da dolina 1 existem quatro fossas, fato que somado à alta permeabilidade do solo e à existência de cavidades subterrâneas, trazem risco de contaminação do lençol freático e das nascentes locais.

O aumento do volume de água ocasionado pelas fossas e pela drenagem superficial deficitária pode acelerar o desenvolvimento de dolinas em virtude da ampliação do fluxo subterrâneo. O surgimento de duas dolinas em quatro anos sugere que os dutos subterrâneos estão ativos e que possuem uma boa capacidade de transporte de finos. Esses dutos podem ainda estar interligados com as cavidades já estabilizadas e com a vegetação, que foram descritas anteriormente.

Diversos trabalhos estudam o desenvolvimento de sistemas cársticos no Brasil. Vital, Furrier e Silveira (2010) descrevem o processo de subsidência no município de João Pessoa – PB, e relacionam o desenvolvimento deste processo, nas formações Gramame e Barreiras, a uma dinâmica impar em relação a evolução do relevo das Formações Gramame e Barreiras. Lopes, Silva e Silva (2014) consideraram que a urbanização amplia a suscetibilidade a subsidências e, por isso, sugeriram realizar mapeamento e setorização de riscos, bem como monitorar essas áreas em Teresina (PI). Salles et al. (2018), a partir da densidade de sumidouros, realizaram uma análise do risco geológico em Iraquara – BA, considerando um índice de risco e o zoneamento de áreas que apresentam potencial para colapso, com base na linha de sumidouros. Estudos realizados por Souza e Salgado (2014) em Diamantina (MG) foram demonstradas a necessidade de estudos para análise e interpretação de mecanismos envolvidos no desenvolvimento de feições cársticas em quartzitos.

O cenário existente no bairro São Sebastião carece de atuação do poder público visando entender os fatores inerentes à área de suscetibilidade, além da necessidade de implantação de medidas para mitigar riscos à população residente na área frente à ocorrência desses processos. A realização de um estudo geofísico pode indicar a existência de outras cavidades que ainda não colapsaram, bem como a necessidade de mapear os condutos subterrâneos. Entre as medidas mitigadoras necessárias recomendadas por este estudo, destaca-se o monitoramento do nível d'água, pois a variação do nível freático pode levar à diminuição da sustentação dos condutos (SALLUN-FILHO, 2009).

Devido ao risco de contaminação das águas subterrâneas, é necessário que sejam realizados estudos para analisar o comportamento do aquífero (PESSOA; ATMAN; KIMURA, 2020). Outras medidas, como a construção de uma rede de coleta de esgoto e a melhoria da rede de coleta de águas pluviais, podem auxiliar a reduzir o ritmo do processo de piping. Caso se identifique a existência de uma complexa rede de cavidades, também pode ser necessária a desapropriação de residências e a realocação de algumas famílias em novas moradias.

De acordo com Pellegrina (2011) o mapeamento de áreas suscetíveis a processos do meio físico é um instrumento eficiente, pois auxilia na elaboração de ações preventivas e facilita o desenvolvimento de ações corretivas e mitigadoras contra desastres naturais. Kobiyama et al. (2006) salientam que cada real investido em prevenção equivale a uma economia de vinte e cinco a trinta reais em gastos de reconstrução pós-evento.

Por se tratar de um processo em ambiente cárstico, que ocorre em uma região urbana, é importante que sejam consideradas as limitações em relação ao uso e ocupação do solo. É importante revisar a Carta Geotécnica do município e conseqüentemente do Plano Diretor, uma vez que a modificação proposta na carta geotécnica está restrita à área de estudo, porém com possibilidade de o mesmo processo ocorrer em outros pontos da unidade geotécnica UG1. Considerando a Carta Geotécnica do município, publicada no ano de 2012, a área em questão está situada em uma unidade geotécnica considerada apta à ocupação humana, o que demonstra que o sistema cárstico apresentado neste trabalho não era conhecido pelo poder público.

Neste contexto, a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, que abrange às ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil, estabelece como objetivos: a redução dos riscos de desastres; à prestação de socorro e assistência às populações atingidas; a recuperação das áreas afetadas; a incorporação da redução do risco de desastre e as ações de proteção e defesa civil entre os

elementos da gestão territorial e do planejamento das políticas setoriais e a identificação e avaliação das ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, de modo a evitar ou reduzir sua ocorrência (BRASIL, 2012). A Lei n. 12.340/2010, modificada pela Lei n. 12.983/2014, apresenta os mecanismos para que ocorram as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres, de resposta e de recuperação em áreas atingidas e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2010; BRASIL, 2014). Em suma, estas normativas apresentam as diretrizes para obtenção de recursos pelos municípios em caso de desastres, previstos na política nacional. Tal instrumento pode ser utilizado pela prefeitura para obtenção de recursos necessários para realizar as intervenções sugeridas neste estudo.

Ademais, é necessário realizar ações de cunho educativo com a comunidade local, visando instruir sobre os indícios que evidenciam o desenvolvimento de dolinas, como o aparecimento de áreas com recalque e concentração de água ou o surgimento de trincas nas residências.

5. Conclusões

Este trabalho descreveu o desenvolvimento de um sistema cárstico não convencional com a formação de dolinas, condutos e ressurgências e conclui que: a) é possível o desenvolvimento de um sistema cárstico na interface entre o Latossolo e rochas siliciclásticas; b) a existência de um conduto que interligue as dolinas 1, 2 e 4, porém é necessária a comprovação destas estruturas por estudos posteriores; c) a existência de fluxo perene de água entre as feições que estão interligadas por condutos, indicando que ainda ocorre o processo de remoção de sedimentos, o que pode favorecer a erosão interna e ocasionar novos colapsos, como o evento descrito em 2018 neste trabalho; d) a existência de dolinas com vegetação no entorno demonstra que o sistema foi estabelecido antes da criação do bairro São Sebastião e que se encontra em evolução; e) o avanço da ocupação urbana pode gerar impactos no sistema cárstico e; f) o mapa de suscetibilidade à colapso indica a área com ocupação humana com maior possibilidade de abertura de novas dolinas.

Sugere-se que trabalhos futuros que venham a ser realizados no local façam uma análise dos processos pedológicos responsáveis pela formação do solo e os relacionem aos processos de meio físico que contribuem para o desenvolvimento do sistema cárstico. Ademais, é aconselhável que o governo municipal conduza uma análise hidrogeológica do aquífero com traçadores e o mapeamento das cavidades através de métodos geofísicos, além de revisar a Carta Geotécnica e do Plano Diretor, para que sejam apontadas as limitações de uso e ocupação do solo identificadas nos estudos técnicos.

Contribuições dos Autores: Concepção, Kuhn e Pires; metodologia, Kuhn e Corrêa; software, Corrêa e Kuhn; pesquisa, todos autores; preparação de dados, Kuhn e Pires; escrita do artigo, todos os autores; revisão, todos os autores; supervisão, Reis. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento externo.

Agradecimentos: Agradecemos a Defesa Civil do Município de Chapada dos Guimarães por acompanhar a equipe na primeira visita a área de estudo.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. AUBRECHT, R.; LÁNCZOS, T.; SCHLÖGL, J.; FILIPČÍKOVÁ, P. Selective weathering of cross-bedded layers forming shelters and small caves on Akopán Tepui (Venezuela): Field, laboratory and experimental evidence about diagenesis and weathering of the Matauí Formation arenites (Roraima Supergroup, Middle Proterozoic). *Geomorphology*, v. 325, p. 55-69, 2019. DOI: 10.1016/j.geomorph.2018.10.001
2. ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
3. AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. Piping em Área de Voçorocamento, Noroeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 7, n. 1, p. 9-18, 2006. DOI: 10.20502/rbg.v7i1.56

4. BOUZERDA, M.; MEHDI, K.; FADILI, A. Collapse dolines susceptibility mapping using frequency ratio method and GIS in Sahel-Doukkala, Morocco. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 6, p. 349–362, 2020. DOI: 10.1007/s40808-019-00683-y
5. BRASIL. Lei Lehmann, Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6766.htm>. Acesso em: 15/07/2019.
6. BRASIL. 2010. Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010. Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12340.htm>. Acesso em: 15/07/2019.
7. BRASIL. 2012. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm>. Acesso em: 15/07/2019.
8. BRASIL. 2014. Lei nº 12.983, de 2 de junho de 2014. Altera a Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, para dispor sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco e de resposta e recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil, e as Leis nºs 10.257, de 10 de julho de 2001, e 12.409, de 25 de maio de 2011, e revoga dispositivos da Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Lei/L12983.htm>. Acesso em: 15/07/2019.
9. CHAVES, J. J. S. **Estudo geomorfológico sobre as cavidades naturais da Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa, 2017. 113p.
10. FABRI, F. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Fatores e processos envolvidos no desenvolvimento de formas cársticas em rochas siliciclásticas em Minas Gerais, Brasil. **Revista Geografias**, v. 9 n.1, p. 82-96. 2013.
11. FABRI, F.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; AULER, A. S. Relevô cárstico em rochas siliciclásticas: uma revisão com base na literatura. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, n. 3, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v15i3.302
12. FERNANDES-FERREIRA, C.; UAGODA, R. E. S. Um Panorama Sobre Mapeamentos de Dolinas no Brasil, Feições Elementares do Carste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 302-321. 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.1.p302-321
13. FERREIRA, C. F.; UAGODA, R.E.S. Mapeamento de dolinas: desafios e possibilidades do uso de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i3.1645
14. FREIRE, L. M.; VICENTE-DA-SILVA, E.; VERÍSSIMO, C. U. V.; SANTIAGO-DE-LIMA, J. Carste não-carbonático da Amazônia: análise geoecológica da província espeleológica Altamira-Itaituba (PA). In GOMES, I. A. (org.). **As inúmeras facetas da espeleologia**. 1ª Ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 15-29. DOI: 10.22533/at.ed.8101930012
15. GHOSH, S.; GUCHHAIT, S. K. **Laterites of the Bengal Basin Characterization, Geochronology and Evolution**. Springer Briefs in Geography. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-22937-5
16. HARDT, R. Sistema cárstico e impactos antrópicos: considerações sobre o manejo. In: Simpósio de Pós-Graduação em geografia do estado de São Paulo (SIMP GEO-SP), 1., 2008, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: UNESP. 2008. p. 1295-1309. ISBN 978-85-88454-15-6.
17. HARDT, R. **Da carstificação em arenitos. Aproximação com o suporte de geotecnologias**. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro. 2011. 224p.
18. JENNINGS, J. N. **Karst geomorphology**. 1ª Ed. Oxford: Blackwell. 1985. 293p.

19. KOBAYAMA M.; MENDONÇA M.; MORENO D.A.; MARCELINO I.P. V.O.; MARCELINO E.V.; GONÇALVES E.F.; BRAZETTI L.L.P.; GOERL R.F.; MOLLERI G.S.F.; RUDORFF F.M. **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. 1ª Ed. Florianópolis: Ed. Organic Trading, 2006. 109 p.
20. LOPES, L. S. O.; SILVA, A. C.; SILVA, J. C. B. Riscos geológicos: eventos de subsidências no município de Teresina-PI. **Geonorte**, v. 5, n. 19, p. 197-201.
21. MATO GROSSO, Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Unidades Climáticas do Estado de Mato Grosso. (2001). In: **Zoneamento Sócio-econômico Ecológico**. Mapa A021. 1ª ed.
22. MECCHIA, M.; SAURO, F.; PICCINI, L. COLUMBU, A.; WAELE, J. A hybrid model to evaluate subsurface chemical weathering and fracture karstification in quartz sandstone. **Journal of Hydrology**, 572, p. 745–760, 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.02.026
23. OLIVEIRA, G. J. Erosão acelerada do solo: boçoroca de Mogi Mirim (SP). **Ciência & Ensino**, v. 2, n. 1. 2007.
24. PALADINI, B. S.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Análise do processo de voçorocamento e proposta de ordenamento territorial no Litoral Sul da Paraíba (Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 1215-1226. 2012. DOI: 10.26848/rbgf.v5i5.232816
25. PELLEGRINA, G. J. **Proposta de um procedimento metodológico para o estudo de problemas geoambientais com base em banco de dados de eventos atmosféricos severos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2011. 184p.
26. PEREIRA D. A.; ROCHA W. R. F.; SILVA F. C.; CARVALHO L. G. Dolinas em Arenitos do Grupo Urucuia na Formação Chapadão na Bacia Hidrográfica do Rio Grande em Barreiras – Bahia. In: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 19., Campinas, 2016. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2016.
27. PESSOA, P.; ATMAN, D.; KIMURA, G. Environmental Problems in the Lagoa Santa Karst. In: AULER, A.S.; PESSOA, P. (Eds.). **Lagoa Santa Karst: Brazil’s Iconic Karst Region**. 1ª Ed. Cham: Springer, p. 283-303, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-35940-9_13
28. PINHEIRO, R. V. L.; MAURITY, C. W.; PEREIRA, E. Cavernas em arenito da Província Espeleológica Altamira-Itaituba: dados espeleogenéticos com base no exemplo da Gruta das Mãos (PA), Amazônia, Brasil. **Espeleo-Tema**, v. 26, n. 1, p. 5-18. 2015.
29. PONTES, H. S.; FERNANDES, L. A.; MELO, M. S.; GUIMARÃES, G. B.; MASSUQUETO, L. Speleothems in quartz-sandstone caves of Ponta Grossa municipality, Campos Gerais region, Paraná state, southern Brazil. **International Journal of Speleology**, v. 49, n. 2, p. 119-136. 2020. DOI: 10.5038/1827-806X.49.2.2313
30. SALLES, L. Q.; GALVÃO, P.; LEAL, L. R. B.; ARAUJO, R. G. F.; PURIFICAÇÃO, C. G. C.; LAUREANO, F. V. Evaluation of susceptibility for terrain collapse and subsidence in karst areas, municipality of Iraquara, Chapada Diamantina (BA), Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, 593, 2018. DOI: 10.1007/s12665-018-7769-8.
31. SALLUN-FILHO, W.; KARMANN, I. Dolinas em arenitos 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.
32. SALOMÃO, F. X. T.; ELDER, L. M.; MIGLIORINI, R. B. Carta geotécnica do perímetro urbano da Chapada dos Guimarães: subsídios ao plano diretor. **Geologia USP. Série Científica**, v. 12, n. 1, p. 5-15. 2012. DOI: 10.5327/Z1519-874X2012000100002
33. SOUZA, F. C. R.; SALGADO, A. A. R. Caracterização das Feições Exocársticas e Fluviocársticas Desenvolvidas em Quartzitos na Região Sudeste de Diamantina/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 01, p. 054-065. 2014.
34. SPOLADORE, A.; FUKUDA, E. A.; GONÇALVES, A. A. Considerações sobre a gênese e desenvolvimento da Gruta de Barro (PR 272), Município de Tamarana. In: XXX Congresso Brasileiro de Espeleologia, 30., Montes Claros, 2009. **Anais...** Campinas: SBE, 2009.
35. SPOLADORE, A. **A geologia e a geoespeleologia como instrumentos de planejamento para o desenvolvimento do turismo: o caso de São Jerônimo da Serra-PR**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2006. 304p.
36. SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins**. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand, 1998. 1222p.

37. VERESS, M. Karst Types and Their Karstification. **Journal of Earth Science**, v. 31, n. 3, p. 621–634. 2020. DOI: 10.1007/s12583-020-1306-x
38. VITAL, S. R. O.; FURRIER, M.; SILVEIRA, T. A. Evidências de carste urbano: o caso da Lagoa Antônio Lins no Bairro de Cruz das Armas, João Pessoa, Paraíba. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), 8., 2010, Recife. **Anais...** Recife: UFPE. 2010. p. 1-14.
- 39.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuem o devido crédito pela criação original.