

CONTROLE MORFOESTRUTURAL E MORFOTECTÔNICO DAS CAVERNAS, TOCAS, ABRIGOS DE IPEÚNA E ITIRAPINA-SP, BRASIL

MORPHOSTRUCTURAL AND MORPHOTECTONIC CONTROL OF CAVES, SMALLER CAVITIES AND ROCK SHELTERS OF IPEÚNA AND ITIRAPINA, SÃO PAULO STATE, BRAZIL

Luiz Felipe Brandini Ribeiro (1)

Marli Carina Siqueira Ribeiro (2)

(1) Prof. Dr. Geomorfologia UNESP-Rio Claro/SP - SBE: nº1063

Av. 1A – 915-Cidade Nova Rio Claro-SP. CEP:13506 -785

e-mail: lfbrvm@yahoo.com.br

(2) Doutoranda em Geologia Regional e

Laboratório de Traços de Fissão e Cronometria

Av. 1A – 915- Cidade Nova Rio Claro-SP. CEP:13506 -785

e-mail: marlicarina@yahoo.com.br

RESUMO

As cavernas, tocas e abrigos da região de Itaqueri da Serra, Ipéuna, São Pedro e áreas adjacentes, são constituídas em sua maioria por arenitos e raras ocorrências em lateritas. Sua origem se dá por percolação de água e abatimento do teto. Entretanto sua origem e evolução mostram se fortemente controladas pela morfoestrutura associada a reativação de falhamentos e por uma complexa interação entre fraturas e planos de estratificações cruzadas. Neste artigo foram estudadas várias cavernas, representativas de diversas regiões da Cuesta. Entre elas as cavernas conhecidas do Fazendão, Paredão, Boca do Sapo, e Abrigo da Glória (na Serra de Itirapina); os abrigos do Roncador (Analândia SP), Santo Urbano (Corumbataí SP), Rochedo (Itirapina SP), Abrigo da Chuva (Itirapina SP) e as tocas: Toca do Ninho, Toca do Bauru, Toca do Morcego (Itirapina). Foram utilizadas metodologias modernas de análise estrutural e plotagem das principais direções morfológicas, como condutos, fraturas e sets de cruzadas, mostrando que existe uma interrelação entre o desenvolvimento das cavernas e o controle tectônico. As cavidades apresentaram direções preferenciais de condutos, falhas, fraturas com orientação (N30), (N280) e (N30-50) e algumas tocas apresentaram condutos principais orientados para (N270-285). Estas direções foram correlacionadas com os grandes alinhamentos de caráter regional, e mostraram que estão controladas pelas reativações da falha de Areado e Jacutinga, abaixo da bacia do Paraná, soerguimentos e processos tectônicos relacionados. Assim foi possível "datar" a provável formação e deformação das cavidades, onde as cavernas mais antigas são as mais labirínticas, as tocas e abrigos são mais recentes.

Palavras chave: Controle Estrutural; Espeleogênese, Pseudocarste..

ABSTRACT

The caves, smaller cavities and rock shelters of the Itaqueri mountain range, Ipeúna, São Pedro, and adjacent areas, are formed largely in sandstone, with rare caves in iron-rich laterite; these are formed by the percolation of water and the breakdown of the roof. The origin and evolution are shown to be strongly controlled by morphostructure and triggered by the reactivation of ancient faults and the complex interaction between fractures and cross lamination planes. In this article, various caves representative of the mentioned region were studied, including the caves known as Fazendão, Paredão, Boca do Sapo, and Abrigo da Glória (in the Itirapina Mountain range); the rock shelters of Roncador (in Analândia), Santo Urbano (in Corumbataí), da Chuva (in Itirapina), and do Rochedo (Itirapina), as well as the smaller cavities (tocas) do Ninho, do Bauru, and do Morcego (all located in Itirapina). Modern methods of structural analysis and mapping of the principal direction of morphological development (such as conduits, joints, and cross lamination) show an interrelationship between cave development and tectonic control. The cavities presented preferential orientation of conduits, faults and joints in directions of N30, N280 and N30-50, with that of some of the smaller cavities revealing an orientation to the WNW of N270-285; these directions correlate with regional alignments, apparently controlled by the reactivation of the Areado and Jacutinga faults beneath the Paraná Basin involving uplifting and related tectonic processes. It is thus possible to "date" the probable formation and deformation of the cavities, with the older caves tending to constitute mazes, while rock shelters and the smaller cavities are of more recent origin.

Key Words: Structural Control; Speleogenesis, Pseudokarst

1. INTRODUÇÃO

Em rochas areníticas e lateríticas, o padrão de fraturamento, as juntas e as falhas são um fator importante na formação de uma caverna e de uma toca, principalmente na extensão de condutos, e em abrigos, no pré-controle da alteração e erosão formando feições únicas e com pouca extensão, do tipo de *Tafoni* em rochas graníticas, pequenas cavidades (TWIDALE, 1973; WRAY, 1997; TWIDALE, 2005). Existem exceções, como é o caso da caverna das Bromélias, em Minas Gerais, que é de grande extensão (CORREA NETO & CORREA, 1994).

As cavernas em arenito foram formadas pelo resultado da infiltração e escoamento das águas superficiais ("run-off") nas proximidades das escarpas e percolação e infiltração de águas nos planos de falha, fraturas e encontros de sets de cruzadas, com a conseqüente remoção e dissolução do material, por vezes formando espeleotemas de carbonato de cálcio em planos de fratura (WERNICK *et al*, 1976; VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994). Depois de um alargamento inicial, a caverna se desenvolve por "arenisation" e em seguida por "piping", primeiro de poucos centímetros, depois metros. Os níveis de escoamento lateral das águas de infiltração podem ser, possivelmente, controlados por níveis mais permeáveis no arenito (encontro de sets de cruzadas), estes, às vezes marcados por níveis mais argilosos (explica a deposição de areia úmida em alguns salões) e por fim a queda de blocos (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994; RIBEIRO *et al*, 1994).

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área localiza-se nas proximidades dos municípios de Rio Claro, São Pedro, Ipeúna e Analândia, no centro sul do estado de São Paulo (Figura 1). As cavidades estão localizadas nas vertentes das Serras de Santana, Itaqueri e São Pedro que por sua vez pertencem à feição geomorfológica Cuestas (composta por arenito e basalto) (Figura 1).

3. GEOLOGIA REGIONAL

A geologia onde estão localizadas as cavidades é representada basicamente, da base para o topo, pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, que compõem o Grupo São Bento, evidenciando uma sedimentação exclusivamente continental, em clima árido a semi-árido, encerrada por amplo vulcanismo basáltico, durante o Mesozóico (Figura 1); particularmente acima dos basaltos ocorrem os conglomerados da base do Grupo Bauru, Formação Itaqueri (onde ocorre a Toca do Piping, próximo a São Pedro).

FORMAÇÃO PIRAMBÓIA

Esta formação é constituída por um pacote de espessos corpos de arenito esbranquiçado, amarelado e avermelhado, de granulometria fina a média, com finas intercalações de siltito e argilito, e, localmente com níveis conglomeráticos. Apresentam estratificações cruzadas de grande e de médio porte (SCHOBENHAUS, 1984). Regionalmente aflora nas regiões de Rio Claro, Ipeúna, Corumbataí, Charqueada e São Pedro (Figura 1). As tocas de Analândia e Corumbataí estão localizadas na Formação Pirambóia.

FORMAÇÃO BOTUCATU

Esta formação foi definida por CAMPOS (1889 *apud* SCHOBENHAUS, 1984), constituída de arenitos vermelhos a rosados, bimodais, de granulometria fina a média, muito silicificado, com estratificação cruzada de grande e médio porte. Suas características indicam deposição eólica em ambiente desértico, com contribuição de sedimentação fluvial na parte basal (SCHNEIDER *et al*, 1974). Diversos autores atribuem uma idade Jurássica baseada em correlações estratigráficas (Figura 1). A maioria das cavernas estudadas se localiza nesta formação.

FORMAÇÃO SERRA GERAL

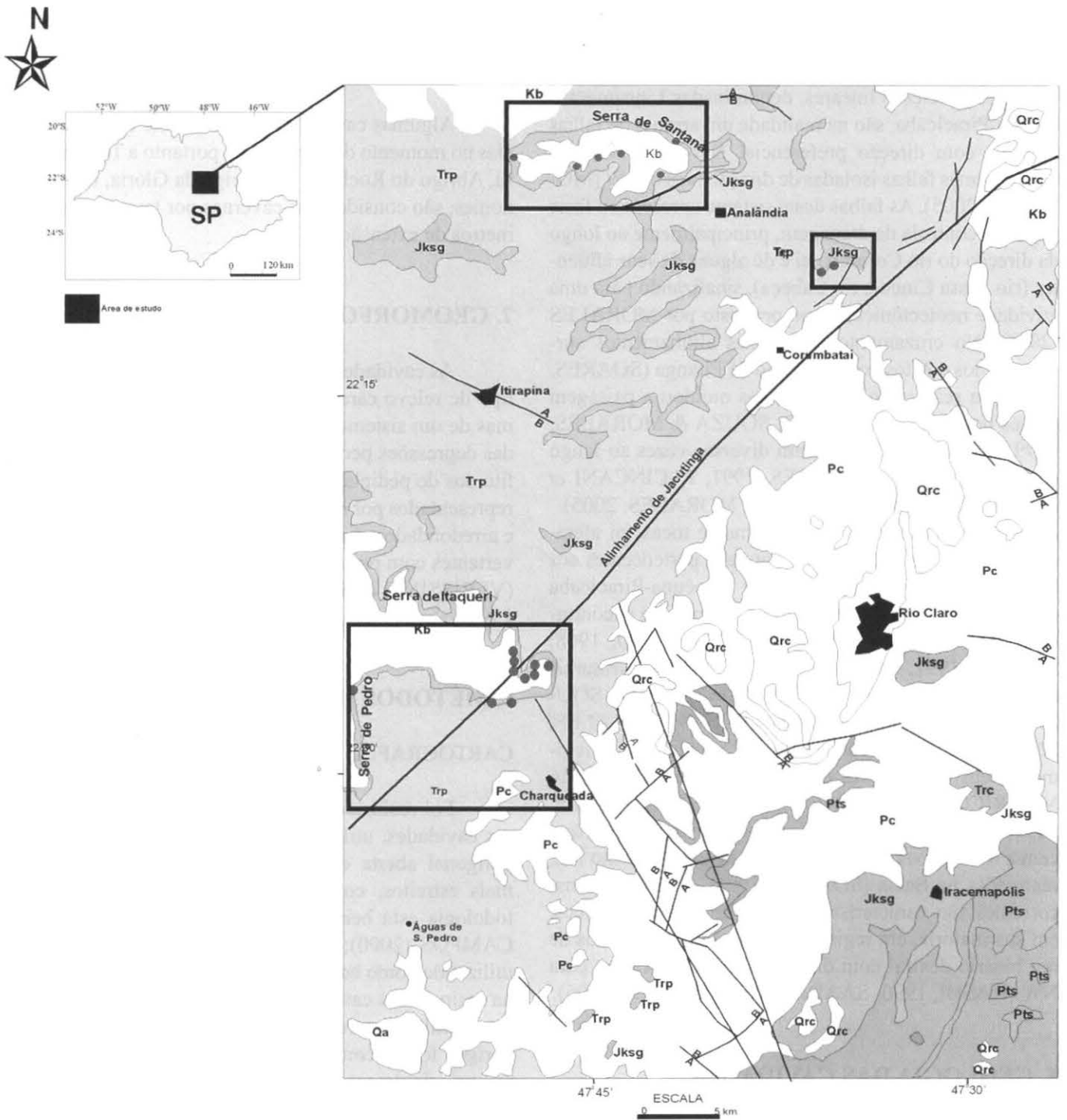
É constituída de basaltos e diabásios, foi definida por (WHITE, 1908 *apud* SCHOBENHAUS, 1984), apresenta-se em pequenos seixos e matacões com vestígios de acebolamento e fraturas conchoidais, indicando alto grau de intemperismo. Sua textura é afanítica, muitas vezes confundido com o arenito. Encontram-se cristais de quartzo subédricos e calcedônia. Dados radiométricos existentes indicam idade oscilante entre o Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior (CORDANI & VANDOROS, 1967). Existem poucas cavernas no basalto.

GRUPO BAURU - FORMAÇÃO ITAQUERI

A Formação Itaqueri é constituída pela alternância de bancos de arenito silicificado e com crostas ferruginosas, lamitos e conglomerados, indicando um sistema de leques aluviais, representando um ambiente de alta energia e sugerindo condições de clima semi-árido (ZAINÉ, 1996; SCHNEIDER, 1974). A caverna Toca do Piping é formada nestas crostas ferruginosas (RIBEIRO *et al*, 1999).

4. ESTRUTURAS REGIONAIS

A bacia do Paraná é marcada por um padrão de



LEGENDA - KEY

Localização das cavernas, tocas e abrigos Location of caves, smaller cavities and rock shelters	CENOZÓICO - CENOZOIC [Qa] Quaternário - Quaternary [Qrc] Formação Rio Claro - Rio Claro Formation	PALEOZÓICO - PALEOZOIC GRUPO PASSA DOIS - PASSA DOIS GROUP [Pc] Formação Corumbatai - Corumbatai Formation [Pi] Formação Corumbatai - Corumbatai Formation
Cidades - Cities	MESOZÓICO - MESOZOIC [Kb] Formação Bauru - Bauru Formation GRUPO SÃO BENTO - SÃO BENTO GROUP [Jksg] Formação Serra Geral - Serra Geral Formation [Jkb] Formação Botucatu - Botucatu Formation [Trp] Formação Pirambóia - Pirambóia Formation	GRUPO TUBARÃO - TUBARÃO GROUP [Pts] Formação Corumbatai - Corumbatai Formation GRUPO ITARARÉ - ITARARÉ GROUP [Cpi] GRUPO ITARARÉ - ITARARÉ GROUP

Figura 1: Localização das cavernas, tocas e abrigos estudados neste trabalho e os principais alinhamentos e falhamentos.
Figure 1: Location of caves, smaller cavities and rock shelters studied and the main alignments and fractures

feições lineares em forma de "X", dividido em 3 direções principais NW-SE, NE-SW e E-W, sendo a maioria a continuação das diversas falhas reativadas sob a Bacia (ZÁLAN *et al*, 1987).

Estas feições lineares, denominadas Lineamentos Ipeúna-Piracicaba, são na realidade um arranjo de falhas normais com direção preferencial NW-SE e NE-SW, com algumas falhas isoladas de direção N-S e E-W (MORALES, 2005). As falhas deste sistema apresentam forte papel no controle de drenagem, principalmente ao longo da direção do rio Corumbataí e de alguns de seus afluentes (rio Passa Cinco e rio Cabeça), sinalizando para uma atividade neotectônica, como proposto por MORALES (2005). No cruzamento entre estes alinhamentos surgem domos e Altos como o domo de Pitanga (SOARES, 1974) e a reativação dessas falhas moldou a paisagem desses domos (SOUZA, 1997; SOUZA & MORALES, 1999). Essas falhas reativaram diversas vezes ao longo do tempo geológico (SOARES, 1991; FACINCANI *et al*, 2001; RICCOMINI *et al*, 1996; MORALES, 2005). A região onde se situam as cavernas e tocas foi afetada por falhas transcorrentes e normais, pertencentes aos lineamentos de Areado, Jacutinga e Ipeúna-Piracicaba descritos e comentados por muitos autores que encontraram evidências geomorfológicas (PENTEADO, 1968; SOARES, 1991; FACINCANI *et al*, 2001) e estruturais (RIBEIRO *et al*, 1994; RICCOMINI *et al*, 1996; SOUZA, 1997; SOUZA & MORALES, 1999; MORALES, 2005). As falhas de caráter normal pertencem ao regime distensivo da época da abertura continental (= 126 Ma) (RICCOMINI *et al*, 1996; SOUZA & MORALES, 1999; MORALES, 2005). Essas falhas também pertencem a reativações de antigas zonas de cisalhamento NE, reativadas na Bacia (SOARES, 1991). As falhas transcorrentes são características de eventos neotectônicos, em sua maioria, em regime sinistral que são reflexos de um binário dextral com direções de maior esforço para NW (HASUI, 1990; SAADI, 1993; MORALES, 2005).

5. GEOLOGIA DAS CAVIDADES

As maiorias das cavidades ocorrem nos sedimentos da formação Botucatu, salvo a toca do Piping que se situa na formação Itaqueri. A maioria das cavidades apresenta estruturas em abóbada, indicativas de um plano de falha central, com constantes quedas de bloco (RIBEIRO *et al*, 1994, 1997; MONTEIRO & RIBEIRO, 2001).

A caverna do Fazendão e abrigo da Glória e a caverna do Paredão são controladas por mais de uma interação de falhas. Estas obedecem ao padrão de fraturamento de RIDELL, onde a interação de duas ou mais falhas interagem em uma rede complexa de fraturas, onde, em cada fratura aparece um conduto da caverna (RIBEIRO *et al*, 1994; MONTEIRO & RIBEIRO, 2001;

RIBEIRO *et al*, 2005).

6. NOMENCLATURA DAS CAVIDADES

Algumas cavernas possuem nome que foi dado a elas no momento da exploração, portanto a Toca do Bauru, Abrigo do Rochedo e o Abrigo da Glória, apesar dos nomes, são consideradas cavernas por terem mais de 15 metros de extensão.

7. GEOMORFOLOGIA

As cavidades se encontram no relevo das Cuestas, tipo de relevo caracterizado como um conjunto de formas de um sistema complementar de relevo nas bordas das depressões periféricas. Na área os relevos são constituídos de pediplanos sustentados por maciços básicos, representados por morros testemunhos, topos aplainados e arredondados. As principais cavernas localizam-se nas vertentes com perfis retilíneos e nas escarpas festonadas (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994; RIBEIRO *et al*, 1994).

8. MÉTODOS UTILIZADOS

CARTOGRAFIA

Foi realizado mapeamento em detalhe das diversas cavidades, utilizando o método do eixo centrado e poligonal aberta e ramificada ao longo dos condutos mais estreitos, com algumas modificações. Esta metodologia está bem representada em RODRÍGUEZ & CAMPOS (2000); e posterior mapeamento de detalhe utilizando como base as topografias feitas anteriormente na maioria das cavidades. No levantamento topográfico foram utilizados trena, bússola e clinômetro. Somente os abrigos foram compilados de mapeamentos já existentes, principalmente utilizando os trabalhos de COLLET (1980; 1982 a, b).

ANÁLISE ESTRUTURAL

Foi realizada análise estrutural por reconhecimento *in situ* de falhas e estrias, e sentido do movimento; reconhecimento da direção dos sets das estratificações cruzadas, fraturas preenchidas, direções preferenciais dos condutos principais e, quando possível, dos túneis secundários, envolvendo a utilização sistemática da moderna análise estrutural.

Os dados obtidos foram plotados utilizando o software Daisy 3 (WISE *et al*, 1985; SALVINI *et al*, 1999), para análise de paleotensão e plotados em estereogramas Schmidt- Lambert, semi esfera inferior e em diagramas

de roseta. A interação de fraturas e falhas foi possível correlacioná-las com padrões de Riedel em algumas cavernas, como foi proposto por MONTEIRO & RIBEIRO (1999).

Foram levantadas feições da tectônica regional para estabelecer uma correlação com os eventos regionais. As cavernas estudadas foram consideradas com 15 m (ou mais) de desenvolvimento horizontal: Caverna do Fazendão, Caverna do Paredão, Abrigo da Glória, Toca do Bauru (Figuras 2, 3, 4).

As tocas foram consideradas com menos de 15 m de desenvolvimento horizontal, sendo elas: Toca do Ninho, Toca do Morcego. Os abrigos foram considerados como de desenvolvimento horizontal até 8-10 m, consistindo de uma fenda aberta sem desenvolvimento de corredores. Neste trabalho foram considerados o Abrigo do Roncador (Analândia-SP) e o Abrigo Santo Urbano (Corumbataí-SP).

9. RESULTADOS

ESPELEOTEMAS E FRATURAS

Nas cavernas da área, existem inúmeras fraturas preenchidas de espeleotemas relacionados à percolação de fluidos. Foram descritas crostas de sílica na forma de couve-flor, pequenas estalactites, estruturas em caixa de ovos (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994). Na caverna do Fazendão e na caverna do Paredão, ocorrem ao longo de fraturas com direção NS, presença de estalactites de ferro (RIBEIRO *et al.*, 2005). São encontradas também mudanças da coloração devido à presença de ferro ao longo das fraturas distribuídas nas cavernas, com direções diversas (NS, NW e NE). A Tabela 1 mostra a direção preferencial de alguns espeleotemas medidos, somente em 4 cavernas.

GEOLOGIA ESTRUTURAL DAS CAVIDADES

Estudos efetuados nas cavernas, tocas e cavidades da Serra de Itaqueri, Analândia, Ipeúna e São Pedro mostraram um controle estrutural e estratigráfico marcante, com orientações preferenciais para NS, NE e NW (raras vezes para E-W) (Tabela 2).

As cavidades apresentaram falhas, fraturas e grandes descontinuidades (planos de falha sem estrias) com orientação norte-nordeste (N30), as cavernas apresentaram orientações de seus condutos principais para noroeste (N280) e nordeste (N30-50) e algumas tocas apresentaram condutos principais orientados para oeste/noroeste (N270-285). Estas direções foram correlacionadas com os grandes alinhamentos de caráter regional. As orientações regionais NE e NNE estão controladas pelos lineamentos NE que caracterizam reativações da falha de Areado e Jacutinga, abaixo da bacia do Paraná. A orientação para NW nas grandes cavernas e algumas tocas está ligada ao controle das manifestações intraplaca atualmente vigente e ao controle dos planos das es-

truturas estratigráficas primárias (sets das estratificações cruzadas da área e o truncamento entre elas). Algumas cavernas, na Serra de São Pedro, possuem extensões para NW e EW, com falhas nestas direções, o qual estão pré-controladas por zonas de fraqueza morfoestruturais, onde a forma do relevo (cornija e o front de escarpa) condiciona zonas de fraqueza que favorecem a dissolução e a formação das cavernas.

As cavernas mais antigas e labirínticas possuem um controle estrutural bem marcante. Neste contexto destacamos aqui a Caverna do Fazendão (Figuras 2 e 3) onde os trabalhos estruturais já foram mapeados e interpretados. As outras cavidades ainda estão em trabalho de interpretação, contudo seus esboços estão representados nas figuras 4 e 5.

O corredor principal da caverna do Fazendão está controlado por uma falha transcorrente de caráter dextral, como já reconhecido por VERÍSSIMO & SPOLADORE (1994), sendo parte do salão da Baleia também controlada por esta falha e por uma outra mais adiante, definindo um binário completo. Muitos corredores internos e o "gostosinho", obedecem a fraturas T (tração), sintéticas X e R e antitéticas R' do padrão de fraturamento de Riedell (Figura 2). As fraturas T condicionam também a queda de blocos da caverna, que pode ser observado próximo ao Salão da Baleia e o corredor principal da entrada.

A Gruta do Paredão (Figura 4), situada na frente da gruta do Fazendão, foi originada pela mesma falha principal da Gruta do Fazendão. Seguindo-se para o outro lado da colina, encontra-se a Toca do Ninho, também controlada pela mesma descontinuidade (Figura 6), este controle parece ser um constante no controle estrutural da área. Este controle estrutural também aparece na caverna Abrigo da Glória (Figura 5).

As falhas e fraturas parecem controlar e delimitar a queda dos blocos (Figuras 2, 5 e 6), a incidência de espeleotemas de "couve flor" aparece em grande quantidade próximo a estas fraturas (exudação de sílica e de carbonato de cálcio). Seu controle estratigráfico é de difícil reconhecimento, aparecendo somente em casos isolados.

ASSOCIAÇÃO COM A TECTÔNICA REGIONAL

Observando a Tabela 2, podemos concluir que as cavidades possuem um controle estrutural e estratigráfico bem marcante. Este controle coincide com os grandes alinhamentos estruturais de direções NE, NS e NW, caracterizados em sua maioria por reativações de zonas de cisalhamento durante o Fanerozóico sob a forma de falhas.

Em um contexto geral, estes alinhamentos foram ativos, dentro e fora da Bacia do Paraná, seja no controle de unidades sedimentares, de soerguimentos e subsidências, dos focos de magmatismo alcalino, de altos estruturais ou de acúmulos de hidrocarbonetos, apresentando

intensa atividade recorrente durante o Fanerozóico e relatado por muitos autores (HASUI, 1990; RICCOMINI, 1995; RIBEIRO *et al*, 2005; RIBEIRO *et al*, 2005; MORALES, 2005).

IDADE PROVÁVEL

A Tabela 3 mostra os principais eventos tectônicos regionais. Comparando os resultados mostrados na Tabela 2, podemos estimar possíveis idades para as cavidades encontradas na área. Cabe destacar aqui que as cavernas mais labirínticas (Caverna do Fazendão, Abrigo do Rochedo, Caverna dos Óculos), podem ser mais antigas com fases de reativação (relaxamento e abertura de fraturas) ao longo do tempo, sendo estas reativações nem sempre tectônicas e sim devido a infiltrações e percolações de fluidos (principalmente em atividades mais recentes). Os eventos neotectônicos apenas controlam

quedas de blocos (*landslides*) em abrigos e tocas (nunca originando cavernas).

10. CONCLUSÕES

Podemos concluir que as cavidades estudadas possuem um controle estrutural marcante na sua formação e as cavernas de orientação NE podem ser mais antigas e são mais labirínticas. Estas cavernas de orientação NE também possuem fraturas preenchidas possivelmente relacionadas às reativações ao longo do tempo geológico.

As cavidades mais recentes são aquelas com direções preferências EW, fato comprovado pela toca do Piping em São Pedro (por estar em rochas lateríticas alteradas da formação Itaqueri do período Cretáceo). E os abrigos, por mostrarem blocos de rochas com evidências de *landslides*.

Nome da Caverna <i>Name of cavity</i>	Couve Flor (impregnação de carbonato de cálcio e sílica) <i>Coralloids impregnation with calcium carbonate and silica</i>	Estalactites de Ferro NS, NW e NE <i>Stalactites of Iron</i>	Fraturas com mudanças de cor <i>Joints showing color changes</i>
Caverna do Fazendão	Percolam fraturas com direção NW, NS e EW. <i>Percolation through joints (NW, NS and EW)</i>	Percolam fraturas com direção NE e NW. <i>Percolation through joints (NE and NW)</i>	Fraturas e planos de cruzadas para NS e NW <i>Joints and cross bedding (NS and NW)</i>
Caverna do Paredão	Percolam Fraturas N e NW. <i>Percolation through joints (N and NW)</i>	Percolam fraturas Com direção NS <i>Percolation through joints (NS)</i>	Fraturas com direção NE <i>Joints in NE direction</i>
Toca do Ninho	Percolam fraturas EW <i>Percolation through joints (EW)</i>	Raras, não foi possível a medida. <i>Rare; measurement impossible</i>	Fraturas com direção NE <i>Joints with NE direction</i>
Abrigo Santo Urbano	Percolam fraturas EW <i>Percolation through joints (EW)</i>	Não tem <i>Non existent</i>	Fraturas NS <i>NS joints</i>

Tabela 1: Características e direções preferenciais de espeleotemas relacionadas às fraturas e falhas.

Table 1. Characteristics and preferential direction of speleothems, joints and faults.

Nome da Cavidade <i>Name of cavity</i>	Direção das Fraturas <i>Direction of joints</i>	Direção do conduto da caverna <i>Direction of cave conduits</i>	Direções regionais (Coincidentes) <i>Regional orientation</i>	Direção do plano da Cruzada <i>Orientation of cross-bedding</i>
Caverna do Fazendão SP -170	Padrão Complexo NE (N30 -40) Fraturas secundárias NW <i>Complex pattern Secondary joints</i>	Principal NE (N30) Condutos secundários para NW <i>Main NE orientation (N30) Secondary conduits to NW</i>	Alinhamento de Areado e Jacutinga NE (N30 -40) <i>Alignment of Areado and Jacutinga</i>	NW NW (possível controle pelos planos de cruzadas)
Caverna do Paredão	NE (NE30)	NE (NE 30)		Possible control by reactivation surface of cross- bedding
Caverna Abrigo da Glória	Padrão Complexo NW (N280 - 300) <i>Complex pattern</i>	NS e NE (N45)		
Caverna Abrigo do Rochedo	Padrão Complexo NW (N280) <i>Complex pattern</i>	NW (N280 -corredor principal) e EW (N263) Corredor secundário <i>NW (Main corridor N280) EW (secondary corridor N263)</i>	Alinhamento do Rio Passa Cinco (Neotectônico?) <i>Alignment of Rio Passa Cinco (neotectonic)</i>	—
Caverna Boca do Sapo	NE (N40) NW (290)	NW (corredor principal) (<i>Main corridor</i>)		—
Toca do Ninho	NE (N45)	NE	Jacutinga	NW
Toca do Bauru	NE, NW.	NW	Alinhamento do Rio Passa Cinco (Neotectônico?). <i>Alignment of Rio Passa Cinco (neotectonic)</i>	—
Toca da chuva	NW, NS.	NW		Não tem <i>None</i>
Toca do morcego		NW		Não tem <i>None</i>
Toca do Piping	NS, NE, EW.	EW	Evidências de neotectônica Direção descrita por diversos autores <i>Neotectonic evidence Orientation already described by various authors</i>	Não tem (Caverna em Laterita) <i>None (cave in laterite)</i>
Abrigo Santo Urbano	N, NE (N8 - 20)	EW		NE
Abrigo do Roncador	N, NE (N10- 30)	EW (NW)		NE

Tabela 2: Características estruturais de cada cavidade.

Table 2: Structural characteristics of each cavity

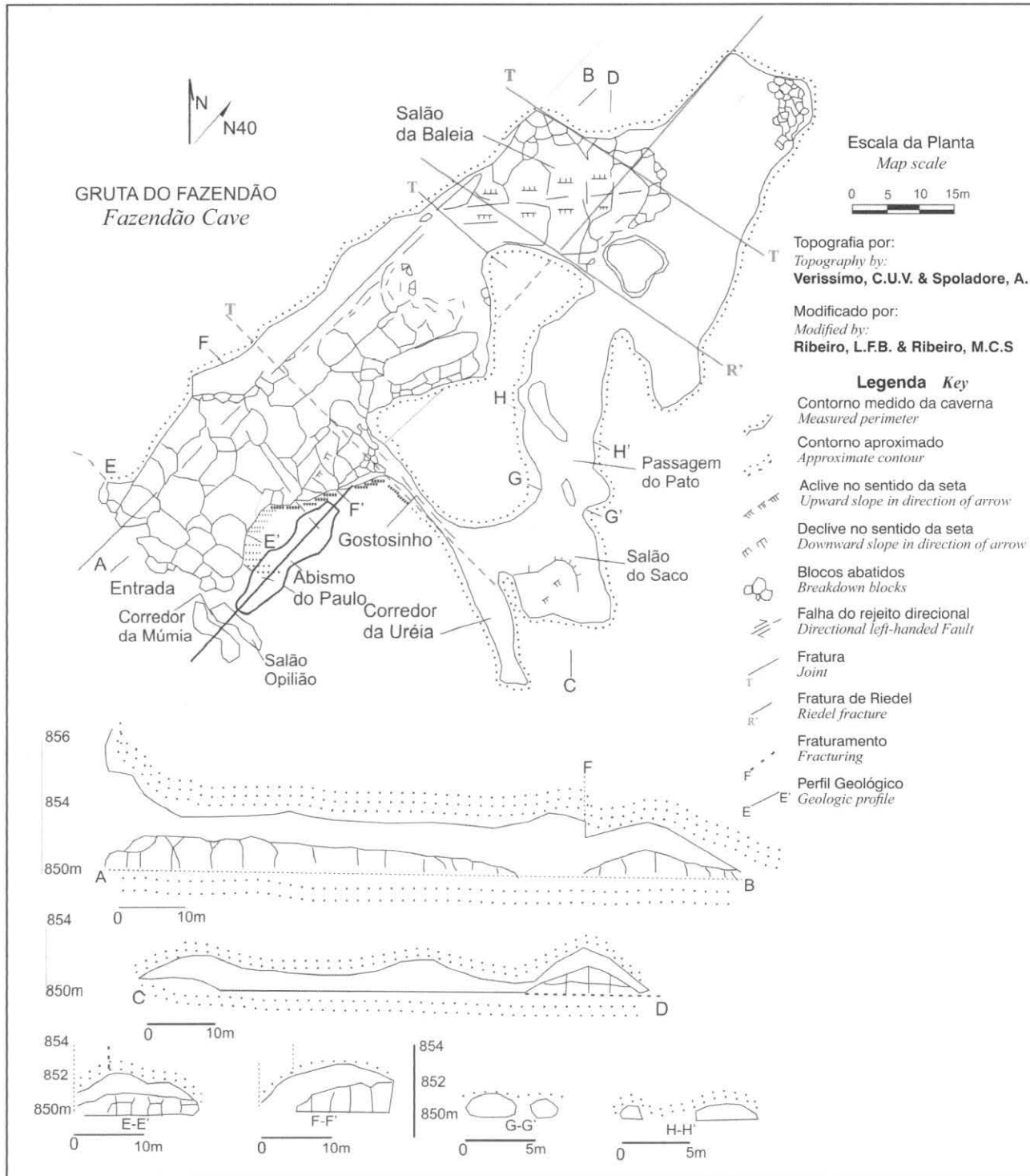


Figura 2: Esboço da Caverna do Fazendão e seu controle estrutural.

Figure 2: Preliminary sketch of Fazendão Cave and structural control.



Figura 3: falha no corredor principal da caverna do Fazendão (SP-170), ângulo de visada oblíquo (sentido NW SE de dentro para fora da caverna perfil A B da Figura 2).

Figure 3: Fault in main corridor of Fazenda Cave (taken from oblique angle, direction NW-SE from inside to outside of cave (profile A-B in Figure 2))

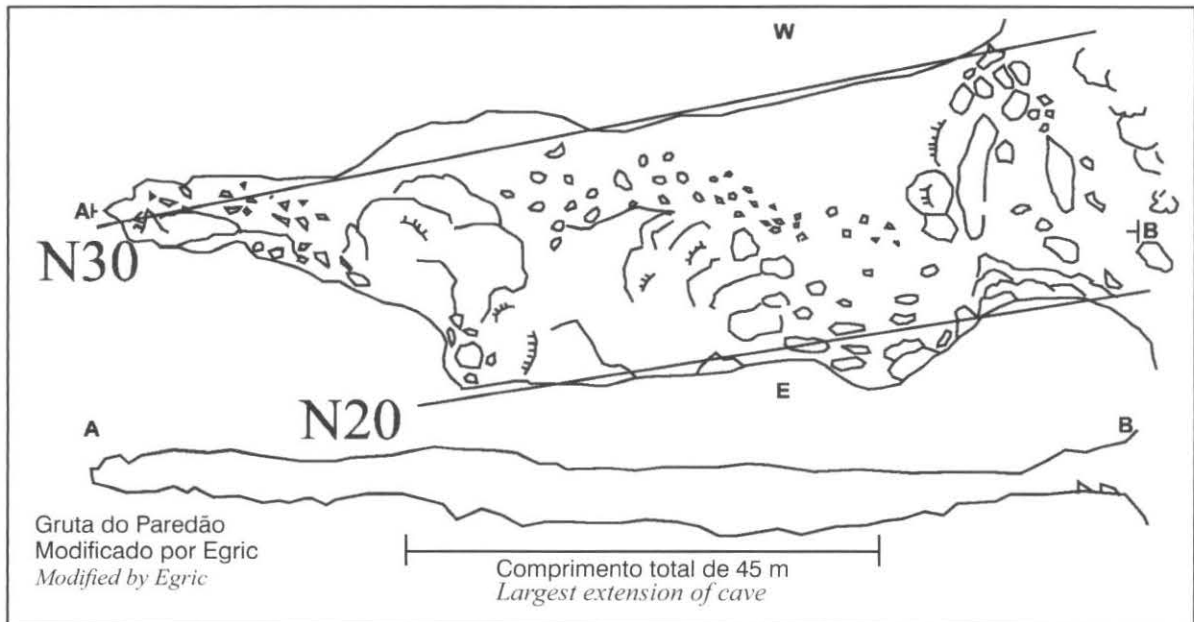


Figura 4: Caverna do Paredão e seu controle estrutural.

Figure 4: Paredão cave and structural control.

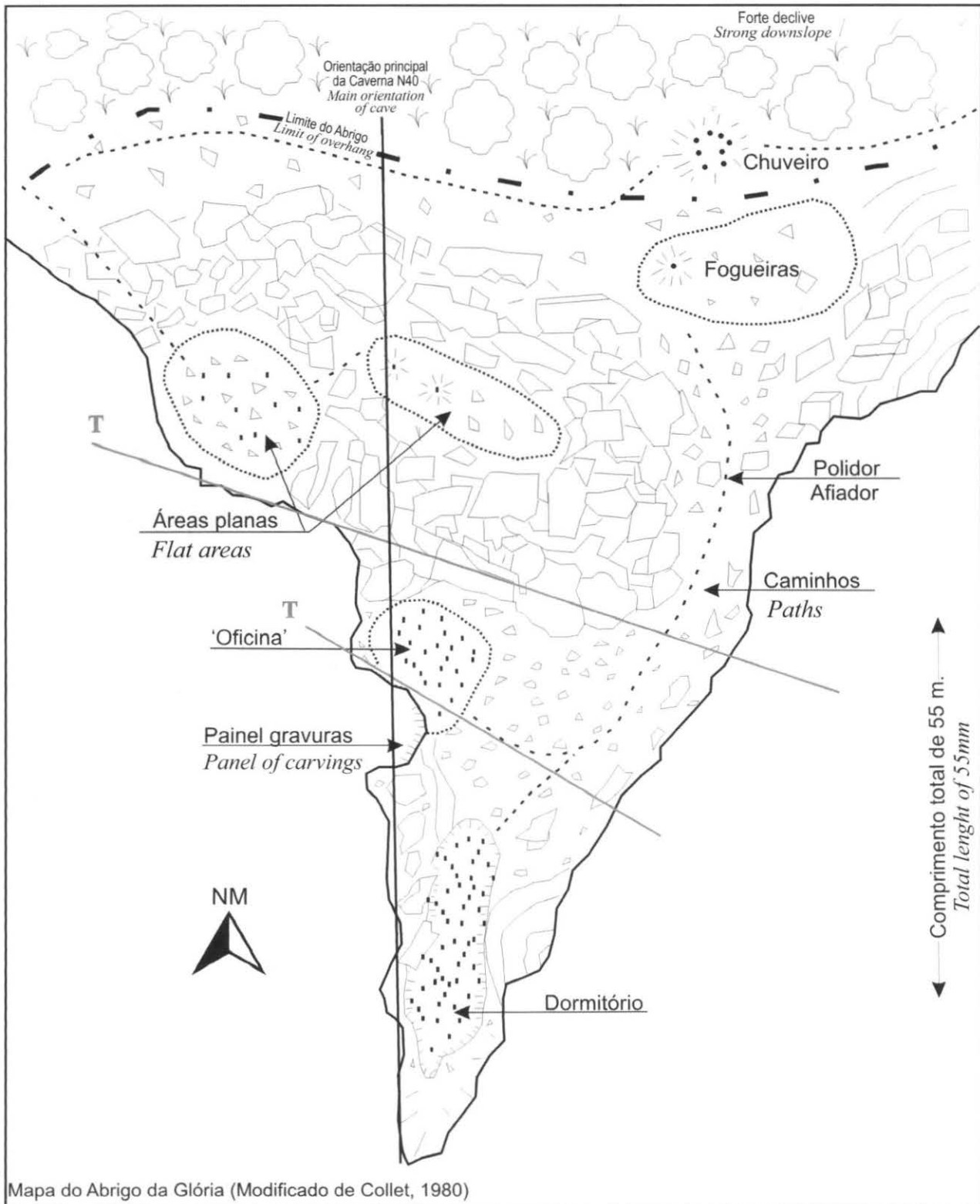


Figura 5: Caverna Abrigo da Glória e seu padrão estrutural (esboços modificados de COLLET, 1980).

Figure 5: Abrigo da Glória Cave and structural pattern (modified from COLLET, 1980).

IDADE <i>Age</i>	BACIA DO PARANÁ (Eventos Tectônicos) <i>Paraná Basin (tectonic events)</i>	EMBASAMENTO CRISTALINO (Eventos Tectônicos) <i>Crystalline base (Tectonic events)</i>	Cavidades Encontradas Possíveis idades <i>Cavities and possible ages</i>
Pleistoceno <i>Pleistocene</i>	Soerguimentos Compressão NW <i>Uplifts NW compression</i>	Soerguimento contínuo e lento <i>Slow, continuous uplifting</i>	Toca do Piping; Abrigo Santo Urbano ; Abrigo do Roncador Deformação da maioria das cavidades <i>deformation</i>
Plioceno <i>Pliocene</i>	Compressão NE/SW Falhamentos na Formação Itaqueri <i>NE/SW compression faults in Itaqueri Formation</i>	Falhas normais Deformação afetando as Bacias Terciárias <i>Normal faults; deformation affecting Tertiary basins</i>	Toca da Chuva Toca do Morcego Toca do Bauru Deformação da maioria das cavidades <i>Deformation of most cavities</i>
loceno		-----	
Oligoceno <i>Oligocene</i>	Reativação de falhas NE <i>Reactivation of NE faults</i>	Soerguimento <i>Uplifting</i>	Provável origem das cavernas com direção NE <i>Probable origin of caves with NE orientacion</i>
Eoceno <i>Eocene</i>	-----	Soerguimento <i>Uplifting</i>	Caverna do Fazendão; Caverna do Rochedo, Toca da Boa Vista; Caverna dos olhos; Abrigo da Glória; (Paredão?)
Paleoceno <i>Paleocene</i>	Extensão NNW/SSE <i>NNW/SSE extension</i>	-----	
Cretáceo Superior <i>Upper cretaceous</i>		Soerguimento Serra do Mar <i>Uplifting of Serra do Mar</i>	???
Cretáceo inferior <i>Lower Cretaceous</i>	Abertura continental <i>Separation of continents</i>	Soerguimento dômico <i>Dome uplifting</i>	

Tabela 3: Eventos tectônicos regionais e as possíveis idades das cavidades (Modificado de RIBEIRO, 2003).

Table 3: Regional tectonic events and possible age of cavities (Modified from Ribeiro, 2003)



Figura 6: Falha principal controlando o conduto principal da Toca do ninho, ângulo de visada de SW NE.

Figure 6: Main fault controlling main conduit of Toca do Ninho, taken from SW to NE

11. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos acesores da Sociedade Brasileira de Espeleologia-SBE pela revisão do manuscrito; ao Ângelo Spoladore pelas idéias do trabalho.

12. REFERÊNCIAS

(Vide pag. 29)

MORPHOSTRUCTURAL AND MORPHOTECTONIC CONTROL OF CAVES, SMALLER CAVITIES AND ROCK SHELTERS OF IPEÚNA AND ITIRAPINA SÃO PAULO STATE, BRAZIL

1. INTRODUCTION

In sandstone and laterite, the fracture pattern of joints and faults constitutes an important element in the formation of caves, especially in relation to the extension of the conduits, since this pattern constrains alterations and erosion, thus giving rise to unique features, although generally of short extension, such as those of the Tafoni type in granite rocks (TWIDALE et al, 1996; WRAY, 1997; TWIDALE, 2005). Rare exceptions include the cave of Bromélias, in Minas Gerais, which is quite large (CORREA NETO et al, 1994).

Sandstone caves are formed as the result of infiltration and superficial runoff of water near escarpments, combined with the percolation and infiltration of water into the planes of faults, joints and cross lamination, with the consequent removal and dissolution of material. Once caves are formed, such infiltration can lead to the formation of speleothems of calcium carbonate along the fracture planes (WERNICK, et al, 1976; VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994). After initial widening of a conduit, a sandstone cave develops by arenisation, followed by pipping, initially for a few centimeters, and later for meters. Lateral run off of the infiltrated water may be controlled by the level of permeability of the sandstone (intersection of cross laminations), since this intersection is at times marked by the presence of clay (which can explain the deposition of damp sand in some rooms) and eventually the breakdown of the roof (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994; RIBEIRO et al, 1994).

2. LOCATION OF AREA

The area studied is located near the cities of Rio Claro, São Pedro, Ipeúna, and Analândia, in the south central portion of the state of São Paulo (Fig. 1). The cavities are located in the slopes and escarpments of the cuestas of the Santana, Itaqueri and São Pedro mountain ranges (Figure 1).

3. REGIONAL GEOLOGY

The geology of the area where the cavities are located is represented basically, from bottom to top, by the three formations (Pirambóia, Botucatu and Serra Geral) of the São Bento Group. These reveal exclusively continental sedimentation in an arid or semi arid climate, terminated by wide spread basaltic vulcanism during the Mesozoic (Figure 1a); above the basalt one finds the conglomerates of the Itaqueri Formation of the Bauru Group, in which the smaller cavity of do Piping (near São Pedro) is found.

PIRAMBÓIA FORMATION

This formation consists of a package of thick, whitish, yellowish and reddish, fine to medium grained sandstone bodies with thin intercalated layers of siltite and clay with localized layers of conglomerates. Large and medium sized cross lamination is present (SCHOBENHAUS, 1984). Outcrops of this formation are found in the area around Rio Claro, Ipeuna, Corumbatai, Charqueada and São Pedro (Figure 1). The smaller cavities near Analândia and Corumbataí are located in the Pi

rambóia Formation.

BOTUCATU FORMATION

This formation was defined by CAMPOS (1889, apud SCHOBENHAUS, 1984). It consists of red to rosy bimodal sandstone of fine to medium granulometry. It is highly silicified, with medium to large sized cross lamination. These characteristics suggest eolic deposition in a desert environment, with the addition of fluvial sedimentation at the base (SCHNEIDER et al, 1974). On the basis of stratigraphic correlations, various authors consider the formation to date to the Jurassic (Figure 1). Most of the caves studied are located in this formation.

SERRA GERAL FORMATION

This formation, consisting of basalt and diabase rocks, was defined by WHITE (1908, apud SCHOBENHAUS, 1984). It consists of small pebbles to boulders, with vestiges of 'onion' layering and conchoid fractures, indicating a high degree of weathering. The rocks present are of very fine grained, with a texture which is not visible to the naked eye, often confused with sandstone. They contain subhedral quartz and calcedonia crystals. Radiation dating suggests an age oscillating between the Upper Jurassic and the Lower Cretaceous (CORDANI & VANDOROS, 1967). Few caves are formed in this basalt.

BAURU GROUP – ITAQUERI FORMATION

The Itaqueri Formation is constituted by the alternation of silicified sandstone banks and ferruginous crusts, lamitos and conglomerates, indicating a system of aluvial deltas formed in a high energy environment, probably in a semi-arid climate (ZAINÉ, 1996; SCHNEIDER, 1974). The smaller cavity of do Piping is found in these iron (ferruginous) crusts (RIBEIRO et al, 1999).

4. REGIONAL STRUCTURE

The Paraná Basin is marked by linear features in the form of an "X", running in three main directions: NW-SE, NE SW, and E W, with most of these constituting the continuation of reactivated faults located beneath the basin (ZALAN et al, 1987).

These linear features, known as the Ipeúna Piracicaba Lineament, are actually an array of normal faults in a preferential NW SE and NE SW direction, with isolated N-S and E-W faults (MORALES, 2005). The faults in this system play a major role in the control of drainage, especially along the Corumbataí River and some of its tributaries (Passo Cinco and Cabeça Rivers). They indicate recent tectonic activity, as proposed by MORALES (2005). At the intersections of the alignments, domes and hummocks (high points), such as the Pitanga Dome have formed (SOARES, 1974), and the reactivation of these faults has molded the shape of these domes (SOUZA & MORALES, 1999).

The region where the caves and smaller cavities are located was affected by both normal and strike slip faults of the Areado, Jacutinga and Ipeúna-Piracicaba

lineaments, and it has been described and discussed by various authors on the basis of both geomorphological evidence (PENTEADO, 1975; SOARES, 1991; FACIN CANI et al, 2001) and structural evidence (RIBEIRO et al, 1994; RICCOMINI et al, 1996; SOUZA, 1997; SOUZA AND MORALES, 1999; MORALES, 2005). The normal faults result from the period of the separation of the continents (= 126 Ma) (RICCOMINI et al, 1996; SOUZA & MORALES, 1999; MORALES, 2005), and are also linked to the reactivation of ancient NE shear zones in the Basin (SOARES, 1991). The strike slip faults are characteristic of neotectonic events, basically in a left handed regime, reflecting right – handed binarity, with the direction of greatest force to the NW (HASUI, 1990; SAADI, 1993; MORALES, 2005).

5. GEOLOGY OF CAVES

Most of the cavities are found in the sediments of the Botucatu Formation, except for the smaller cavity of do Piping, located in the Itaqueri Formation. Most of them reveal arched structures, indicative of a central fault plane with constant breakdown of blocks (RIBEIRO et al, 1994, 1997; MONTEIRO & RIBEIRO, 2001).

The caves of Fazendão, Paredão, and Abrigo da Glória are controlled by a pattern of Riedel fracturing, with the interaction of two or more faults interacting in a complex network of fractures, and each one giving rise to one of the conduits of the cave (RIBEIRO et al, 1994; MONTEIRO & RIBEIRO, 2001; RIBEIRO et al, 2005)

6. CAVE NAMES

The names of the cavities are generally those given at the time of the initial exploration. Hence, despite the names of Toca do Bauru, Abrigo do Rochedo and Abrigo da Glória, these cavities have more than 15 meters of horizontal development and are actually caves.

7. GEOMORPHOLOGY

The cavities are found on the slopes of the Cuestas, a landscape consisting a set of features characteristic of the relief accompanying the borders of peripheral depressions. In this area, the features consist of pediplains supported by basic massifs, still represented by inselbergs and flattened and rounded tops. The main cavities have rectilinear profiles and are located in the slopes and hanging escarpments (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994; RIBEIRO et al, 1994).

8. METHODOLOGY CARTOGRAPHY

Detailed mapping of the various cavities was conducted, using a central axis and open polygons, with branching indicating the narrower passages, although with some modifications. The method used is typical of that used by RODRIGUEZ & CAMPOS (2000). Later

mapping of details was based on previous maps for most of the cavities. The topographic survey involved the use of measuring tape, compass, and clinometer.

Previous mapping of the rock shelters was used, especially the work of COLLET (1980; 1982 a, b).

STRUCTURAL ANALYSIS

Structural analysis involved in situ recognition of faults, striations, and direction of movement; the system of modern structural analysis was used to identify the direction of cross bedding, filling of fractures, and preferential main passage development, as well as that of secondary tunnels, when possible.

The data obtained were plotted using Daisy 3 software (WISE et al, 1985; SALVINI et al, 1999) for the analysis of paleotension and then plotted in Schmidt Lambert stereograms, lower hemisphere and rose diagrams. The interaction of joints and faults made it possible to correlate them with Riedel shears in some of the caves, as proposed by MONTEIRO & RIBEIRO (1999).

Regional tectonic features were surveyed to establish a correlation with regional events. For this study, caves were defined as cavities with 15 m or more of horizontal development: Caverna do Fazendão, Caverna do Paredão, Abrigo da Glória, Toca do Bauru (Figures 2, 3 and 4). The smaller cavities had less than 15 m of development: Toca do Ninho and Toca do Morcego. The rock shelters had a horizontal development of 8 to 10 m, consisting of an open fissure without the development of passages. The rock shelters considered were the Abrigo do Roncador (Analândia SP) and the Abrigo Santo Urbano (Corumbataí SP).

9. RESULTS

SPELEOTHEMS AND JOINTS

In the caves in the area, there are numerous joints filled with speleothems, related to the percolation of fluids. Past work has described coralloid silica crusts, small stalactites, and small boxwork structures (VERÍSSIMO & SPOLADORE, 1994). In the Fazendão and Paredão caves, along the NS joints, stalactites of iron have formed (RIBEIRO et al, 2005). Color changes due to the presence of iron along the joints in the cave also occur in various directions (NS, NW and NE). Table 1 shows the preferential direction of some of the speleothems found in four of the cavities.

The caves and smaller cavities of the Itaqueri, Analândia, Ipeúna and São Pedro mountain ranges show marked structural and stratigraphic control, with preferential orientations to the NS, NE and NW (rarely from E W) (Table 2).

The cavities have faults, joints, and large discontinuities (fault planes without striation) with a north northeast orientation (N30); the main conduits of the caves run to the northwest (N280) and northeast (N30-50), while some of the smaller cavities have main conduits oriented to the west/northwest (N270-285). These directions are correlated with the major regional NE

alignments. The regional NE and NNE orientations are controlled by the NE lineaments which characterize reactivation of the Areado and Jacutinga fault underneath the Paraná Basin. The NW orientation found in the large caves and some of the smaller cavities is linked to the control of present day interplate manifestations and the control of primary structural stratigraphic planes (cross bedding and reactivation surface). Some caves in the São Pedro mountain range have extensions to the NW and EW along faults in these directions, which are pre controlled by zones of morphostructure weakness, in which the features of the landscape (cornice and face of the escarpment) condition zones of weakness favoring dissolution and the formation of caves – wash and gullying and the dissection (Ribeiro & Ribeiro, 2007).

The oldest maze caves have a strongly marked structural control. In this context, the Fazendão Cave (Figures 2 and 3) is unique, with the structural work already mapped and interpreted. The other caves are still being interpreted, although the drafts are shown in Figures 4 and 5.

The main corridor of the Fazendão Cave is controlled by a strike slip fault of a right handed nature, as already recognized by VERÍSSIMO & SPOLADORE (1994), with part of the whale room also controlled by this fault, as well as another further on, defining the right – handed binary of faults controlled by Riedel shearing. Many of the internal corridors and the “gostoso” passage follow a T-fracture (traction), synthetic X and R and antithetic R' of Riedel shearing (Figure 2). T fractures also condition the breakdown of boulders in the cave, which can be observed near the room of the Whale and the main corridor leading from the entrance.

The “Gruta do Paredão” (Figures 3 and 4), located in front of the cave do Fazendão, also arose along this same fault. Following it to the other side of the hill, one finds the smaller cavity “Toca do Ninho”, also controlled by the same discontinuity (Figure 6); this control seems to be a constant in the structural control of the area. The structural control also appears in the cave “Abrigo da Glória” (Figure 5).

The faults and joints seem to control and limit the fall of boulders (Figures 2, 5 and 6), and the existence of coralloid speleothems, which occur in large quantities near these fractures (exudation of silica and calcium carbonate). It is difficult to find stratigraphic control, which occurs only in isolated cases.

ASSOCIATION WITH REGIONAL TECTONICS

Table 2 shows that the cavities are subject to clear structural and stratigraphic control. This control coincides with the large structural alignments of NE, NS and NW orientations, largely due to reactivation of shear zones in the form of faults during the Phanerozoic.

In general, these alignments were active both in the Paraná Basin and outside it, and they were involved in the control of sedimentary units, of uplifting and subsidence of the alkaline magnetism, of structural high points, and of the accumulation of hydrocarbonates; they were intensively active at various times during the Phanerozoic, and have been reported by various au

thors (HASUL, 1990; RICCOMINI, 1995; RIBEIRO et al, 2005; RIBERIO et al, 2005; MORALES, 2005).
PROBABLE AGE

Table 3 shows the main regional tectonic events. Comparison with the results shown in Table 2 makes it possible to estimate the age of the cavities found in the area. It should be noted that the maze caves (Fazendão, Abrigo do Rochedo, Caverna dos Óculos) may be older, revealing phases of reactivation and dissolution (relaxation and opening of fractures) over the years. These reactivations were not always due to tectonic activity, but rather to infiltration and the percolation of fluids (especially the more recent activity). Neotectonic events merely control breakdown in rock shelters and the smaller cavities (never in caves).

10. CONCLUSIONS

It can be concluded that the cavities studied re

12. BIBLIOGRAPHY

- COLLET, G.C. (1980). **Sondagens no Abrigo da Glória**. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, Depto de arqueologia, 26 p.. (relatório).
- _____ (1982a). **Abrigo do Roncador, Analândia – SP**. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, Depto. de Arqueologia, 9 p.. (Relatório).
- _____ (1982b). **Abrigo do Santo Urbano, Corumbataí – SP**. Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE, Depto. de Arqueologia, 9 p.. (Relatório).
- CORRÊA-NETO, A.V.; CÔRREA, A.A.S. (1994). Uma introdução as cavernas em quartzito. **O Carste**, Belo Horizonte, 6(7):43-45.
- MONTEIRO, R.C. & RIBEIRO, L.F.B. (2001) Speleogenesis of sandstone caves: some considerations applied to the Serra do Itaqueri speleological province, São Paulo State, Brazil. **Proceedings - 13th International Congress of Speleology; 4th Speleological Congress of Latin America and the Caribbean; 26th Brazilian Congress of Speleology**, Brasília, July, pp. 93-94.
- MORALES, N. (2005). **Neotectônica em ambiente intraplaca: exemplos da região sudeste do Brasil**. Texto de livre docência em Geologia Estrutural e Geotectônica, UNESP, Rio Claro, 200 p..
- RIBEIRO, L.F.B.; HACKSPACHER, P.C.; RIBEIRO, M.C.S.; HADLER NETO, J.C.; S. TELLO, C.A.; IUNES, P.J.; FRANCO, A.B. & GODOY, D.F. (2005). Thermotectonic and fault dynamic analysis of Precambrian basement and tectonic constraints within the Parana basin. **Radiation Measurements**, 39(6):669-673.
- RIBEIRO, L.F.B. (2003). **Morfotectônica da região centro-leste do estado de São Paulo e áreas adjacentes de Minas Gerais: termocronologia & paleotensões**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 256 p..
- RIBEIRO, L.F.B.; VANDEROOST, F.J. & MONTEIRO, R.C.. (1994). O controle neotectônico das cavernas da Serra de Itaqueri. **Boletim de Resumos Expandidos - 38º Congresso Brasileiro de Geologia**, Balneário, 1: 397-400.

veal a marked structural control in their formation, with the caves oriented to the NE probably being older and showing development as a maze. These caves with a NE orientation also reveal filled joints, possibly related to reactivation throughout geologic time.

The more recent cavities are those with a preferential EW orientation, a fact proved by the smaller cavity of do Piping in São Pedro (given that the host rock is altered laterite from the Cretaceous Itaqueri Formation) and the rock shelters, in which the presence of boulders suggests breakdown.

11. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to acknowledge the assistance of the editors of the SBE for the review of the manuscript and Angelo Spoladore for his helpful suggestions.

- RIBEIRO, L.F.B.; MONTEIRO, R.C.; ROLDAN, A.A. & REATO, M.P. (1997). Caracterização estrutural e espeleogênese das cavernas de ipéuna e itaqueri da serra SP. **Atas... Simpósio de Geologia do Sudeste**, 5, Penedo/Itatiaia, pp.35-37.
- RIBEIRO, L.F.B.; MONTEIRO, R.C.; SIQUEIRA, M.C.; FERNANDES, R.E. (1999). Caverna em Laterita: Um estudo de caso na formação Itaqueri – São Pedro, SP. **Boletim de resumos - Simpósio de Geologia do Sudeste**, 6, pp.105.
- RODRÍGUEZ, J.C. & CAMPOS, M.C. (2000) **Manual de iniciación a la espeleología**. Espanha, Federación española de espeleología, 63 p..
- SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H; TOMMASI, E; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. **Anais... Congresso Brasileiro de Geologia**, 28, SBG, Porto Alegre, pp. 41–65.
- SALVINI, F.; BILLI, A. & WISE, D.U. (1999). Strike-slip fault-propagation cleavage in carbonate rocks: the Mattinata Fault Zone, Southern Apennines, Italy. **Journal of Structural Geology**, 21:1731-1749.
- SOARES, P.C. (1991). **Tectônica sin-sedimentar cíclica na Bacia do Paraná: controles**. Tese de professor Titular, UFPR, 148 p..
- SOARES, P.C. (1974). Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: classificação e gênese. **Anais... Congresso Brasileiro de Geologia**, 28, Porto Alegre, 4:107-121.
- SOUSA, M.O.L. (1997). **Caracterização estrutural do Domo de Pitanga**. Dissertação de Mestrado, IGCE, UNESP, Campus de Rio Claro, 116 p..
- SOUSA, M.O.L. & MORALES, N. (1999). Evolução Tectônica do alto estrutural de Pitanga – SP. **Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos – SNET**, 7, Lençóis, pp.40–42.
- TWIDALE, C.R. (2005). Lineage as a factor in landscape analysis. **Physical Geography**, 26(1):23-51.
- VERISSIMO, C.U.V. & SPOLADORE, A. 1994. Gruta do Fazendão (SP-170): considerações geológicas e genéticas. **Espeleo-Tema**, SBE, 17:7-7.
- WERNICK, E.; PASTORE, E.L. & PIRES NETO, A.F. (1973). Cavernas em arenito. **Notícia Geomorfológica**, 13(26):55-67.
- WISE D.U., FUNICIELLO R., PAROTTO M. & SALVINI F., (1985). Topographic lineament swarms: Clues to their origin from domain analysis of Italy. **Geological Society of America Bulletin**, U.S.A., 96:952-967.
- WRAY, R.A.L. (1997). A global review of solutional weathering forms on quartz sandstones. **Earth Sciences Reviews**, 42:137– 60.
- ZAINE, J.E. (1994). **Geologia da formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP, Rio Claro, 90 p..
- ZAINE, M.F. (1996). **Patrimônios naturais da região de Rio Claro, Ipéuna e Serra dos Padres – análise da compatibilidade com a ocupação atual e considerações sobre sua exploração e conservação**. Relatório final de pós-doutorado, CEAPLA, IGCE/UNESP, Rio claro, 83 p..
- ZALÁN, P.V.; Wolffs, S.; Conceição, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T. & ZANNOTO, O.A. (1987). Tectonic and sedimentation in the Paraná Basin. **Simpósio Sul Brasileiro**, 3, Curitiba, pp. 30–33.