

ANÁLISE GEOLÓGICA E ESTRUTURAL DAS FISSURAS E SUBSIDÊNCIAS NO CARSTE DE LAPÃO

Maia, P. H. P.¹; Dias Neto, B.² & Corrêa-Gomes, L. C.³

ABSTRACT

Geological and structural analysis of subsidence and fissures of the Lapão karts. The geological event that occurred at October 2008 on the city of Lapão caused fissures in streets, damaged six houses, caused cracks in the soil up to 20 cm wide and local subsidence of the ground up of 15 cm in rural areas. The municipality located in micro region Irecê is inserted in the watersheds of the rivers Verde and Jacaré, tributaries of the São Francisco river, which features a cover composed of rocks neoproterozoic carbonatic of the Una Group, located in the region of Irecê in the center of the São Francisco craton in Bahia state. The karstic aquifer of the region was developed in the Salitre Formation, consists predominantly of calcissiltites, dolomites and algae lamites slightly wavy on the base, grade to calcilitites, calcarenites, dolarenites and oolitic dolorudites on the top. This work aims to carry out an analysis of the phenomenon, especially in geological and structural aspects, define the possible causes, assess the extent of the problem and propose preventive measures which involve the use of underground water resources.

Keywords: Karst aquifer; Structural analysis; Lapão.

RESUMO

A análise geológica e estrutural das fissuras e subsidências do carste de Lapão. O evento geológico que ocorreu em Outubro de 2008 na cidade de Lapão causou rachaduras nas ruas, danificou seis casas, provocou fissuras no solo com até 20 cm de largura e subsidência localizada com até 15 cm em áreas rurais. O município localizado na micro-região de Irecê está inserido nas bacias hidrográficas dos rios Verde e Jacaré, afluentes do rio São Francisco, que apresenta uma cobertura composta por rochas carbonáticas neoproterozóicas do Grupo Una no centro do Cráton São Francisco na Bahia. O aquífero cárstico da região desenvolveu-se na Formação Salitre constituída predominantemente por calcissiltitos, dolomitos e lamitos algais levemente ondulados na base, gradando para calcilititos, calcarenitos, dolarenitos e dololutitos oolíticos no topo. Este trabalho tem por objetivo realizar uma análise sobre o fenômeno, especialmente nos aspectos geológico e estrutural, definir as possíveis causas, avaliar as dimensões do problema e propor medidas preventivas que envolvam a utilização dos recursos hídricos subterrâneos.

Palavras-Chave: Aquífero cárstico; Análise estrutural; Lapão.

¹ - MSc. em Geoquímica e Meio Ambiente e Especialista em Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Instituto de Gestão das Águas e Clima – INGÁ, Av. ACM, N° 357 – CEP: 41.825 – 000 – Salvador, BA. Fone/Fax (71) 3116-3255, E-mail: phpmaia@gmail.com

² - Especialista em Recursos Hídricos e Analista Técnico do Instituto de Gestão das Águas e Clima –INGÁ , Unidade Regional de Sr. Do Bonfim/BA - Rua 3 Quadra B S/N, Bonfim I - CEP: 48970-000 – Senhor do Bonfim, BA. Fone/Fax (74) 3541-5223, E-mail: bdiasneto@gmail.com

³ - Doutor em Geociências e Professor DCA-IFBA/IGEO-UFBA, Rua Barão de Geremoabo, s/n°, Campus Universitário de Ondina Salvador - Bahia - Brasil, CEP: 40.170-020, Fone/Fax (71) 3283 8601, E-mail: lccgomes@ufba.br

1. INTRODUÇÃO

O município de Lapão localiza-se a 492 km de Salvador na microrregião de Irecê, conhecida nacionalmente por suas potencialidades agrícolas com destaque para as culturas do feijão, tomate, cenoura, beterraba, pinha e cebola. O município está inserido nas bacias hidrográficas dos rios Verde e Jacaré, afluentes do rio São Francisco.

O evento geológico que ocorreu em outubro de 2008 causou, além do pânico da população, rachaduras em ruas e atingiu seis casas (**Figura 1**). O fenômeno provocou subsidência do terreno com 15 cm de rejeito e localmente fissuras no solo com até 20 cm de largura (**Figura 2**).



Figura 1 – Rachadura na rua em Lapão.



Figura 2 – Fissuras no solo na Fazenda Juá.

As subsidências e rachaduras ocorreram paulatinamente de leste para oeste, acompanhando as margens do riacho do Juá com uma pequena inflexão na direção NW-SE para a Fonte de Lapão (**Figura 3**).

O evento começou na Fazenda Sete Cascas em setembro de 2008, se propagou para a Fazenda Juá 15 dias depois e no dia 05/10/2008 afetou a área urbana no entorno da Fonte do Lapão. Em fevereiro de 2009 foram registradas duas novas subsidências na localidade de Tanquinho, 6 km a oeste da cidade.

As fissuras e subsidências são de pequenas proporções e ocorreram de forma relativamente lenta, exceto pela queda do matacão na borda da fonte, possivelmente o responsável pela onda de choque e pelo estrondo descrito pelos moradores.

Os problemas de colapso e subsidência em áreas cársticas podem ocorrer tanto sob condições naturais no processo de evolução morfológica, como podem ser acelerados por atividades antrópicas, ou seja, induzidos. Nesse sentido, é importante salientar que a diferença entre as causas naturais e as induzidas é a velocidade na deflagração dos efeitos resultantes dos processos de dissolução (Albrecht, 1996).

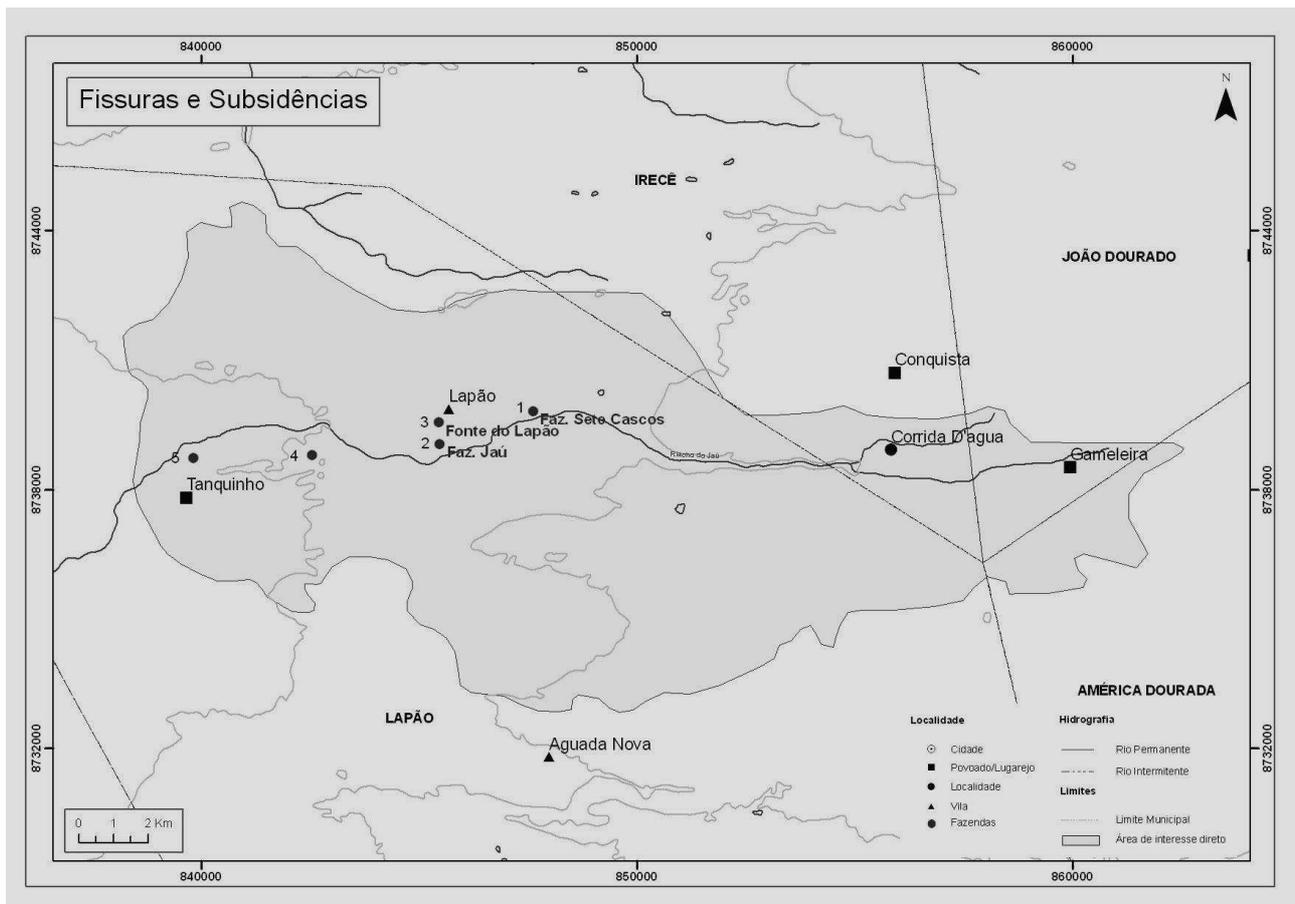


Figura 3- Mapa da Sub-bacia do riacho do Juá com a seqüência das subsidências

Além dos processos relacionados à evolução cárstica natural por sua natureza física, podem ocorrer nessas áreas acidentadas atribuídos: a extração mineral em seu entorno, a ocupação urbana, as atividades agrícolas, a captação de água subterrânea e lançamento de esgotos e águas servidas. Quando essas atividades são desenvolvidas sem critérios técnicos adequados e sem planejamento acabam deflagrando processos que induzem acidentes geológicos, tais como subsidências e colapsos de solo e de rocha.

A medida de precaução tomada pelo INGÁ, órgão gestor dos recursos hídricos, foi a suspensão de novas outorgas no platô de Irecê, até que fossem elucidadas as causas, extensão e os possíveis efeitos do fenômeno que está afetando esta importante região do Estado da Bahia.

Este trabalho tem por objetivo elaborar uma análise do problema, principalmente sob o aspecto geológico e estrutural, entender os controles e definir suas possíveis causas para subsidiar ações preventivas de gestão que envolva o uso dos recursos hídricos subterrâneos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Além de uma ampla pesquisa bibliográfica sobre o tema, incluindo trabalhos anteriores desenvolvidos na região, foi realizada a coleta de dados de poços tubulares, medidas dos níveis de água em poços, levantamento de informações climatológicas, medidas de atitudes das estruturas rúpteis e das fissuras no solo, levantamento das datas de explosões relativas à extração mineral e possíveis impactos, o registro espacial e temporal dos eventos com base nos relatos de moradores das áreas afetadas e por último, foi realizada uma tentativa sem êxito, de medir deformações na base dos tubos de revestimentos dos poços.

Para conhecer os controles estruturais e estratigráficos na evolução espacial do fenômeno, foi elaborada uma análise geológica e estrutural com a finalidade de entender como ocorreu o evento. Os dados de atitudes das fraturas, direção das fissuras do solo e direção das laminações das rochas, cerca de 60 medidas (**Tabelas 1 e 2**), foram tratadas e lançadas no *software* Stereonett®, para produzir os diagramas de roseta que representam as direções e frequências das fraturas e fissuras na área.

A partir da análise cinemática das estruturas rúpteis se definiu no elipsóide de tensão, as orientações dos esforços principais σ_1 , σ_2 e σ_3 , essenciais para identificar as orientações das fraturas abertas, cuja correlação com as demais estruturas observadas permitiu entender o papel que cada uma desempenhou nos eventos ocorridos.

Para investigar a atuação de possíveis impactos provocados por explosões foram correlacionadas as datas desses eventos com as do aparecimento das fissuras e subsidências, bem como avaliadas as distâncias dos locais das explosões e das ocorrências dos efeitos do fenômeno. Também foi observada a ocorrência de rachaduras e fissuras nos locais onde ocorreram as explosões.

Com a finalidade de avaliar a atuação de eventos neotectônicos, foram correlacionadas as direções das fraturas das rochas e as das fissuras no terreno com a direção de uma antiga geossutura Proterozóica associada a sismos na região, como também se procurou evidências de cisalhamento em fissuras no solo e na rocha.

Para avaliar se a superexploração de água subterrânea causou o evento, foi analisada a distribuição dos poços no entorno da cidade, realizadas medidas dos níveis da água em poços fora de operação, análise do estágio de exploração do aquífero e feita uma correlação temporal dos eventos ocorridos com as chuvas.

Tabela 1 – Atitude das fraturas

Nº de Ordem	Latitude	Longitude	Direção	Mergulho
1.	-11 23' 00, 14857"	-41 50' 02, 36810"	120	47 SE
2.	-11 23' 16, 06882"	-41 49' 58, 06969"	10	SUBVERT. P/ SE
3.	-11 23' 16, 06882"	-41 49' 58, 06969"	10	40 SE
4.	-11 23' 00, 14857"	-41 50' 02, 36810"	100	90
5.	-11 20' 57, 21774"	-41 48' 05, 27851"	100	
6.	-11 23' 16, 06882"	-41 49' 58, 06969"	120	70 SW
7.	-11 22' 49, 71230"	-41 47' 57, 14337"	120	90
8.	-11 22' 49, 71230"	-41 47' 57, 14337"	120	ZC
9.	-11 22' 53, 06955"	-41 50' 48, 39138"	120	90
10.	-11 23' 12, 43185"	-41 50' 26, 95638"	120	
11.	-11 21' 53, 35473"	-41 46' 50, 06498"	130	70 NE
12.	-11 23' 16, 06882"	-41 49' 58, 06969"	15	45 NW
13.	-11 23' 03, 71796"	-41 49' 03, 38682"	40	SUBVERT.
14.	-11 20' 57, 21774"	-41 48' 05, 27851"	40	
15.	-11 22' 49, 71230"	-41 47' 57, 14337"	40	20 SE
16.	-11 23' 01, 39117"	-41 49' 05, 58627"	50	SUBVERT.
17.	-11 21' 33, 86600"	-41 48' 35, 21800"	50	90
18.	-11 22' 49, 71230"	-41 47' 57, 14337"	50	90
19.	-11 23' 00, 14857"	-41 50' 02, 36810"	60	67 SE
20.	-11 23' 00, 14857"	-41 50' 02, 36810"	60	90
21.	-11 23' 00, 14857"	-41 50' 02, 36810"	60	45 SE
22.	-11 20' 57, 21774"	-41 48' 05, 27851"	60	
23.	-11 21' 33, 86600"	-41 48' 35, 21800"	60	90
24.	-11 20' 57, 21774"	-41 48' 05, 27851"	70	
25.	-11 20' 57, 21774"	-41 48' 05, 27851"	80	
26.	-11 23' 15, 55525"	-41 49' 57, 91791"	90	70 N
27.	-11 23' 15, 55525"	-41 49' 57, 91791"	90	80 S
28.	-11 21' 53, 35473"	-41 46' 50, 06498"	30	90
29.	-11 23' 16, 06882"	-41 49' 58, 06969"	120	35 NE
30.	-11 23' 07, 59512"	-41 49' 09, 38347"	120	90
31.	-11 23' 07, 59512"	-41 49' 09, 38347"	120	90
32.	-11 22' 53, 06955"	-41 50' 48, 39138"	130	90
33.	-11 21' 53, 35473"	-41 46' 50, 06498"	140	20 SW
34.	-11 20' 57, 21774"	-41 48' 05, 27851"	150	SUBVERT.
35.	-11 22' 53, 06955"	-41 50' 48, 39138"	160	20 NE
36.	-11 23' 07, 59512"	-41 49' 09, 38347"	40	90
37.	-11 23' 07, 59512"	-41 49' 09, 38347"	40	90
38.	-11 23' 07, 59512"	-41 49' 09, 38347"	40	90
39.	-11 20' 57, 21774"	-41 48' 05, 27851"	40	90
40.	-11 21' 53, 35473"	-41 46' 50, 06498"	40	SUBVERT.
41.	-11 22' 53, 06955"	-41 50' 48, 39138"	40	90
42.	-11 23' 12, 43185"	-41 50' 26, 95638"	40	55 SE
43.	-11 23' 12, 43185"	-41 50' 26, 95638"	40	50 NW
44.	-11 23' 16, 06882"	-41 49' 58, 06969"	50	SUBVERT. P/ SE
45.	-11 21' 53, 35473"	-41 46' 50, 06498"	50	90
46.	-11 22' 53, 06955"	-41 50' 48, 39138"	50	90
47.	-11 22' 53, 06955"	-41 50' 48, 39138"	50	90
48.	-11 23' 16, 06882"	-41 49' 58, 06969"	60	90
49.	-11 23' 12, 43185"	-41 50' 26, 95638"	60	
50.	-11 23' 01, 39117"	-41 49' 05, 58627"	70	SUBVERT.
51.	-11 20' 57, 21774"	-41 48' 05, 27851"	70	70 NW
52.	-11 23' 16,06882"	-41 49' 58, 06969"	80	75 NW
53.	-11 22' 53,06955"	-41 50' 48, 39138"	0	90
54.	-11 23' 12,43185"	-41 50' 26, 95638"	0	

Tabela 2 – Direção das fissuras no solo

Nº de Ordem	Latitude	Longitude	Direção
1.	-11 23' 01,39117"	-41 49' 05, 58627"	10
2.	-11 23' 15,66871"	-41 49' 56, 08117"	120
3.	-11 23' 01,39117"	-41 49' 05, 58627"	150
4.	-11 23' 01,39117"	-41 49' 05, 58627"	150
5.	-11 23' 15,55525"	-41 49' 57, 91791"	30
6.	-11 23' 15,55525"	-41 49' 57, 91791"	30
7.	-11 23' 04,76895"	-41 49' 08, 96374"	40
8.	-11 23' 15,66871"	-41 49' 56, 08117"	60
9.	-11 23' 15,55525"	-41 49' 57, 91791"	170
10.	-11 23' 15,66871"	-41 49' 56, 08117"	0
11.	-11 23' 04,76895"	-41 49' 08, 96374"	100
12.	-11 23' 04,76895"	-41 49' 08, 96374"	150
13.	-11 23' 15,66871"	-41 49' 56, 08117"	130
14.	-11 23' 15,55525"	-41 49' 57, 91791"	0

Os dados das cotas topográficas e dos níveis estáticos dos poços foram tratados com a finalidade de calcular a energia potencial da água e os respectivos valores foram lançados na base cartográfica para elaboração do mapa de equipotenciais e direção do fluxo da água subterrânea do entorno da cidade.

3. RESULTADOS

A região apresenta uma cobertura neoproterozóica constituída por rochas carbonáticas do Grupo Una, localizada no centro do cráton São Francisco (**Figura 4**).

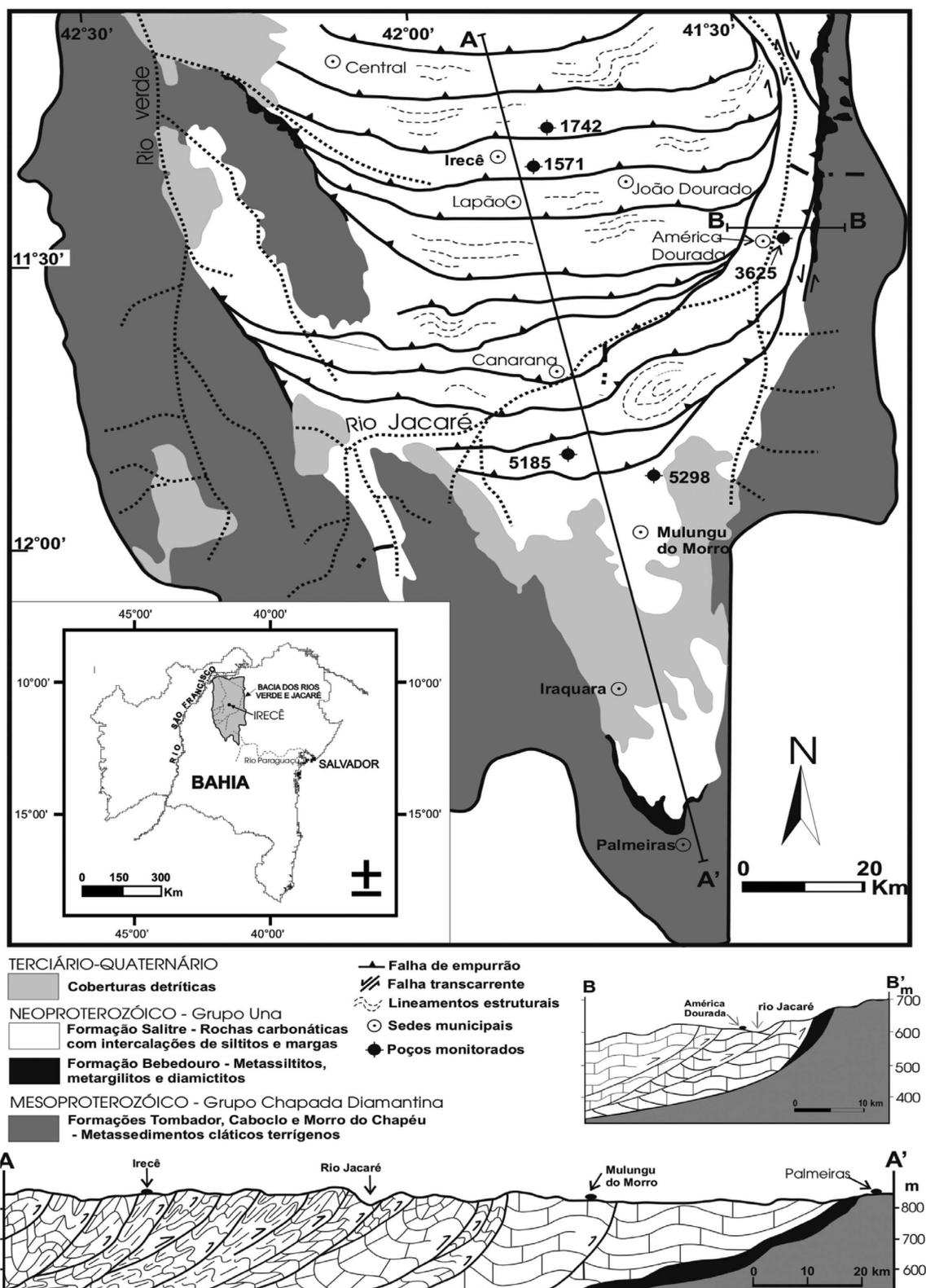


Figura 4 – Mapa geológico regional e de localização (Ramos, *et al.* 2007).

O aquífero cárstico da região foi desenvolvido na Formação Salitre, constituída predominantemente por calcissilitos, dolomitos e lamitos algais fracamente ondulados na base, gradando para calcilutitos, calcarenitos, dolarenitos e dololutitos oolíticos no topo (Souza *et al.*, 1993).

O domínio estrutural na porção central do aquífero na região de Irecê/Lapão é caracterizado pela presença de intensos cavalgamentos, com dobramentos e falhamentos de baixo ângulo associados e vergência para SSE (Ramos, *et al.* 2007).

As atitudes das estruturas rúpteis, bem como as direções das fissuras do solo foram tratadas e lançadas no *software* Stereonett® cujos diagramas de roseta representam as direções e frequências das estruturas observadas (**Figura 5 e Figura 6**).

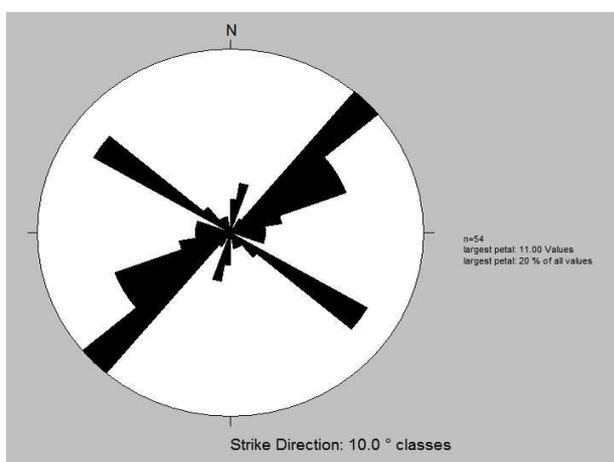


Figura 5 - Diagrama das fraturas das rochas.

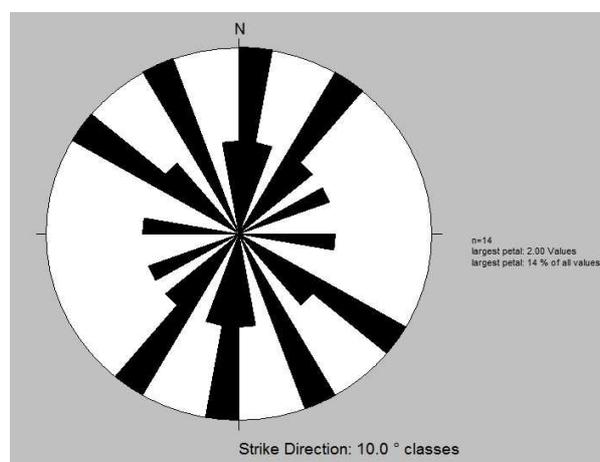


Figura 6 - Diagrama das fissuras do solo.

Estas rochas desenvolveram um sistema conjugado de fraturas (**Figura 7**) denotando os efeitos de uma compressão regional (*far-field stress*) orientada segundo a direção N-S (**Figura 8**) no qual o esforço principal, σ_1 no elipsóide de tensão encontra-se na bissetriz do ângulo agudo e, na bissetriz do ângulo obtuso encontra-se σ_3 . O σ_2 é ortogonal a ambos e posicionado na intercessão das demais fraturas. No caso das fraturas transcorrentes o σ_2 é vertical e os σ_1 e σ_3 horizontais.

As fraturas abertas do **tipo T** (*tension fractures*) se encontram a 30° da Zona Principal de Cisalhamento (ZPC), paralelas ao plano σ_1 e σ_2 na direção N-S. As fraturas **tipo A** (fraturas de alívio ou *release fractures*) de direção E-W localizam-se a 60° da ZPC, paralelas ao plano que contem σ_2 e σ_3 (**Figura 9**).

A partir da definição do elipsóide de tensão foram identificadas, no elipsóide de deformação rúptil, as fraturas abertas do **tipo T** na direção próxima a N-S, entre 0° e 10°; as do **tipo A**, próximas a direção E-W, entre 70° a 100° (**Figura 9**).

São as fraturas abertas nas direções N-S entre 0° e 10° e as E-W entre 70° e 100° que controlam as direções preferenciais das cavernas e demais estruturas de dissolução que ocorrem na área estudada.

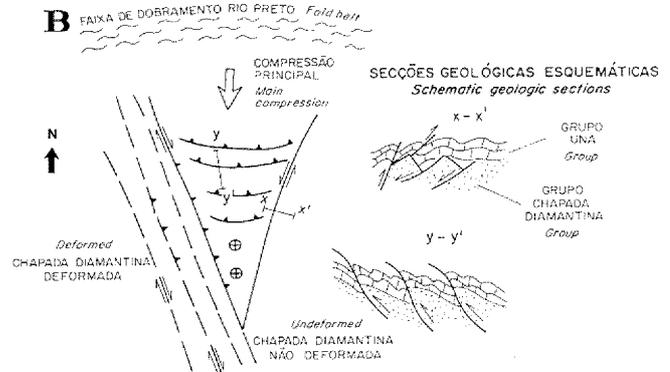
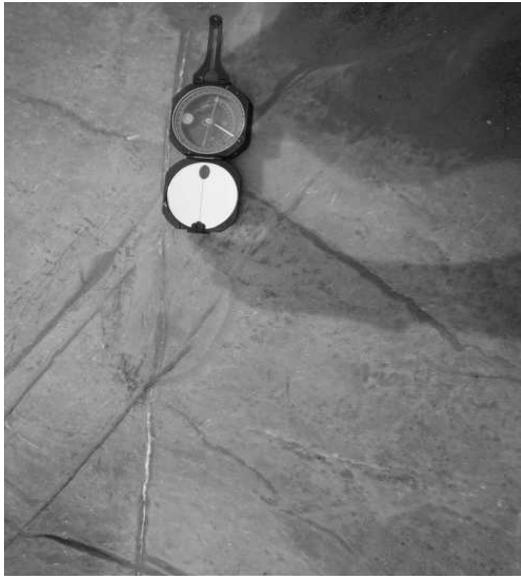


Figura 8 – Síntese da evolução estrutural do Grupo Una (Costa, 1989).

Figura 7 - Sistema de fraturas conjugadas.

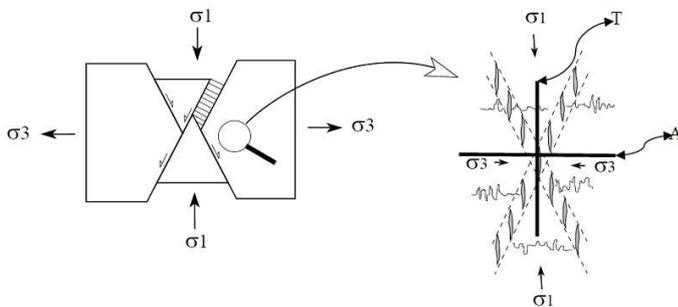


Figura 9 - Visão em planta do ambiente tectônico transcorrente. Orientação dos tensores principais, considerar σ_1 e σ_3 horizontais e σ_2 vertical, e as fraturas abertas (T e A).

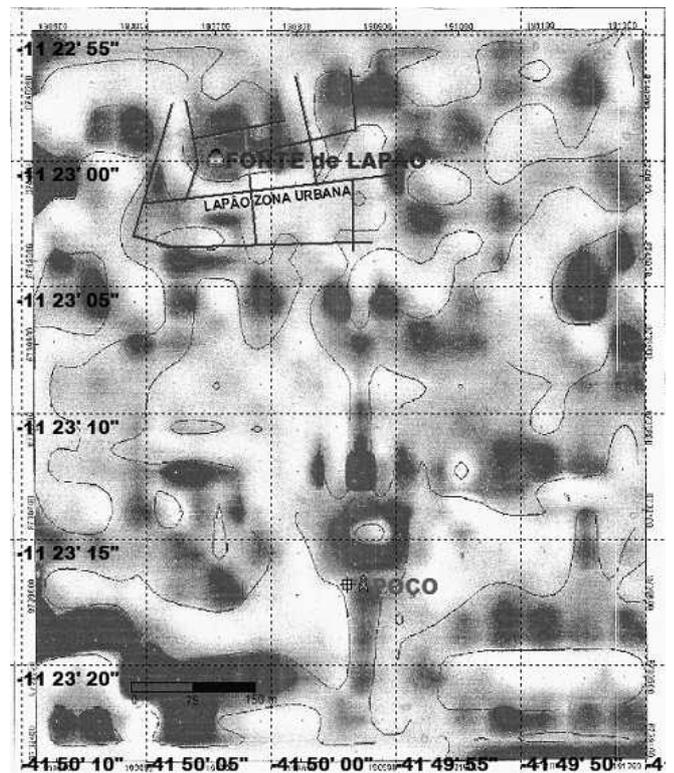


Figura 10 – Mapa da segunda derivada vertical gravimétrica da cidade de Lapão (Sampaio, & Santos, 2009).

Os alinhamentos NW-SE entre 120° e 130°, coincidentes com a direção da laminação das rochas, evidencia um controle estratigráfico na dissolução dos carbonatos.

Essas estruturas são confirmadas nos alinhamentos do mapa produzido com a aplicação do método gravimétrico, no qual as áreas escuras representam os condutos controlados pelas direções preferenciais supracitadas (**Figura 10**). A análise da imagem revela que as áreas localizadas no meio urbano, identificadas pela coloração mais escura, são as cavernas e condutos subterrâneos com maior risco de colapso e subsidência que abrange cerca de 40% da área coberta pelo levantamento geofísico.

As direções das fissuras do solo representadas nos diagramas (**Figura 6**) são concordantes as das fraturas das rochas (**Figura 5**) nas direções NW-SE, NE-SW e NNE-SSW, evidenciando um notável controle estrutural.

As cavernas e condutos são controlados pelas fraturas abertas **tipo T** na direção N-S, **tipo A** na direção E-W e na direção NW-SE, coincidente com a laminação da rocha.

O mapa das equipotenciais elaborado com poucos pontos de controle apresenta a direção do fluxo da água subterrânea para NE, apesar de estar coerente com a direção do fluxo regional, apresenta uma inversão no sentido, contrário a direção do riacho do Juá, sentido E-W. Esta inversão está relacionada à dinâmica da exploração de água na área avaliada (**Figura 11**).

O aquífero cárstico de Lapão, localizado na micro-região de Irecê, é livre e a superfície piezométrica acompanha a topografia regional com fluxo para a direção das calhas dos rios da região.

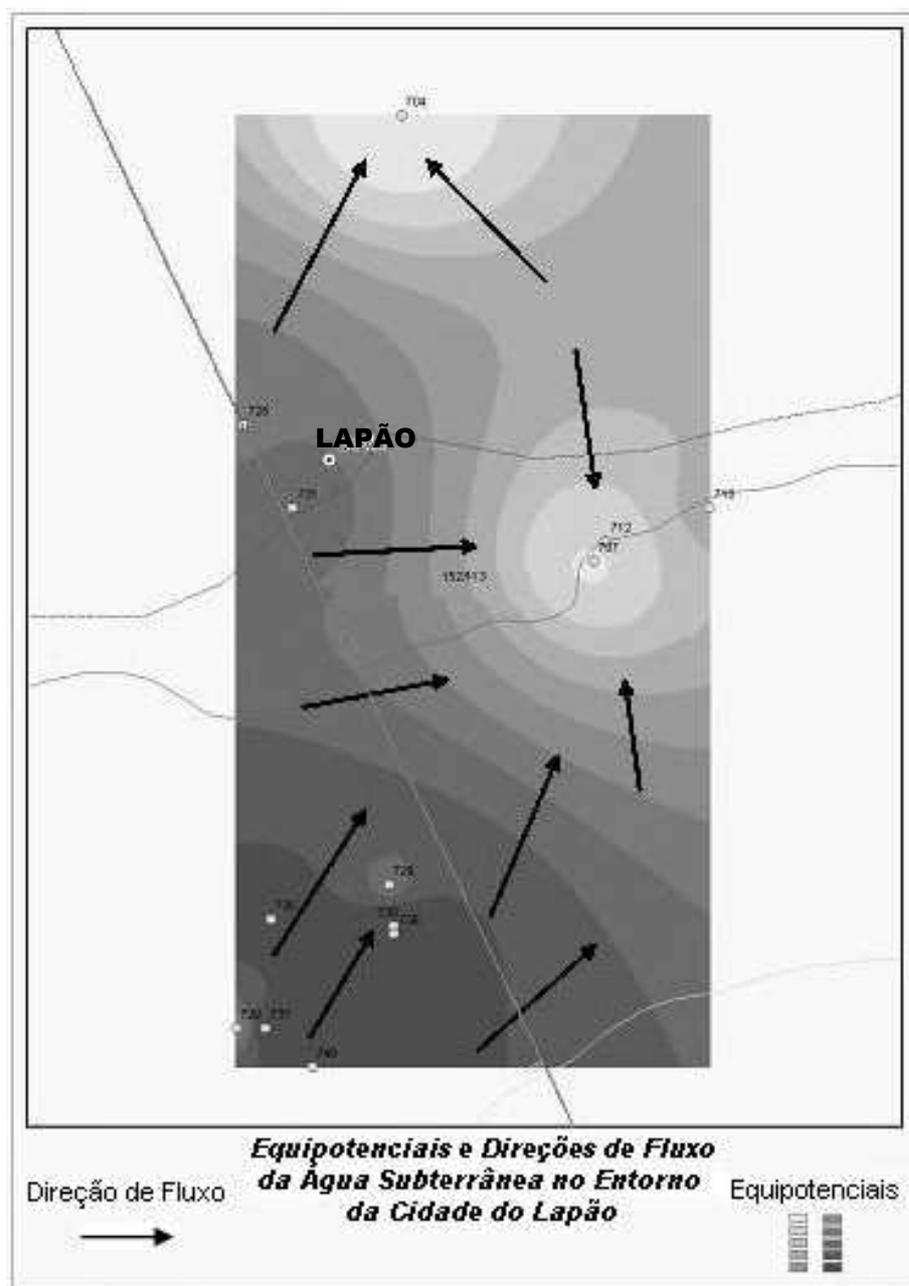


Figura 11 - Linhas equipotenciais e direção do fluxo da água subterrânea, mostrando uma inversão na direção do fluxo regional decorrente da dinâmica da exploração do aquífero.

A análise da precipitação pluviométrica obtidas das médias anuais das estações entre os anos de 1969 e 2003 revela um decréscimo na pluviosidade na região de Irecê nos últimos 35 anos. A linha de tendência também aponta para um decréscimo médio anual acumulado de 240 mm/ano, provavelmente decorrente das mudanças climáticas (**Figura 12**).

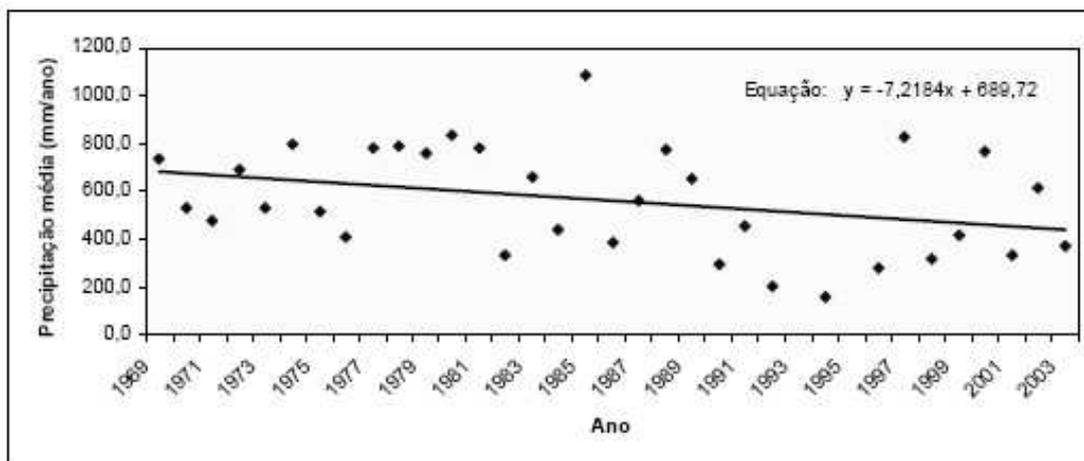


Figura 12 – Linha de tendência das médias anuais de precipitação pluviométrica.
 Fonte: Site da ANA/HidroWeb e SRH/BA. (Silva, 2005).

A análise dos níveis estáticos dos poços na região de 1969 a 2003 revela um aumento na profundidade dos níveis. A linha de tendência aponta para um aumento da profundidade média de 14 m para 24,5 m com um incremento de 0,32 m/ano (**Figura 13**).

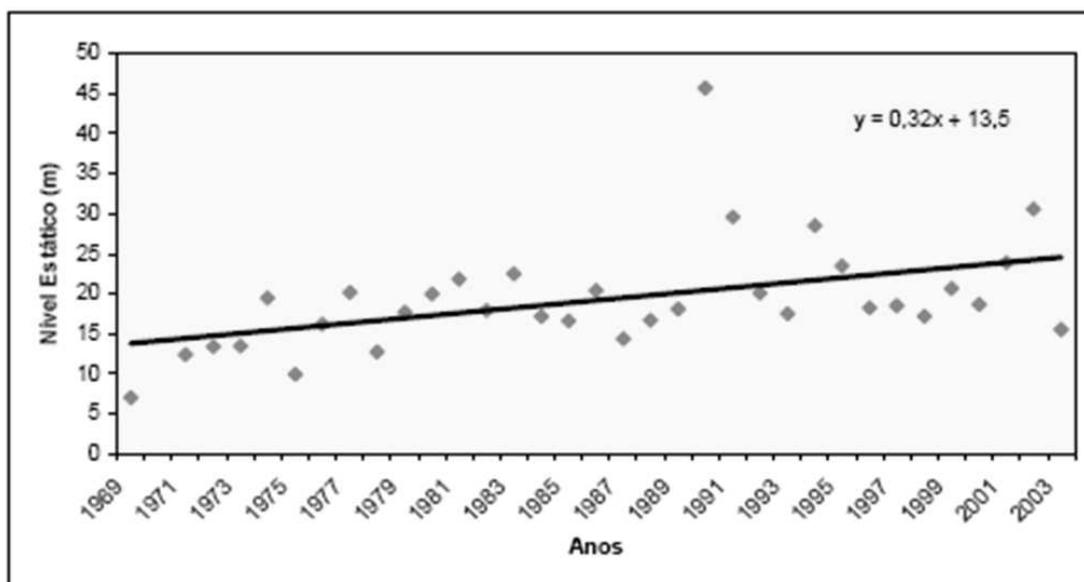


Figura 13 – Linha de tendência das médias anuais do nível estático.
 Fonte: Site da ANA/HidroWeb e SRH/BA. (Silva, 2005)

Análise das profundidades dos poços no período de 1969 a 2003 aponta um aumento de 72,5 m para 115 m com um incremento na linha de tendência de 1,2 m/ano (**Figura 14**).

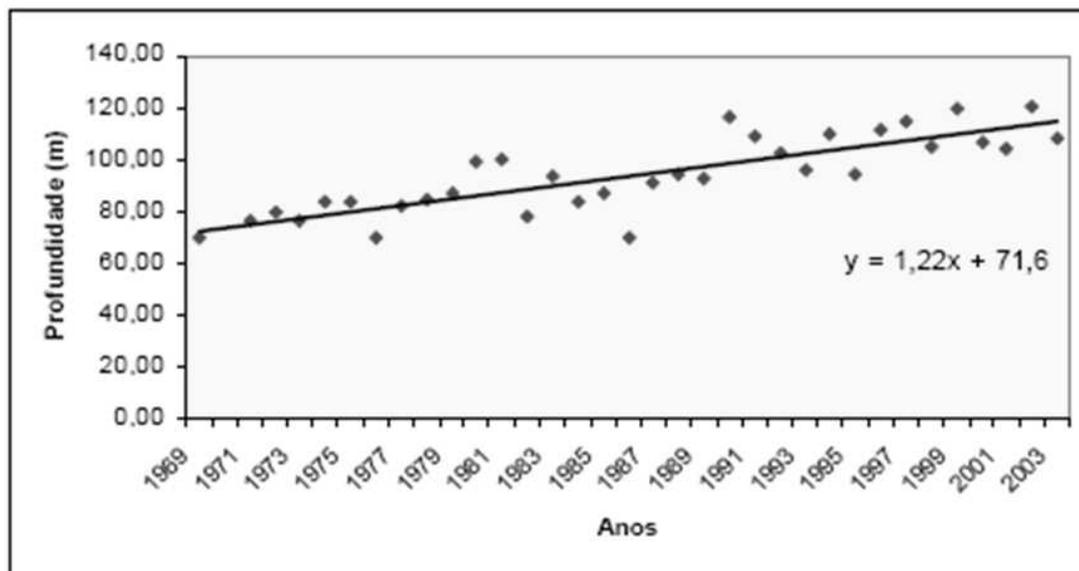


Figura 14 – Linha de tendência das médias anuais de profundidade dos poços.
 Fonte: Site da ANA/HidroWeb e SRH/BA. (Silva, 2005).

O monitoramento das precipitações regionais, profundidades dos níveis freáticos e das profundidades dos poços perfurados realizada entre os anos 1969 e 2003 revelaram que está ocorrendo um contínuo rebaixamento do nível da água no aquífero, cujo resultado provoca o aumento contínuo das profundidades dos poços, indícios de um regime de superexploração do aquífero.

4. DISCUSSÃO

Quando ocorre um evento dessa natureza, a primeira medida é tentar identificar as possíveis causas do fenômeno, isento de qualquer paradigma, e a partir dos dados disponíveis, construir uma hipótese coerente com os fatos observados.

A evolução das fissuras ocorreu de oeste para leste, acompanhando as margens do riacho do Juá, controlado pela direção das fraturas abertas de alívio, do **tipo A**, entre 70° e 100°. As cavernas e condutos, além de serem controlados pelas fraturas abertas, também apresentam um provável controle estratigráfico na direção da laminação das rochas, neste caso as dissoluções ocorreram em camadas com litotipos mais solúveis.

Inicialmente, foi aventado que as explosões provenientes das atividades de extração mineral teriam induzido o fenômeno. Porém, a distância das áreas mineradas, aproximadamente 7 km da

fonte, a falta de correlação entre as datas das últimas explosões com a do aparecimento das fissuras e subsidências e a ausência desses efeitos no entorno das áreas mineradas descartam esta hipótese.

As detonações de explosivos realizadas por empresa contratada para construção da rede de esgoto pela prefeitura, cerca de seis meses antes, também foram lembradas. Porém, a falta de correlação entre as datas recomenda descartar a ligação entre os dois eventos.

O relato da ocorrência de sismos no sertão baiano em 1904 e 1905 (Lima, 2000) suscitou a possibilidade do evento ter sido provocado por reativações dessas antigas estruturas do embasamento. O mapa aponta as relações entre as geossuturas do embasamento e o relato de sismos no Brasil (**Figura 15**), no qual uma antiga estrutura de direção NW-SE do embasamento no Cráton do São Francisco aparece associada a eventos sísmicos neotectônicos nas proximidades de Irecê e Lapão.

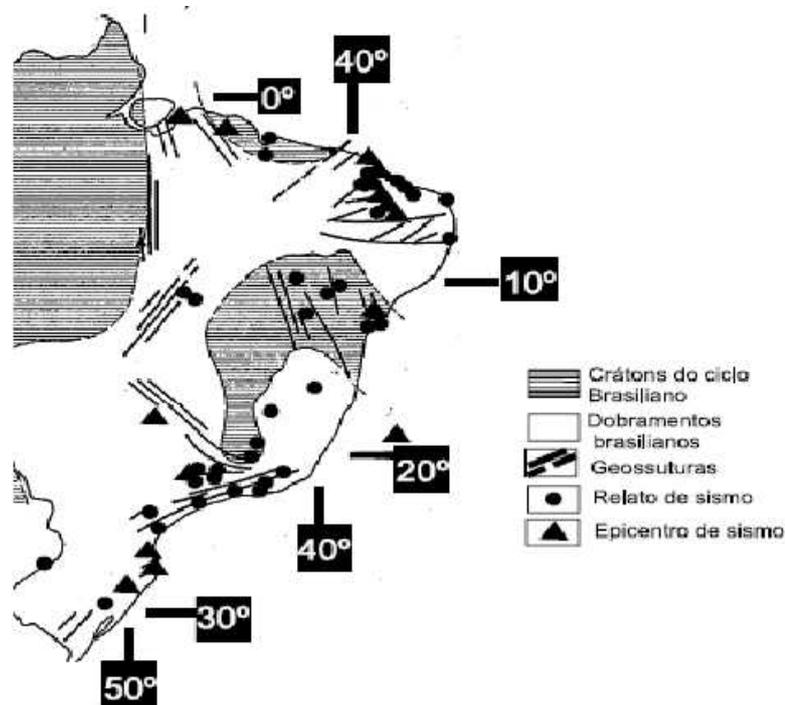


Figura 15 – Relações entre geossuturas proterozóicas e relato de sismos no Brasil (LIMA, 2000).

Apesar da inflexão na propagação do evento da Fazenda Juá para a Fonte do Lapão, essa possibilidade também foi descartada, porque a direção geral da propagação não coincide com a direção da geossutura. Também não foram detectadas marcas de cisalhamento nas fissuras do solo, tampouco deformações elipsoidais na base dos revestimentos de superfície dos poços mais antigos.

A superexploração de água subterrânea sempre foi considerada a principal indutora do fenômeno em todos os locais onde ocorreram problemas dessa natureza. Além do evento ter ocorrido no final do período seco, quando os níveis da água do aquífero estavam mais baixos (**Figura 16**), grandes volumes de água estavam sendo extraídos do poço localizado na Fazenda Juá,

a montante do fluxo subterrâneo. Apesar dessa suposição se apoiar nesses dois fatos, vale destacar que as oscilações nos níveis de água dos poços na região ocorrem naturalmente há várias décadas, sem que eventos como esse tenham sido registrados.

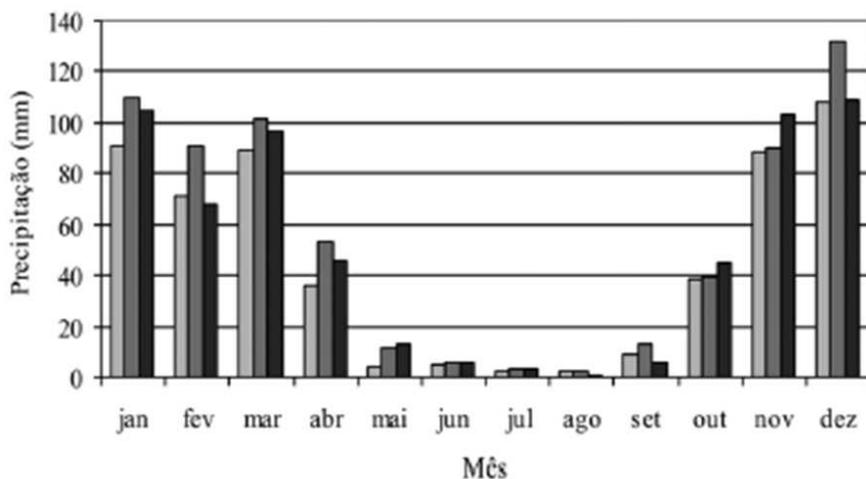


Figura 16 – Diagrama ilustrando os valores médios da precipitação mensal medida nos postos pluviométricos dos municípios de Cafarnaum, Canarana e Irecê; médias do período de 1961 a 1990. Fonte: INMET 1992, ANA 2004, (Ramos, *et al.* 2007).

Alguns autores como Prandini *et al.* (1987) e Junior & Filho (1998) defendem que o rebaixamento do nível d'água é o fator de maior peso na indução de subsidências e colapsos, a partir da evolução de cavidades formadas na porção saturada dos solos ou sedimentos que envolvem o calcário.

Porém, este não é o caso de Lapão que tem solos pouco espessos sobre um aquífero livre, onde o papel da água é muito mais de desagregação, dissolução das rochas através dos planos das fraturas abertas, do que um agente de sustentação geotécnica por meio da ocupação dos espaços vazios no interior do Carste. O agente indutor do problema não é a retirada da água e sim o aporte dela acidificada.

Na área do Lapão a água percola em subsuperfície contendo ácidos orgânicos muito agressivos e eficientes na dissolução dos carbonatos. A dissolução alarga as fraturas criando novas cavidades na rocha e dissolve as estruturas de sustentação dos condutos em subsuperfície e induz a ocorrência de fissuras e subsidências.

É importante salientar que após a entrada em operação da adutora de Mirorós para abastecer a cidade houve uma redução significativa da extração de água subterrânea na área urbana, em contrapartida, aumentou consideravelmente o descarte de águas ricas em substâncias orgânicas ácidas com forte poder de dissolução.

A notável potencialidade do poço localizado a montante da dolina na Fazenda Juá, onde dezenas de m³ de água eram extraídas diariamente com a recuperação imediata do nível dinâmico, se constitui em um forte indício da existência de um lago ou uma barragem subterrânea, construída naturalmente pelo processo de carstificação que originou a dolina, quando o material colapsado barrou o fluxo da água nos condutos.

Considerando que os níveis da água do poço e da Fonte do Lapão ficaram reduzidos de forma significativa após o evento, é possível que tenha ocorrido o rompimento de um barramento subterrâneo natural, produzindo os efeitos observados na superfície e a perda da água subterrânea pelo meio cárstico. Esta perda pode ter sido tanto por meio das fraturas verticais para níveis inferiores do aquífero, como por condutos laterais na direção do fluxo hidrodinâmico regional.

5. CONCLUSÕES

As direções das fraturas das rochas estudadas são concordantes com as das fissuras do solo, nas direções NW-SE, NE-SW e NNE-SSW, evidenciando notável controle estrutural dessas fendas.

As cavernas e condutos, além de serem controlados pelas fraturas abertas **tipo T**, na direção N-S e pelas do **tipo A**, na direção E-W, compatíveis com um esforço compressivo regional orientado N-S, também apresentam, secundariamente, um provável controle estratigráfico na direção NW-SE da laminação das rochas, neste caso as dissoluções ocorreram em camadas com litotipos mais solúveis.

A evolução das fissuras ocorreu de oeste para leste acompanhando as margens do riacho do Juá, controlado pela direção das fraturas de alívio **tipo A**, entre 70° e 100°, uma das principais fraturas abertas que juntamente com as do **tipo T**, de direção entre 0° e 10° e os alinhamentos entre 120° e 130° da direção da laminação das rochas, controlam a dissolução na área do Carste.

As cavernas e condutos subterrâneos identificadas no levantamento geofísico apresentam alinhamentos coincidentes com as direções das estruturas rúpteis abertas. A análise da imagem revela que diversas áreas localizadas no meio urbano, identificadas pela coloração mais escura, se constituem nos setores de maior risco de colapsos e subsidências.

O mais provável é que as fissuras e subsidências no município de Lapão estejam sendo produzidas pela evolução cárstica do terreno, susceptível de ser afetado por eventos dessa natureza, porém, fortemente induzida por lançamento de esgotos e águas servidas das atividades agrícolas sobre o aquífero. Este fenômeno ocorre principalmente no final do verão quando os ácidos estão mais concentrados na água pela falta de renovação pelas chuvas que recarregam o aquífero.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRECHT, K. J. Avaliação dos Problemas Geológico-Geotécnicos em Terrenos Cársticos - Base para o Mapeamento Geotécnico. São Paulo. Dissertação de Pós-Graduação em Geologia – USP, 1996.
- COSTA, J. B. S. Curso de Geologia Estrutural, CIEG, Morro do Chapéu, 4-15 de set. 1989. Salvador: CPRM, 1989.
- JUNIOR, N. I. & Filho, N. F. Processos de Dinâmica Superficial. *In*: Oliveira, A. M. dos S. e Brito, S. N. A. de. Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 131-152.
- LIMA, C. C. U: Neotectonismo na Costa do Sudeste e do Nordeste Brasileiro. Universidade de Feira de Santana. Revista de Ciência & Tecnologia. 15-pp. 91-102. Junho 2000.
- PRANDINI, F. L.; Ponçano, W. L.; Santos, A. M. *et al.* Cajamar - Carst e Urbanização: a Experiência Internacional (síntese Bibliográfica). *In*: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 5, (1987): São Paulo: ABGE, 1987. V. 2, p. 431-441.
- RAMOS, S. O.; Araújo, H. A. DE; Bastos Leal, L. R.; Luz, Joana A. G. Da & Dutton, A. R. Variação temporal do nível freático do aquífero cárstico de Irecê - Bahia: contribuição para uso e gestão das águas subterrâneas no semi-árido. Revista Brasileira de Geociências/SBGeo, vol. 37 (4-suplemento): p. 227-233, 2007.
- SAMPAIO, E.S. & SANTOS, E. S. M. Gravimetria Aplicada à Análise de Risco de Colapso Cárstico na Zona Urbana de Lapão, Bahia, Brasil. Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia, IGEO, Universidade Federal da Bahia-UFBA, Salvador, 2009.
- SILVA, H. N. Sistema de Informações Geográficas do Aquífero da Micro-Região de Irecê, Bahia: Subsídio para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Verde e Jacaré, IGEO, Universidade Federal da Bahia-UFBA, Salvador, 2005.
- SOUZA, Samuel L. de; Brito, Paulo C. R.; Silva, Raymundo Wilson S. Estratigrafia, sedimentologia e recursos minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia; integração e síntese por Augusto J. Pedreira. Salvador: CBPM, 1993, 24 p.: il., (Série Arquivos Abertos; 2)