

# ABATIMENTO DE SOLO NA CIDADE DE SETE LAGOAS, MINAS GERAIS

Adelbani Braz da Silva \*

\* Geól. formado pela Universidade Federal de Pernambuco.  
Doutor em Hidrogeologia pela Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências.  
Prof. do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

## 1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de um abatimento do solo na cidade de Sete Lagoas em Minas Gerais no dia 04 de março de 1988, motivou a realização de estudos geológicos e hidrogeológicos, com vista a identificação das causas do fenômeno, a avaliação dos riscos potenciais das áreas circunjacentes e para dotar o poder público de instrumentos capazes de orientar a urbanização na área afetada.

O fenômeno de colapso urbano ocorrido em Sete Lagoas, juntamente com os casos ocorridos em Cajamar e Mairinque em São Paulo, são os únicos registrados e divulgados intensamente pela imprensa no Brasil. Sabe-se, no entanto, que eventos como este, onde colapso no solo em área urbana estão associados à ocorrência de calcários com feições de dissolução, recobertos por materiais não controlados, são comuns em diversas regiões cársticas do Brasil e do mundo. Em áreas rurais, por sua vez, inúmeros casos de colapso do solo foram registrados em Minas Gerais na região de ocorrência de rochas do Grupo Bambuí. Estes casos entretanto, normalmente, são pouco divulgados pela imprensa nem estudados pelos órgãos competentes porque, na maioria das vezes, os danos materiais à população são pequenos.

Convém ressaltar que várias cidades no estado de Minas Gerais foram edificadas em áreas cársticas do Grupo Bambuí, algumas delas inclusive de grande porte e com elevado adensamento populacional. São os casos, por exemplo, de Montes Claros, Curvelo, Matozinhos, Arcos e outras. Nestas cidades poderão ocorrer fenômenos semelhantes ao da cidade de Sete Lagoas.

A seguir, são descritos os trabalhos realizados, discutidas as causas do fenômeno ocorrido e formuladas algumas recomendações.

## 2. EVOLUÇÃO DO ABATIMENTO

No dia 04 de março de 1988, por volta das 10 horas da manhã, houve um abatimento do solo e abriu-se um buraco circular de aproximadamente dois metros de diâmetro por três de profundidade, no cruzamento das ruas Tupiniquim e Nestor Foscoli num bairro próximo à área central da cidade de Sete Lagoas. Tal abatimento ocorreu instantaneamente sem ser precedido de estrondos nem tremores de terra, segundo informações dos moradores das redondezas.

A depressão foi evoluindo lentamente tanto em profundidade como em largura. Logo depois, quando o buraco já tinha aproximadamente 5 metros de profundidade, surgiu a água subterrânea que foi ascendendo até se estabilizar aos 4 metros de profundidade.

A partir daí a evolução da depressão foi acelerada, como também, o trincamento das ruas e das casas circunjacentes foi intensificado. Às 16 horas o diâmetro da depressão já era da ordem de 9 metros e o nível d'água permanecia à 4 metros. Neste momento foi decidido construir um enrocamento de pedras para

controlar o processo de progradação do abatimento.

As obras de construção do enrocamento para conter a evolução da depressão foram iniciadas às 20 horas e prolongou-se por toda a madrugada. Esta obra só foi concluída no dia seguinte por volta das 19 horas, tendo o abatimento atingido 22 metros de diâmetro com o nível da água estabilizada aos 4 metros de profundidade. Vale ressaltar que a construção do enrocamento foi bastante prejudicada pelas intensas chuvas ocorridas na madrugada e no dia seguinte.

Depois de estabilizado o abatimento iniciaram-se os trabalhos para identificar as causas do fenômeno ocorrido.

### 3. TRABALHOS REALIZADOS

As providências iniciais visaram a proteção da população residente nas proximidades e a identificação das causas do fenômeno. Nas primeiras horas foi providenciada a evacuação da área atingida e a mudança das pessoas residentes num raio de 100m do abatimento. Este trabalho contou com a participação da Prefeitura Municipal de Sete Lagoas, Polícia Militar, Defesa Civil, Cruz Vermelha e de voluntários.

Paralelamente foram colocadas marcas nas rachaduras dos calçamentos das ruas e das casas atingidas, para observar a evolução do abatimento e avaliar o desdobramento do processo. Assim, verificou-se que o processo no primeiro e segundo dia evoluiu aceleradamente.

A observação da evolução da depressão do solo permitiu identificar que, após o abatimento do subsolo, instalou-se um processo de erosão superficial acelerada do terreno, oriundo da ação da água subterrânea que desagregava a rocha e provocava os desabamentos dos taludes das margens, ocasionando uma progradação concêntrica do buraco. Para inibir este processo de erosão acelerada superficial foi providenciada a construção imediata de um enrocamento de pedras para revestir os taludes superficiais da depressão. Com isto foi possível estabilizar o processo de evolução do diâmetro do buraco, no dia seguinte ao início do abatimento do solo.

Posteriormente, iniciaram-se as investigações para ratificar a hipótese da existência de uma caverna no sub-solo daquele local, como também, avaliar as suas dimensões. Para isso foram realizadas sondagens e perfis geofísicos com resistímetro e sondagens mecânicas rotativas. Foram realizadas 5 sondagens elétricas verticais com arranjo geofísico Schlumberger, 8 perfis geofísicos com 560m de comprimento, com arranjo dipolo-dipolo. Os levantamentos geofísicos foram sensivelmente prejudicados pela condição de urbanização local. Verificaram-se interferências nos resultados, decorrentes de tubulação metálicas de água, das tubulações de esgotos, eletrificação de alta-tensão e outras.

Além disso, foram efetuadas 2 sondagens mecânicas verticais e 2 inclinadas e direcionadas para o centro da depressão, totalizando 318,50m perfurados,

Figura 1. A sondagem número 2 atravessou uma caverna aos 58,00m de profundidade com um vão livre de 4,5m. A sondagem número 3 atingiu o teto da caverna aos 51,77m de profundidade e atravessou um vão livre de 7,12m. Finalmente, as sondagens 1 e 4 não detectaram cavernas ou qualquer outra zona de dissolução.

Foram utilizadas fotografias aéreas, na escala de 1:25.000 e 1:60.000, e imagens TM do satélite Landsat, na escala 1:100.000, para identificar as feições morfoestruturais da região e procurar relacioná-las ao fenômeno do abatimento.

Assim, foi possível conhecer as características geológicas locais do terreno, como também, ratificar a existência da caverna no subsolo e avaliar a profundidade de sua ocorrência e suas dimensões. A partir destas informações foi possível conceber o modelo teórico da evolução do abatimento de Sete Lagoas.

#### 4. GEOLOGIA REGIONAL

A cidade de Sete Lagoas localiza-se em área de ocorrência de uma seqüência de rochas do Grupo Bambuí.

O Grupo Bambuí ocorre em grande extensão no Estado de Minas Gerais, abrangendo parte de vários municípios. Pode-se destacar os municípios de Arcos, Bambuí, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Sete Lagoas, Codisburgo, Três Marias, Montes Claros, Janaúba, Itacarambi, Manga e outros. Esta área de ocorrência do Grupo Bambuí segue para norte, rumo ao Estado da Bahia, até a região de Irecê-Iraquara.

As rochas do Grupo Bambuí são subdivididas em função de suas características geológicas e da posição estratigráfica em várias formações. A mais antiga é a Formação Vespasiano que ocorre sobre rochas graníticas e gnáissicas do embasamento cristalino. É constituída de calco-xistos (rocha carbonática) intensamente cataclasado, de espessura superior a 100m.

Sobre estas rochas aparece a Formação Sete Lagoas constituída de calcários puros, cinzentos à negros, calcário silicoso e algum mármore. A espessura desta formação pode atingir 200m. No topo dos calcários desta formação ocorrer estruturas de algas estromatolíticas, de cor negra, muito comum nos arredores da cidade de Sete Lagoas.

Acima desta formação ocorre a Formação de Santa Helena. Esta unidade tem espessura de cerca de 200m e constitui faixa de grande largura cujo limite oriental é uma linha sinuosa que passa imediatamente a oeste de Curvelo, dirige-se para Codisburgo e Paraopeba, muda de orientação quando aponta para Sete Lagoas (que é o limite meridional) e ruma em direção à Serra do Cipó. A formação é constituída essencialmente por folhelho siltico, com contribuição menor de calcário. A probabilidade de ocorrência de desabamento nesta formação é muito pequena.

Sobreposta a Formação Serra de Santa Helena tem-se a Formação Lagoa

do Jacaré que é formada por siltito cloritocálcífero contendo leito de calcário oolítico. Esta formação não aparece no município de Sete Lagoas.

A formação mais recente é a Três Marias, com siltitos, arenitos finos, contendo lentes de arcóseo. Esta formação aflora, em topografia mais elevada, na região da barragem de Três Marias.

## 5. GEOLOGIA LOCAL

Os dados das sondagens mecânicas, com amostragem contínua, efetuada durante as investigações geológicas, permitiram o conhecimento das características geológicas locais do sub-solo.

O perfil geológico típico obtido nos furos é o seguinte:

<i>Profundidade em metros</i>	<i>Litologia</i>
0 à 12	Solo vermelho argilo-arenoso, muito incoerente, plástico, com intercalações mais argilosas de coloração amarela.
12 à 15	Nível argiloso avermelhado com fragmentos de sílica, sugerindo a presença de veios de quartzo.
15 à 23	Rocha detrítica argilosa, sedosa, coloração esbranquecida à amarelada com poucos vertígios de estruturas geológicas pretéritas.
23 à 57	Rocha alterada, argilosa, amarelada, com níveis marrom escuro, rocha com aspecto sedoso e com vertígios de estruturas geológicas da rocha que deu origem. Provavelmente, trata-se do material decomposto do calco-xisto sotoposto.
57 à 84	Calco-xisto (rocha carbonática) com níveis de clorita esverdeada. Sua coloração é branca à marrom clara e apresenta calcita de recristalização nas fraturas. Ocorrem vários níveis de rocha fraturada e sinais de dissolução. A partir de 76m a rocha torna-se compacta e maciça sem sinais de quebraimento ou dissolução.

As investigações hidrogeológicas e as medições dos níveis d'água durante as sondagens mecânicas mostraram que existem 2 aquíferos naquela área. Um superior, livre, localizado acima da rocha decomposta argilosa e que tem a superfície freática situada a 5m de profundidade. O outro aquífero é confinado por

estas rochas argilosas e esculpido na rocha carbonática. O nível da superfície da água deste aquífero oscila muito, variando de 52m de profundidade à apenas 4m.

## 6. CAUSAS DO ABATIMENTO

O fenômeno que ocorreu em Sete Lagoas foi de origem natural e não identificou-se qualquer influência antrópica no processo do abatimento do solo. Não foi observada também qualquer relação entre os poços tubulares que abastecem a cidade de Sete Lagoas e a formação da depressão.

O modelo teórico da evolução do abatimento de Sete Lagoas mostra que inicialmente houve um desabamento do teto da rocha carbonática da caverna existente no subsolo ou um lixiviamento intenso das rochas decompostas sobrepostas à caverna. Tal lixiviamento teria sido acelerado, talvez, por uma percolação pontual de água que careou o material decomposto da rocha através de fraturas existentes no teto da caverna. Estes fatos geraram uma instabilidade das rochas argilosas sobrepostas à caverna e conseqüentemente originou pequenas rachaduras verticais. Este desabamento, por outro lado, pode ter sido estimulado pelo rebaixamento natural da água subterrânea devido a estiagem prolongada ocorrida no ano anterior. Figura 2.

A recarga do aquífero efetuada através das últimas chuvas ocorridas na região, ocasionou o enchimento de água da caverna e o aparecimento de nova pressão vertical sobre o teto desabado ou do vazio lixiviado e sem proteção de rocha sã. Com isto, foi iniciado um processo de erosão subterrânea do teto da caverna, processo este oriundo da circulação e da pressão da água subterrânea. A evolução desta erosão provocou mais desabamentos subterrâneos e a formação de uma chaminé ao longo de fraturas ou zonas de fraqueza pré-existentes na rocha. Através desta chaminé a água subterrânea confinada no sub-solo e na caverna chegou à superfície e iniciou um processo de dissolução superficial do solo e a progradação da depressão. A interrupção desta evolução superficial do buraco foi conseguida através da construção do enrocamento superficial com pedras de grande diâmetro.

Após o rebaixamento natural da água subterrânea confinada e com a acomodação, também natural, dos terrenos superficiais constituídos de rochas incoerentes, houve uma obstrução parcial da chaminé e a volta da separação, pré-existente, dos aquíferos livre e confinado.

Este quadro atual é instável e a retomada do processo de erosão e desabamento está condicionada ao comportamento dos níveis de água subterrânea dos aquíferos livre e confinado como também de instabilidade do teto da caverna subjacente.

## 7. CONCLUSÕES

Com os dados disponíveis no momento e com as observações efetuadas durante as investigações é possível tirar algumas conclusões.

O abatimento ocorrido em Sete Lagoas foi decorrente de um fenômeno natural, aparentemente sem influência antrópica.

A depressão atualmente está controlada e não há indícios de retomada de evolução do processo de erosão ou de desabamentos. No entanto, há uma instabilidade natural dos terrenos no subsolo que pode provocar novos desabamentos subterrâneos. Além disso, a circulação da água subterrânea do aquífero confinado também pode reiniciar os desabamentos das rochas alteradas ou decompostas e a erosão subterrânea.

Para definição precisa da extensão da caverna encontrada no subsolo são necessárias novas sondagens mecânicas na área.

A circulação de água subterrânea na caverna não pode ser interrompida com entulhos porque provocará a ascensão da água subterrânea e conseqüentemente ocorrerá erosão subterrânea ou desabamentos em vários outros locais nas vizinhanças da atual depressão.

As zonas de dissolução das rochas (cavernas, canais, etc.) são profundas (superiores a 50m). Este fato diminui a probabilidade de ocorrência de abatimento abrupto do solo em outros pontos da cidade de Sete Lagoas.

Grande parte da cidade de Sete Lagoas está edificada sobre um substrato de rocha carbonática com importantes zonas de dissolução subterrânea. Estas zonas de dissolução estão sujeitas a colapsos naturais semelhantes ao ocorrido recentemente.

A água subterrânea próxima ao local do abatimento do solo poderá ser aproveitada para o abastecimento público uma vez que o volume a ser extraído através de poços tubulares não interferirá no equilíbrio das rochas carbonáticas.

## 8. RECOMENDAÇÕES

A depressão existente e a caverna no subsolo não devem ser obstruídas, porque não é possível estabilizar seguramente o aterro subterrâneo nem deve ser interrompida a circulação natural das águas subterrâneas.

Deve-se isolar de imediato, no mínimo, a área afetada pela acomodação do solo e demolir as edificações ali existentes. Esta área atinge aproximadamente 40m de distância da depressão existente.

Aconselha-se a urbanizar o local e diminuir os taludes das margens do buraco. O enrocamento existente deve ser refeito com a gradação granulométrica do material fino até os blocos de pedras, para melhorar a proteção do talude contra a erosão.

É necessário a implantação de uma drenagem permanente das águas para evitar a reativação da erosão. Esta drenagem deverá rebaixar a água subterrânea e evitar as entradas de águas superficiais na depressão.

É importante o monitoramento permanente da água atingida para observar o comportamento da depressão e para detectar possíveis reativações dos processos naturais.

Antes da construção de qualquer edificação de grande porte na cidade de Sete Lagoas devem ser realizadas sondagens mecânicas para conhecimento das características geológicas locais do subsolo profundo.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ÁVILA, I.G.; GOUVEIA, M.I.F.; NAKAZAWA, V.A.; PONÇANO, W.L. e NARDELLI, E.S. – 1987 – Cajamar-carst e urbanização: área para reassentamento urbano. In: Anais. 5º Congr. Bras. de Geol. de Engenharia. São Paulo.
- LISZKOWSKI, J. – 1983 – Sinkholes and natural subsidence from karst areas in Poland, their distribution and genesis. In: Symposium sinkholes and subsidence. Hannover.
- LLADÓ, N.L. – 1970 – Fundamentos de hidrogeologia carstica. Madrid. Editorial Blume. 269 p.
- NAKAZAWA, V.A.; PRADINI, F.L.; ÁVILA, I.G.; PONÇANO, W.L.; BRAGA, A.C.; BOTTURA, J.A. & SANTORO, E. – 1987 – Cajamar-Carst e urbanização: investigação e monitoramento. In: Anais 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo.
- PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; ÁVILA, I.G.; OLIVEIRA, A.M. e SANTOS, A.R. – 1987 – Cajamar-Carst e urbanização: zoneamento de risco. In: Anais 5º Congr. Bras. de Geol. da Engenharia. São Paulo.
- PRANDINI, L.L. e PONÇANO, W.L. – 1987 – Cajamar-Carst e urbanização: a experiência internacional (síntese bibliográfica) In: Anais 5º Congr. Bras. de Geol. de Engenharia. São Paulo.
- SILVA, A.B. – 1984 – Análise morfoestrutural, hidrológica e hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jaíba, norte de Minas Gerais. Inédito. Tese de Doutorado IG-USP. São Paulo.
- SILVA, A.B.; MOREIRA, C.V.R.; CESAR, F.M. e AULER, A.S. – 1988 – Estudos da dinâmica dos recursos hídricos da região cárstica dos municípios de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo e Matozinhos. Inédito. Relatório Técnico Final CETEC – PLAMBEL, Belo Horizonte – MG.



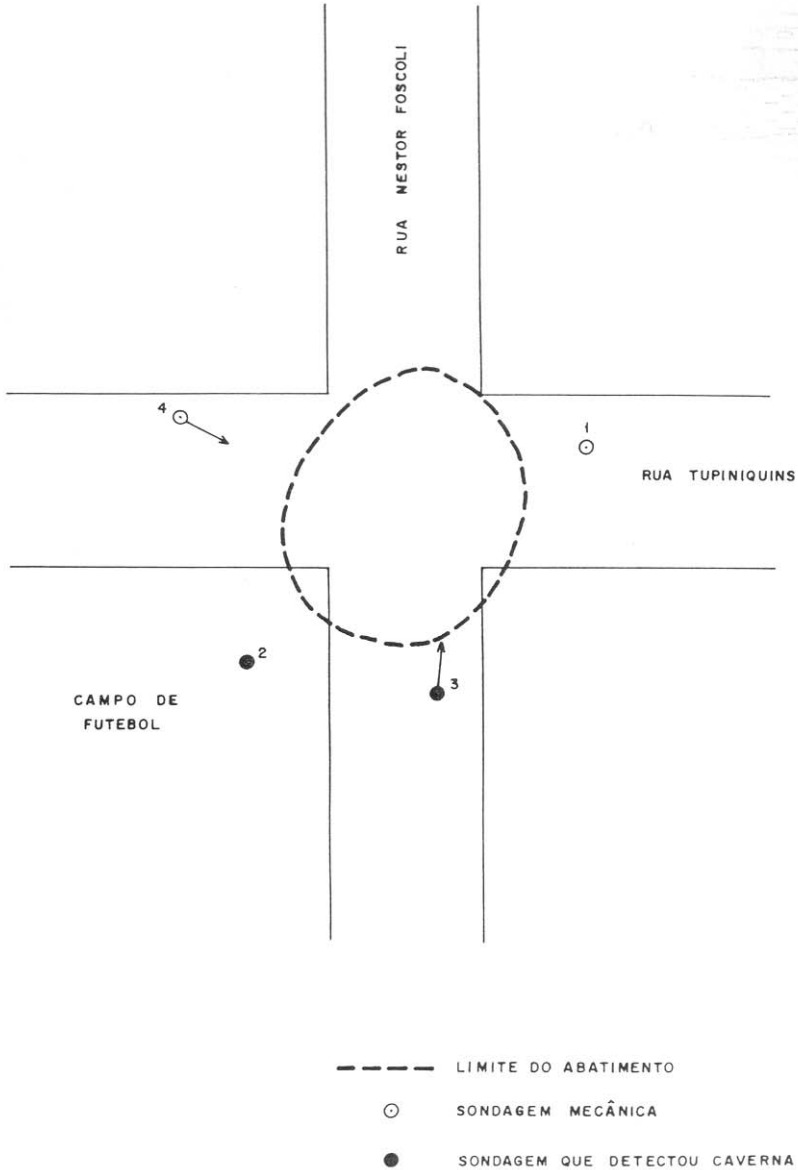


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS MECÂNICAS E DA ZONA DE ABATIMENTO

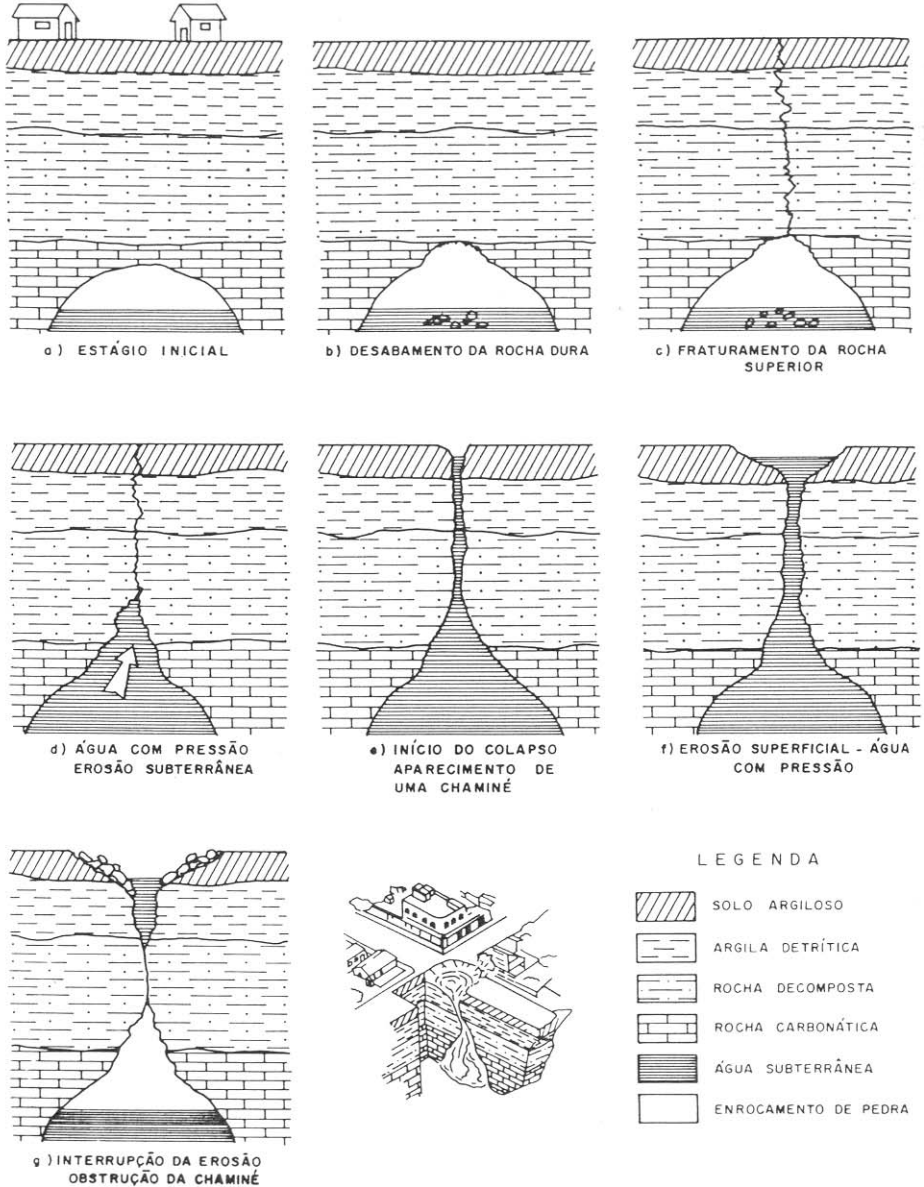


FIGURA 2 - MODELO TEÓRICO DA EVOLUÇÃO DO ABATIMENTO