



HÁ *50 anos* GERANDO E DISSEMINANDO
O CONHECIMENTO GEOCIENTÍFICO
PARA O BEM COMUM



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



***Apresentação para a Comissão Externa - Afundamento do Solo Em Bairros de Maceió/AL
Câmara dos Deputados – Brasília/DF***

**“ESTUDOS SOBRE A INSTABILIDADE
DO TERRENO NOS BAIRROS PINHEIRO, MUTANGE E BEBEDOURO, MACEIÓ (AL)”**



Serviço Geológico do Brasil / CPRM

THALES DE QUEIROZ SAMPAIO

Geólogo, Pesquisador em Geociências

07/11/2019



**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM**



Serviços Geológicos são Instituições de Estado



ESTUDOS SOBRE A INSTABILIDADE DO TERRENO NOS BAIRROS PINHEIRO, MUTANGE E BEBEDOURO, MACEIÓ (AL)



**Serviço Geológico do Brasil
CPRM**

TEMÁTICA

- 1. BREVE HISTÓRICO**
- 2. PREMISSE INICIAL E HIPÓTESES
CONSIDERADAS**
- 3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA ,
RESULTADOS E ANÁLISE DAS HIPÓTESES**
- 4. CONCLUSÕES**



Breve Histórico

- Chuvas 2018;
- Sismo 2,4 – Escala Richter;
- Deformações Rúpteis (quebramentos)



Premissa Inicial e Hipóteses Consideradas

1. Características geotécnicas dos solos da região e forma de ocupação do bairro;

Premissa Inicial

Existe uma movimentação do terreno no bairro Pinheiro!

Como ela é? E o que provoca este movimento?

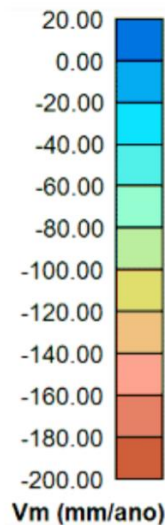
3. Feições geológicas estruturais ativas na região (falhas, fraturas);
4. Extração de água subterrânea.



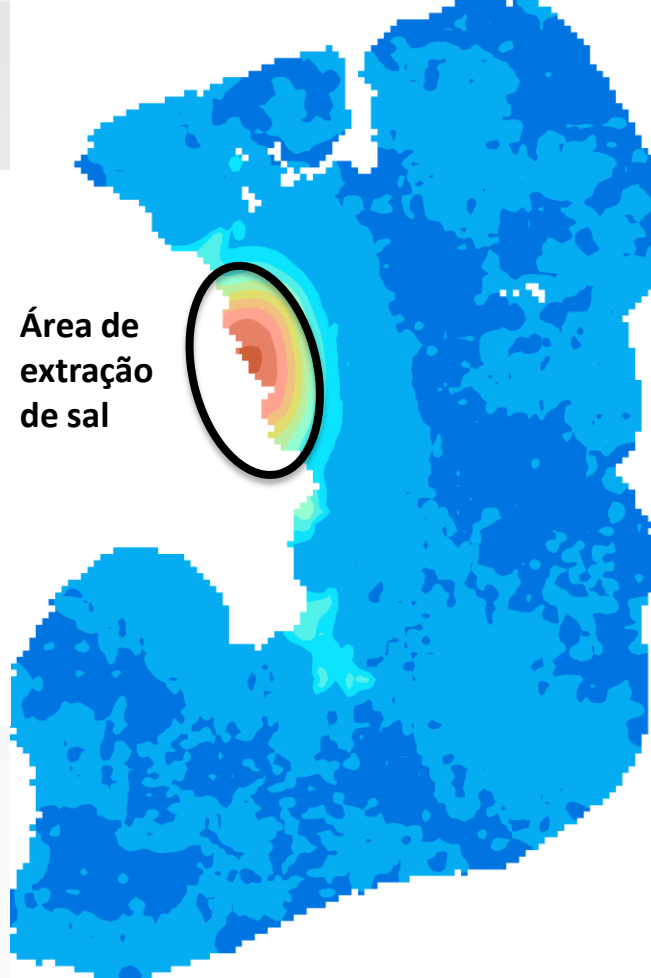
ATIVIDADES E ESTUDOS REALIZADOS		CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA / APOIO	HIPÓTESES			
			1	2	3	4
Levantamento de Dados, Bibliografia e Organização de SIG						
Levantamento Geomorfológico e de Uso e Ocupação do Solo						
Levantamento Interferométrico						
Levantamento Topográfico						
Levantamento Cartográfico (Imageamento do Terreno)						
Estudos Geotécnicos	Mapa de Feições de Instabilidade					
	Sondagens SPT (20 m)					
Levantamento Geológico e Estrutural						
Levantamentos Geofísicos	GPR (6 metros)					
	Eletorresistividade (150 m)					
	Batimetria (10 m)					
	Gravimetria (1.200 m)					
	Audiomagnetotelúrico (1.500 m)					
	Sismologia					
Análise Hidrogeológica e Monitoramentos de Aquíferos						
Análise de Perfis Estratigráficos e Sísmicos						
Análise dos Sonares						
Modelagem 3D						



CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA



Área de
extração
de sal



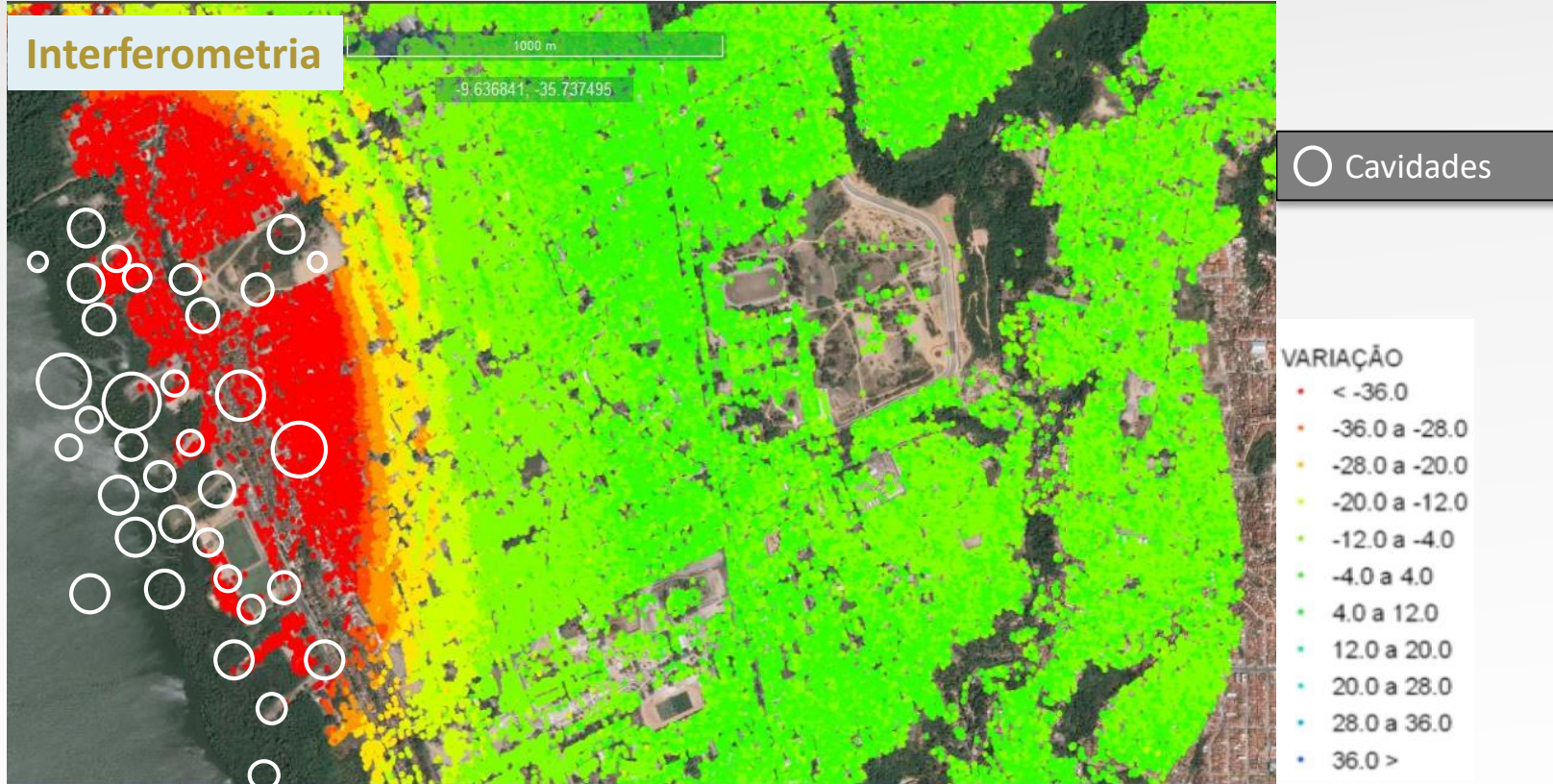
A interferometria foi um marco no projeto!

Permitiu delimitar a real dimensão do problema e caracterizar o que estava ocorrendo no Pinheiro de forma muito consistente!



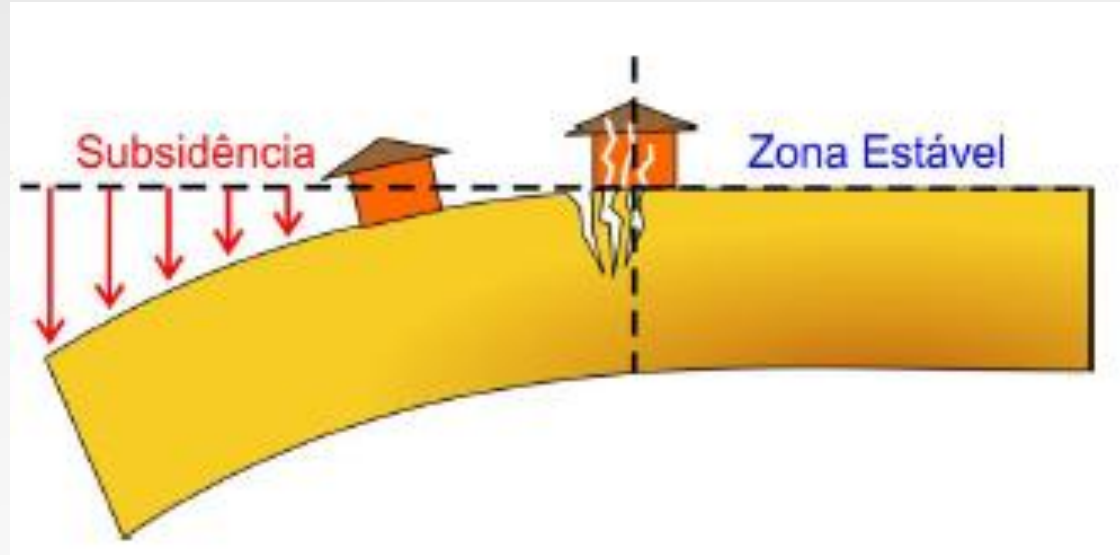
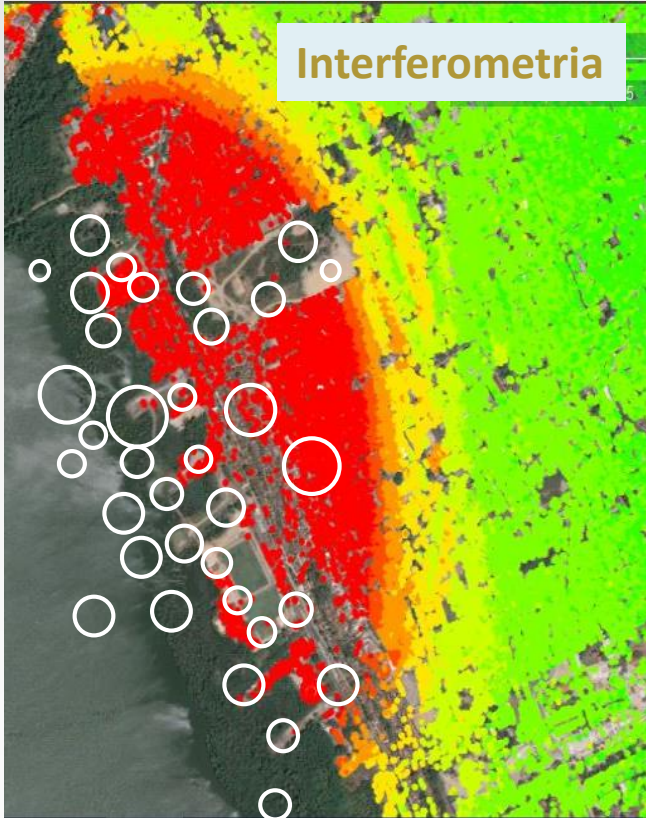
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

Caracterização do Problema



Caracterização do Problema

Interferometria



Existe uma área instável (vermelha), em processo contínuo de subsidência (desde 2011, ou antes) ao lado de uma área estável (verde). Na transição entre as duas áreas (amarelo) ocorrem os quebramentos.



SÍNTESE

As rachaduras e quebramentos que ocorrem no terreno do bairro Pinheiro estão sendo provocados pelo processo de subsidência!

Então, a pergunta é: o que causa a subsidência?

RESULTADOS E ANÁLISE DAS HIPÓTESES

Na análise das hipóteses 2 e 3 foram utilizados os resultados dos levantamentos geofísicos (gravimetria, audiomagnetotelúrico, eletrorresistividade e sismologia), a análise dos sonares das cavidades de extração de sal-gema, os levantamentos geológicos de superfície, as análises estratigráficas dos perfis dos poços e a modelagem 3D que integrou todos os resultados obtidos.

Hipótese 2 - Presença de vazios (cavidades, cavernas) no solo e subsolo da região, decorrente de causas naturais ou de ações antrópicas

Hipótese 3 - Feições geológicas estruturais ativas na região (falhas, fraturas)



Levantamentos Geofísicos

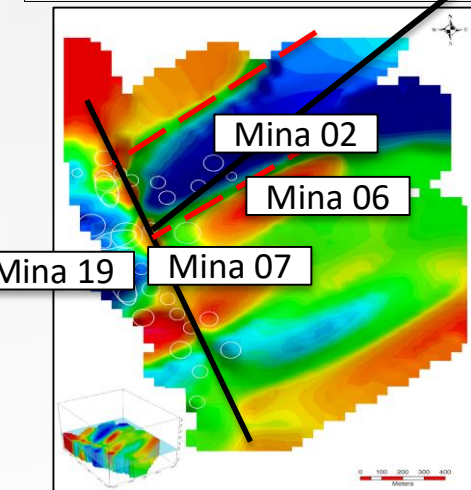
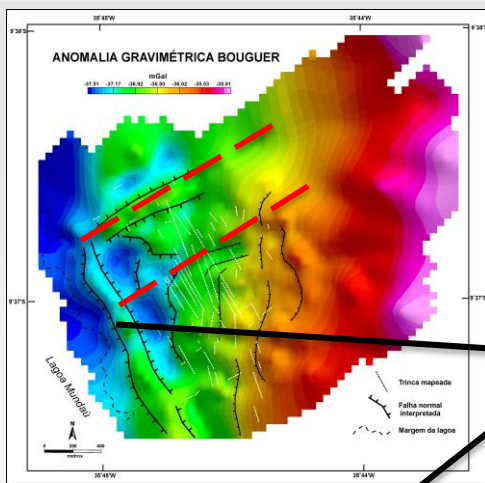
Não há evidências da existência de falha (s) lístrica na região do bairro Pinheiro;

Entretanto, é evidente a existência de uma importante zona de abatimento de direção NNW-SSE (denominada pela CPRM de Falha do Mutange), paralela a maioria das trincas mapeadas no bairro Pinheiro;

Também foram detectadas estruturas de direção NE-SW e N-S;

Não há evidências de anomalias de deficiência de massa que indiquem a existência de grandes vazios em profundidades rasas (até 300 metros) que favoreçam a formação de estruturas de abatimento ou dolinas;

A exploração de sal está localizada numa zona de estruturas preexistentes.

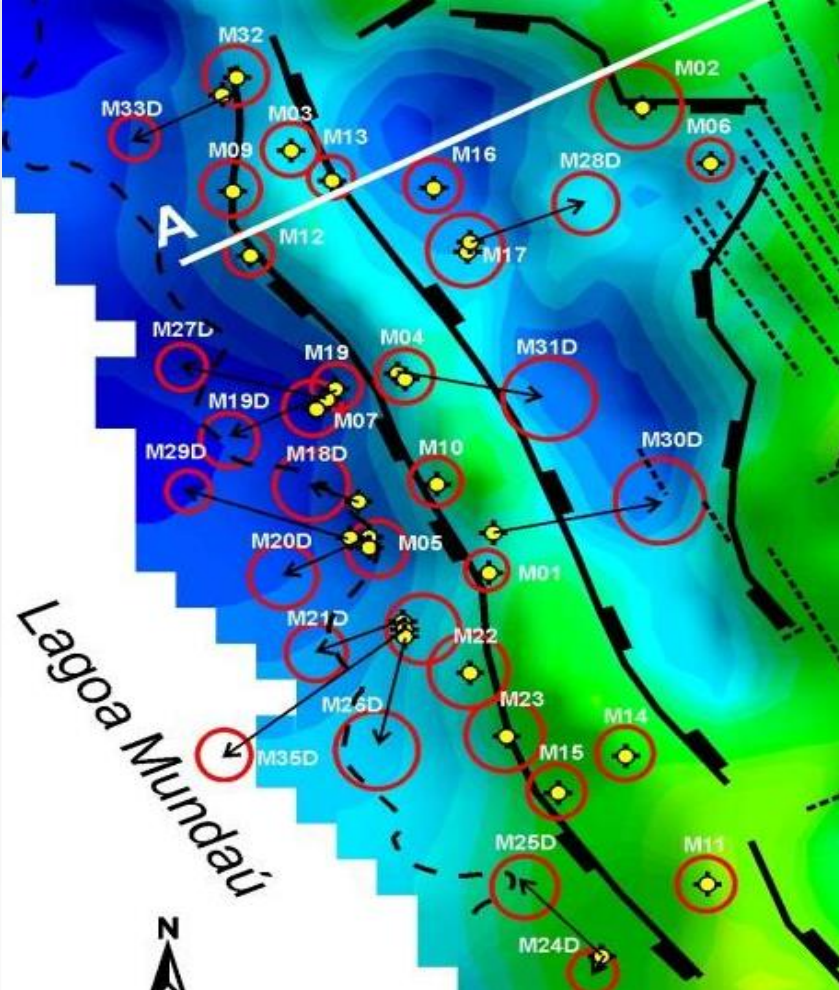


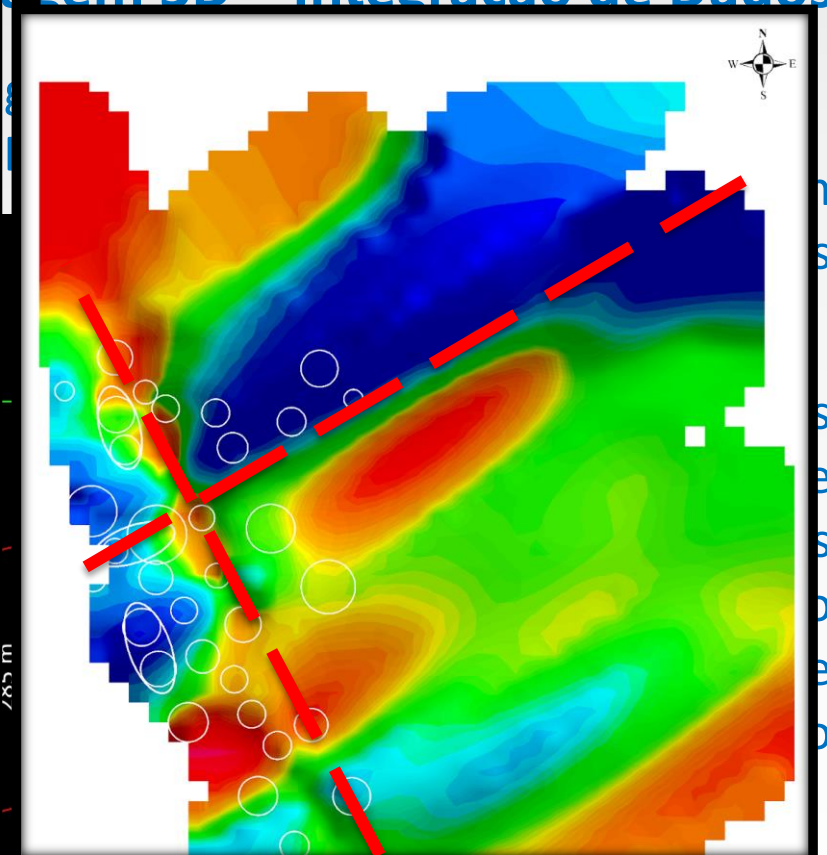
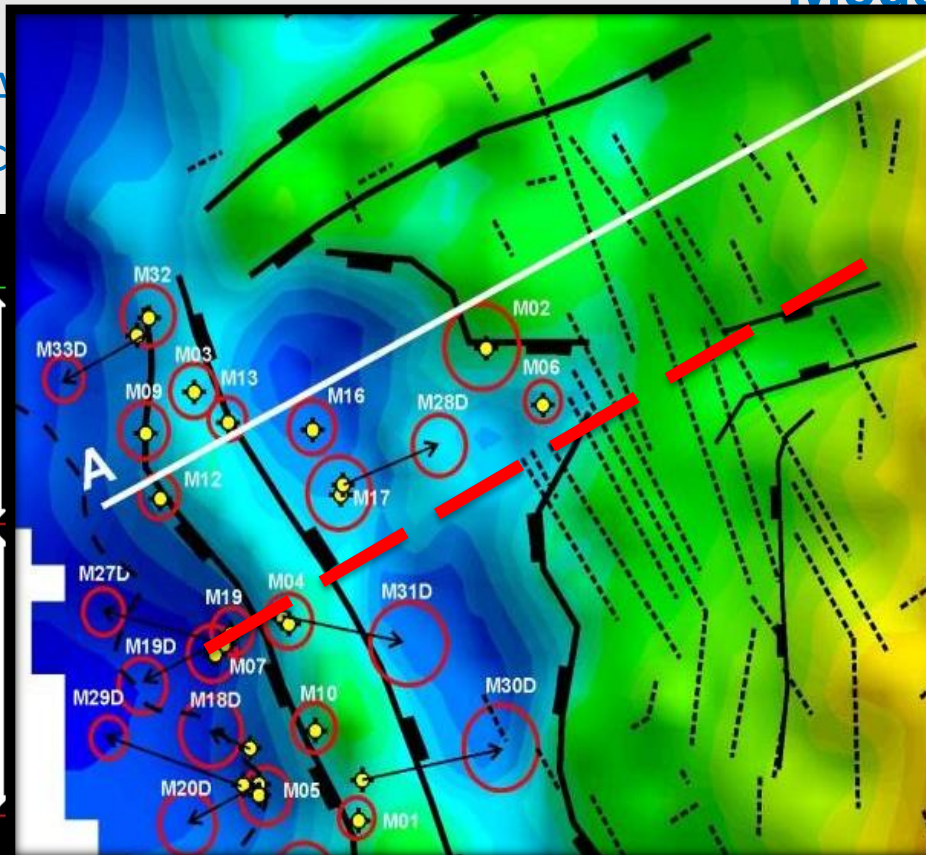
Análise de Sonares das Cavidades de Extração de Sal-Gema

Existem 35 cavidades de extração de sal-gema localizadas entre os bairros Mutange, Bebedouro e Pinheiro;

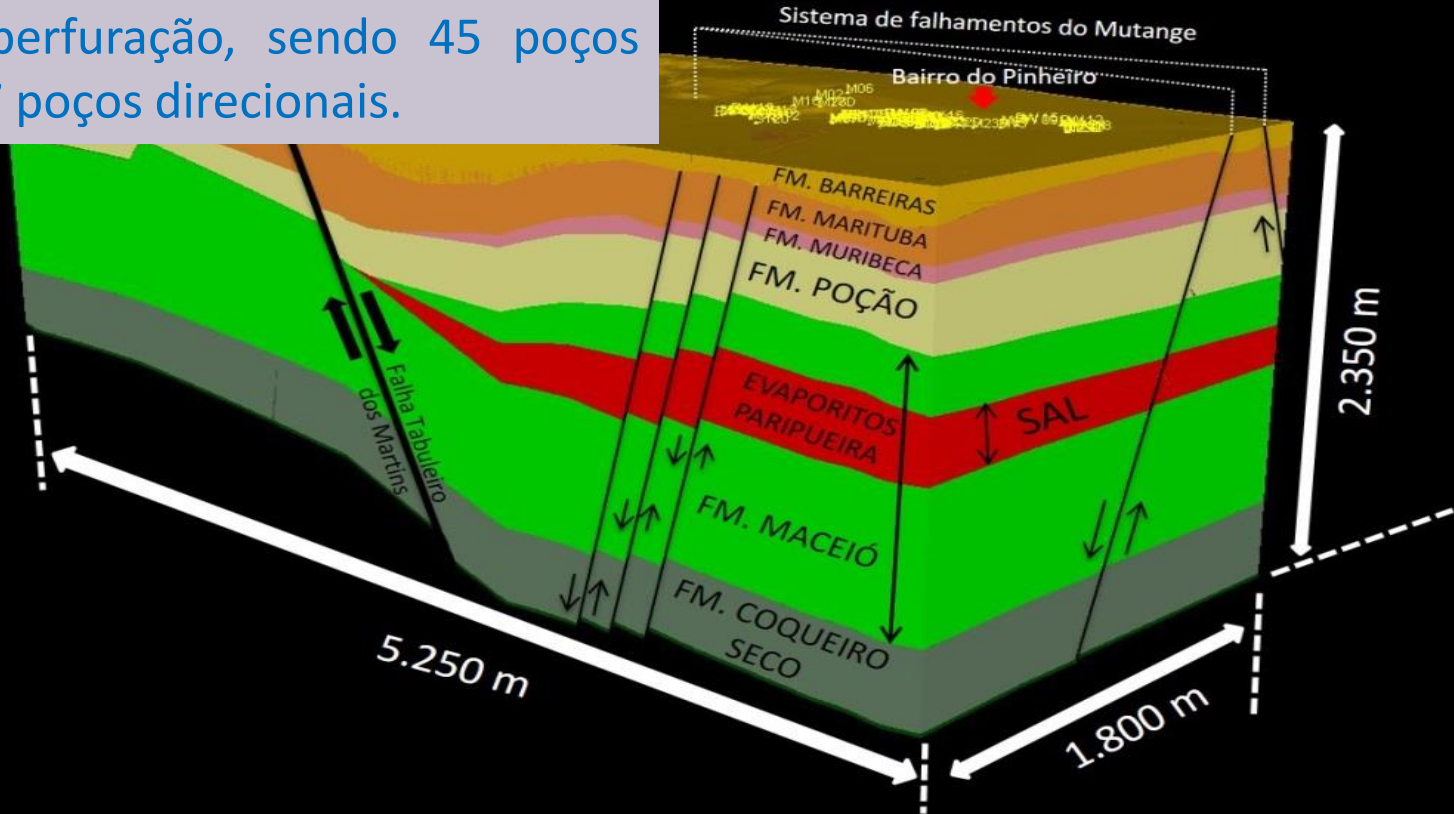
A Agência Nacional de Mineração (ANM) solicitou em junho de 2018 que fossem realizados novos levantamentos com sonares e repassados, junto com os antigos, à CPRM;

Até a presente data a CPRM recebeu dados recentes de 18 cavidades.

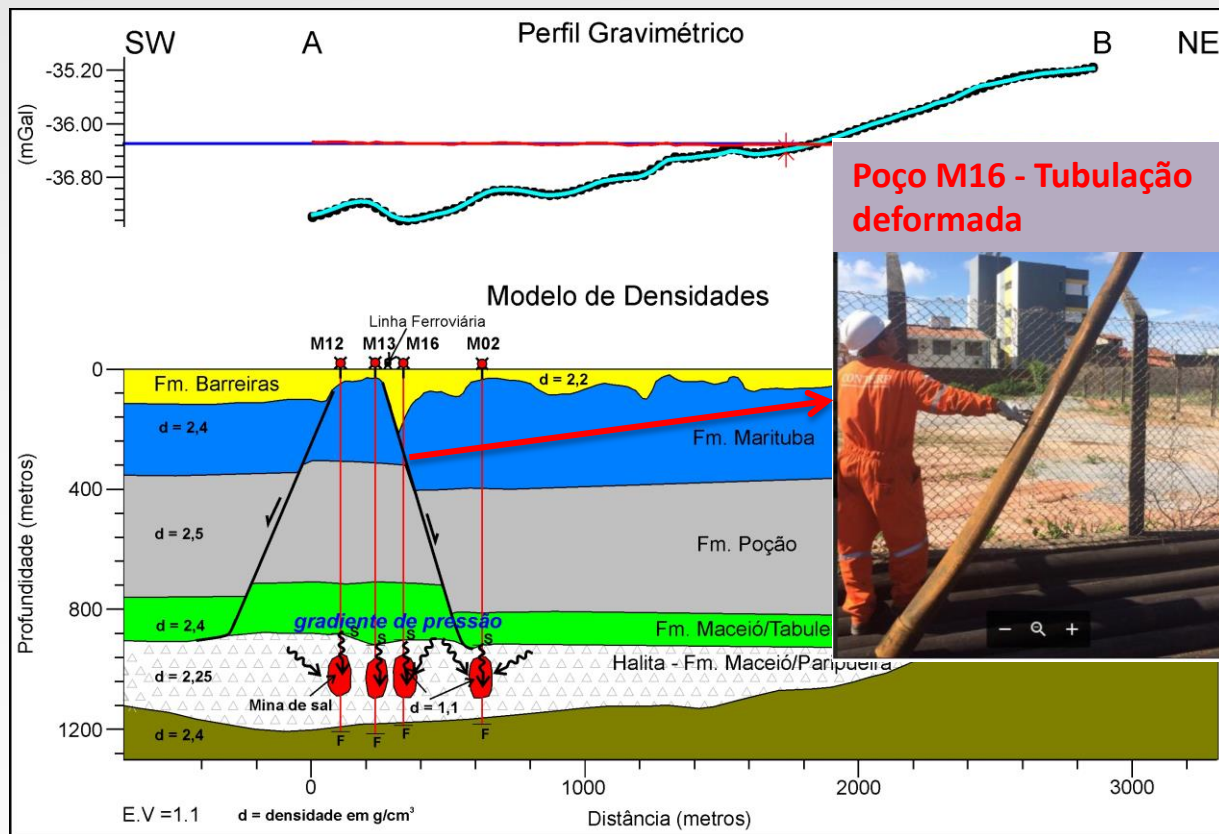




Para modelagem na área de estudo foram utilizados 62 poços, totalizando 52.692,76 metros de perfuração, sendo 45 poços verticais e 17 poços direcionais.



Modelo Conceitual de Deformação

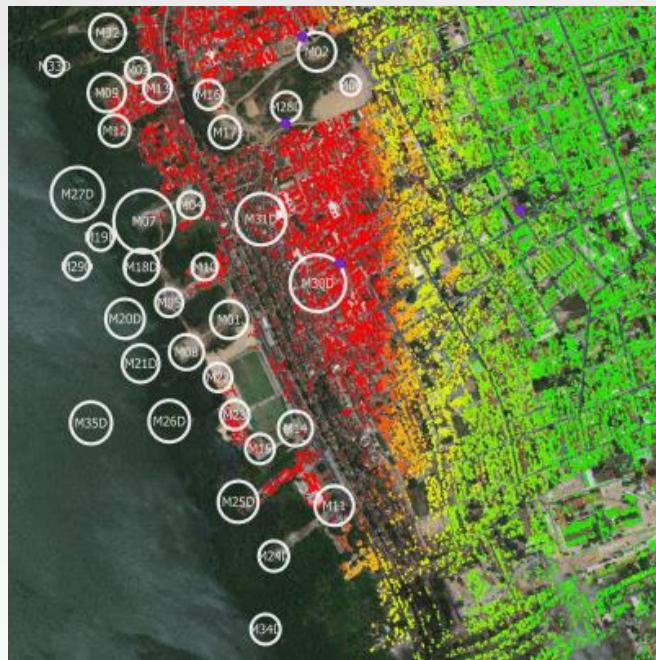


Hipótese

Halocinese produzida por desestabilização das cavidades de extração de sal devido à despressurização e existência de zonas de falhas.



Resultado da análise de danos nas tubulações da Braskem -2018-2019

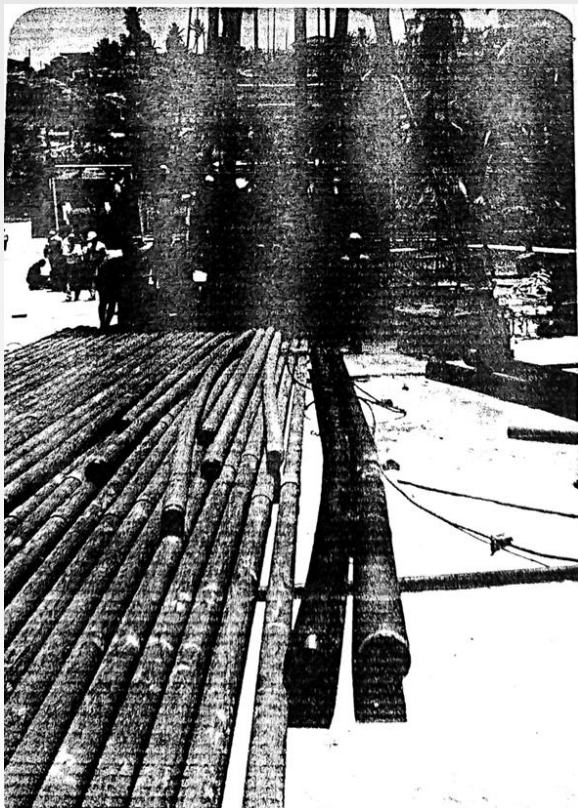


Fonte: Informações Pinheiro Abril de 2019 - Braskem



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

Danos históricos de deformação nas tubulações - 1985



Processo n 48.425.006648/1965 - Página 829

Documento datado de 1988 – retrospectiva de 1985

“Próximo ao encerramento do serviço houve um pequeno desmoronamento interno [...]

Sendo observado na superfície forte tração no cabo elétrico da unidade de perfilagem [...]”

Próximo ao encerramento do serviço houve um pequeno desmoronamento interno (provavelmente queda de tubos, blocos de rocha etc) sendo observado na superfície forte tração no cabo elétrico da unidade de perfilagem. O cabo sofreu esgarçamentos próximo a ferramenta que por pouco não foi perdido no poço.



Casos de subsidência ou colapso de terrenos em mineração de evaporitos é muito comum!

1790 – 1928 – Cheshire – Inglaterra ^{10*}

1873 – Varangeville – França ^{1*}

1919 a 1970 – Wharton, Texas – Estados Unidos ^{14*}

1925 – Carey, Hutchinson, Kansas – Estados Unidos ^{14*}

1940 – Teutschenthal – Alemanha ^{1*}

1942 – Brazoria, Texas – Estados Unidos ^{14*}

1949 – Blue Ridge, Texas – Estados Unidos ^{14*}

1952 – Barton, Hutchinson – Estados Unidos ^{14*}

1952 a 1975 – Spindletop, Jefferson, Estados Unidos ^{14*}

1952 a 1980 – Plaquemines Parish – Estados Unidos ^{14*}

1954 – Windsor – Canada ^{14*}

1954 – Bayou Chocktaw – Estados Unidos ^{12*}

1955 a 1999 – Polanco, Cantabria – Espanha ^{9*}

1956 a 2003 – Tuzla – Bosnia e Herzegovina ^{4*}

1958 – Merkers – Alemanha ^{1*}

1961 – Fannet, Jefferson – Estados Unidos ^{14*}

1962 a 1989 – Saskatchewan, Dawson Bay - Canadá ^{1*}

1965 – Winfield, Louisiana – Estados Unidos ^{14*}

1967 – Keil – Alemanha ^{14*}

1971 – Grosse Isle – Estados Unidos ^{12*}

1971 a 2000 – Wieliczka, Polônia ^{3*}

1972 – Eminence – Estados Unidos ^{14*}

1972 a 1991 – Vendam, Nedmag – Holanda ^{8*}

1972 a 1992 – Bele Isle, Louisiana – Estados Unidos ^{1*}

1974 – Cargill, Hutchinson – Estados Unidos ^{12*}

1975 – Werra, Sueda – Alemanha ^{1*}

1975 a 2000 – Attigraben – Suíça ^{15*}

1975 a 2000 – Margelacker – Suíça ^{15*}

1975 a 2000 – Lachmatt – Suíça ^{15*}

1975 a 2000 – Schwizerhalle – Suíça ^{15*}

1975 a 2000 – Wartenberg – Suíça ^{15*}

1975 a 2000 – Zinggibrunn-Sulz – Suíça ^{15*}

1976 – Grand Saline – Estados Unidos ^{12*}

1978 – Interpace, Hutchinson – Estados Unidos ^{14*}

1980 – Jefferson Island – Estados Unidos ^{12*}

1982 a 1988 – West Hackberry – Estados Unidos ^{12*}

1982 a 1988 – Week Islands – Estados Unidos ^{12*}

1967 a 1988 – Calcasieu Parish, Louisiana – EUA ^{14*}

1982 a 1988 – Bryan Mounds – Estados Unidos ^{12*}

1986 – Bereznki, Perm – Rússia ^{1*}

1986 a 2005 – Cardona – Espanha ^{5*}

1991 a 2006 – Ocnele Mari, Romênia ^{6*}

1993 a 1999 – Vaulvert – França ^{11*}

1994 – Retsoft, Nova Iorque – Estados Unidos ^{1*}

1994 – Cuylerville, Nova Iorque – Estados Unidos ^{12*}

1995 – Solikamsk, Montes Urais – Rússia ^{1*}

1995 – Trona, Wyoming – Estados Unidos ^{1*}

1996 – Teutschenthal – Alemanha ^{1*}

2007 – Cerville-Buissoncourt – França ^{2*}

2012 a 2013 – Bayou Corne Creek – Estados Unidos ⁷

50 Exemplos
no Mundo,
entre outros...

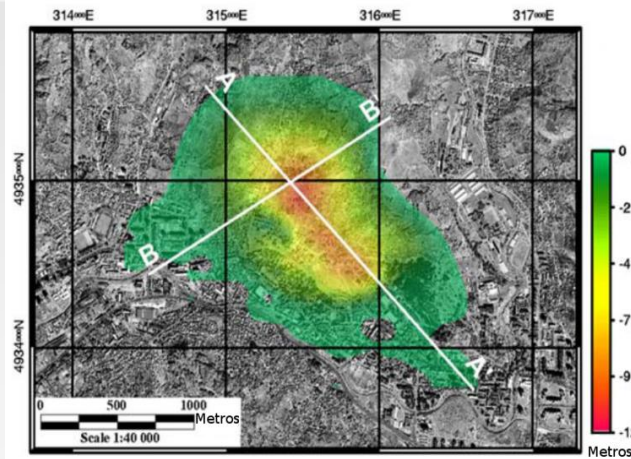
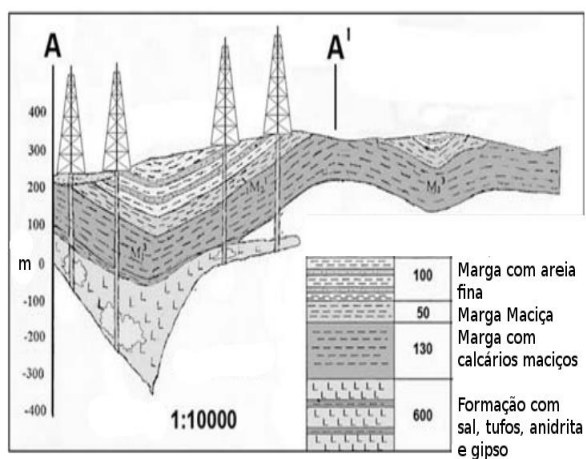
Nota: A distribuição geográfica, com grande número de ocorrências na América do Norte e Europa se dá por conta da qualidade de registro, disponibilidade e acesso da documentação para pesquisa. Não por condicionantes geológicas ou do processo produtivo.



Referências Bibliográficas Utilizadas

- 1* Whyatt, J and Varley, F. (2008) Catastrophic Failures of Underground Evaporite Mines. NIOSH - Spokane Research Laboratory, USA
- 2* E. D. Mercerat, L. Driad Lebeau, P. Bernard (2010) Induced Seismicity Monitoring of an Underground Salt Cavern Prone to Collapse
- 3* Zbigniew Perski, Ramon Hanssen, Antoni Wojcik, Tomasz Wojciechowski (2009). InSAR analyses of terrain deformation near the Wieliczka Salt Mine, Poland
- 4* F. (2009) Mancini, F. Stecchi, M. Zanni, G. Gabbianelli Monitoring ground subsidence induced by salt mining in the city of Tuzla (Bosnia and Herzegovina)
- 5* P. Lucha, F. Cardona, F. Gutierrez J. Guerrero (2008) Natural and human-induced dissolution and subsidence processes in the salt outcrop of the Cardona Diapir (NE Spain)
- 6* Trifu, A.C.; Shumila V. (2009) Microseismic Monitoring of a Controlled Collapse in Field II at Ocnele Mari, Romania
- 7* Gary R. Hecox (2013). Bayou Corne Cavern Collapse Technical Status Update
- 8 * R. F. Hanssen (2013). Salt Mining Deformation Veendam. Delft University of Technology.
- 9* Heras, J. G.; Veja, J. A. R. (1999) Dissolution Mining and Environmental Effects in Polanco (Cantabria – Spain).
- 10* Bell, F. G. (1975) Salt And Subsidence in Cheshire, England.
- 11* D. Raucoules, C. Maisons, C. Carnec, S. Le Mouelic, C. King, S. Hosford (2003). Monitoring of slow ground deformation by ERS radar interferometry on the Vauvert salt mine (France) Comparison with ground-based measurement.
- 12* J. D. Martinez, K. S. Johnson; J. T. Neal (1998) Sinkholes in Evaporite Rocks: Surface subsidence can develop within a matter of days when highly soluble rocks dissolve because of either natural or human causes.
- 13* Neal, J. T. (1991) Prediction of subsidence resulting from creep closure of solutioned-mined caverns in salt domes.
- 14* Coates, G.K.; Lee, C.A.; McClain, W.C.; Senseny, P.E. (1981). Failure of man-made cavities in salt and surface subsidence due to sulfur mining
- 15* E. Zechner; M. Konz; A. Younes; P. Huggenberger. (2011). Effects of tectonic structures, salt solution mining, and density-driven groundwater hydraulics on evaporite dissolution (Switzerland)





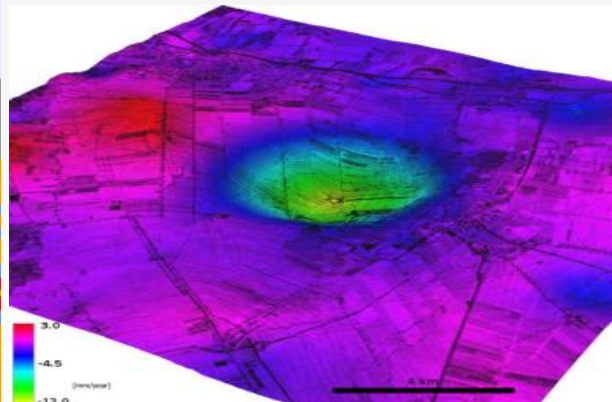
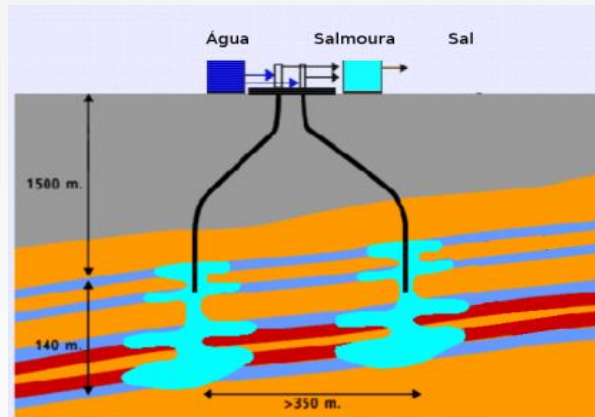
Localização: Tuzla – Bósnia e Herzegovina

Profundidade: 300 – 550 m

Tipo de extração: Dissolução

**Subsidência: 12.000 mm em 47 anos
(média 255 mm/ano)**

F. Mancini; F. Stecchi; M. Zanni; G. Gabbianelli. 2008. Monitoring ground subsidence induced by salt mining in the city of Tuzla (Bosnia and Herzegovina)



Localização: Veendam, Nedmag – Holanda

Profundidade: 1.580 – 1.720 m

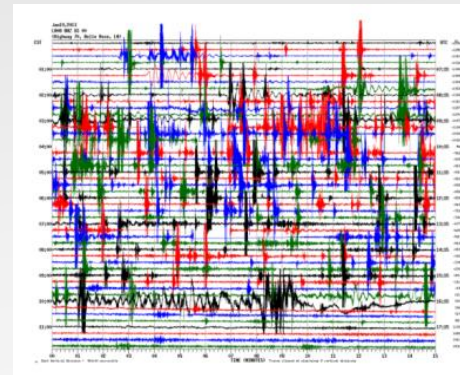
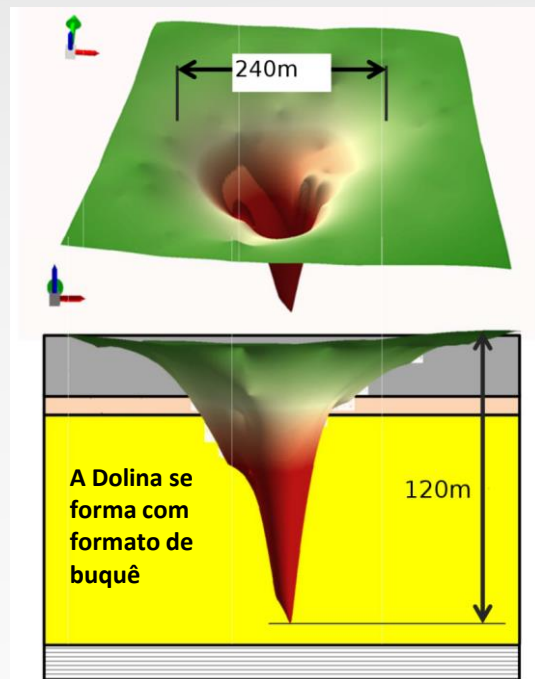
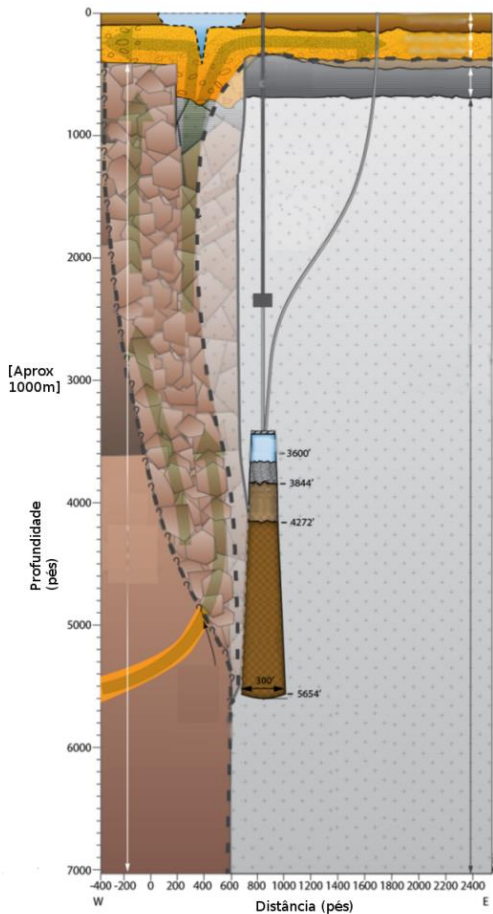
Tipo de extração: Dissolução

**Subsidência: 160mm em 12 anos
(média 13 mm/ano)**

R. F. Hanssen (2013). Salt Mining Deformation Veendam. Delft University of Technology.



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM



Localização: Bayou Corne – EUA
Profundidade: 1.000m
Tipo de extração: Dissolução
Deformação: Rúptil
(O colapso gradual era esperado e foi monitorado através dos sismos gerados pelos colapsos parciais)

G. R. Hecox, Ph.D., PG (2013). Bayou Corne Cavern Collapse. Technical Status Update. Louisiana State Legislative Committee Hearing

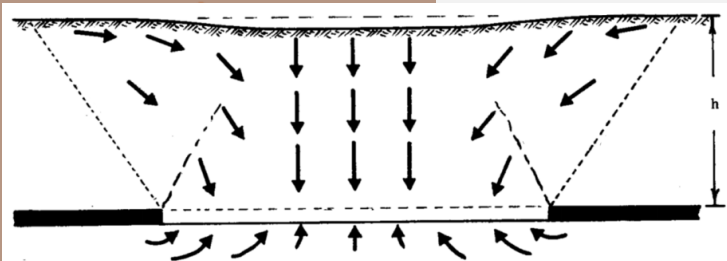


SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

Apresentação do Cenário Passo a Passo

1Km

1Km



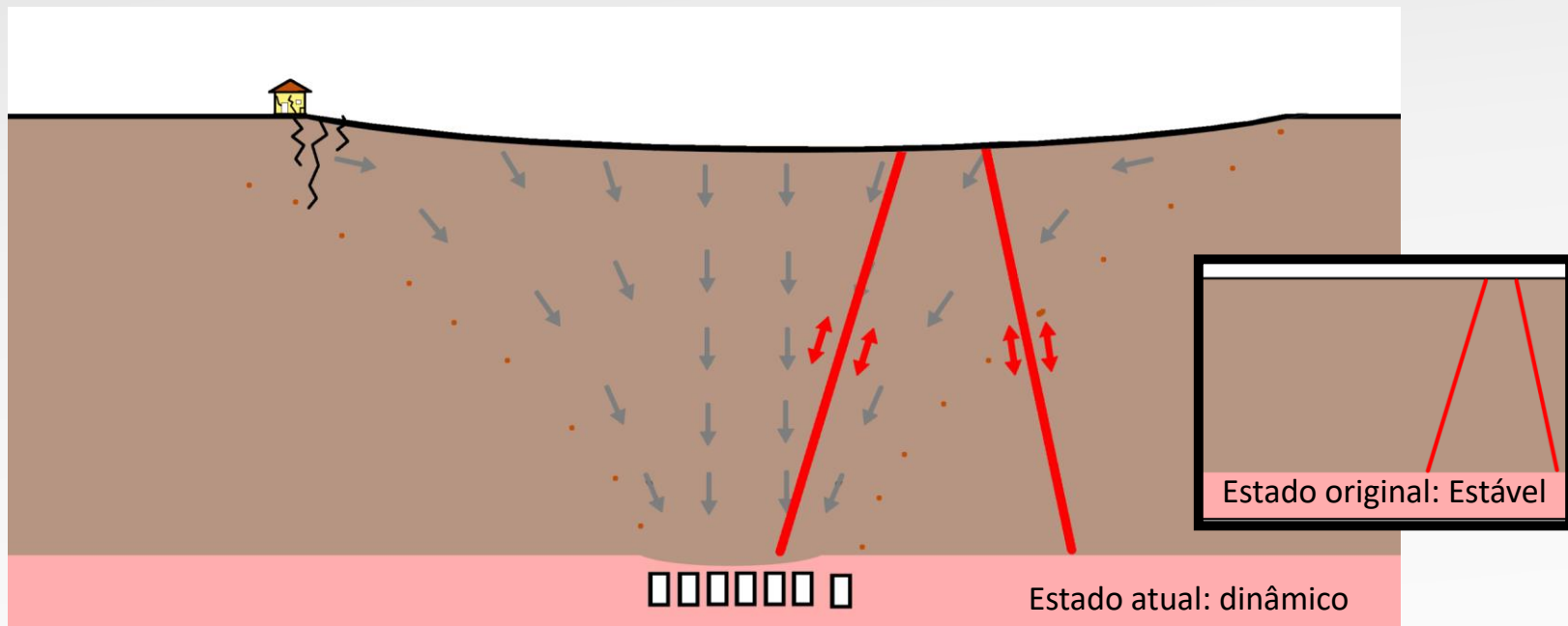
Diversos estudos demonstram a relação de tensões ao longo das camadas (*Normal Mining Induced Movements above an Extracted Area Whittaker, Reddish & Fitzpatrick, 1985*)

O vazio gera um estado de tensões ao longo das unidades geológicas



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

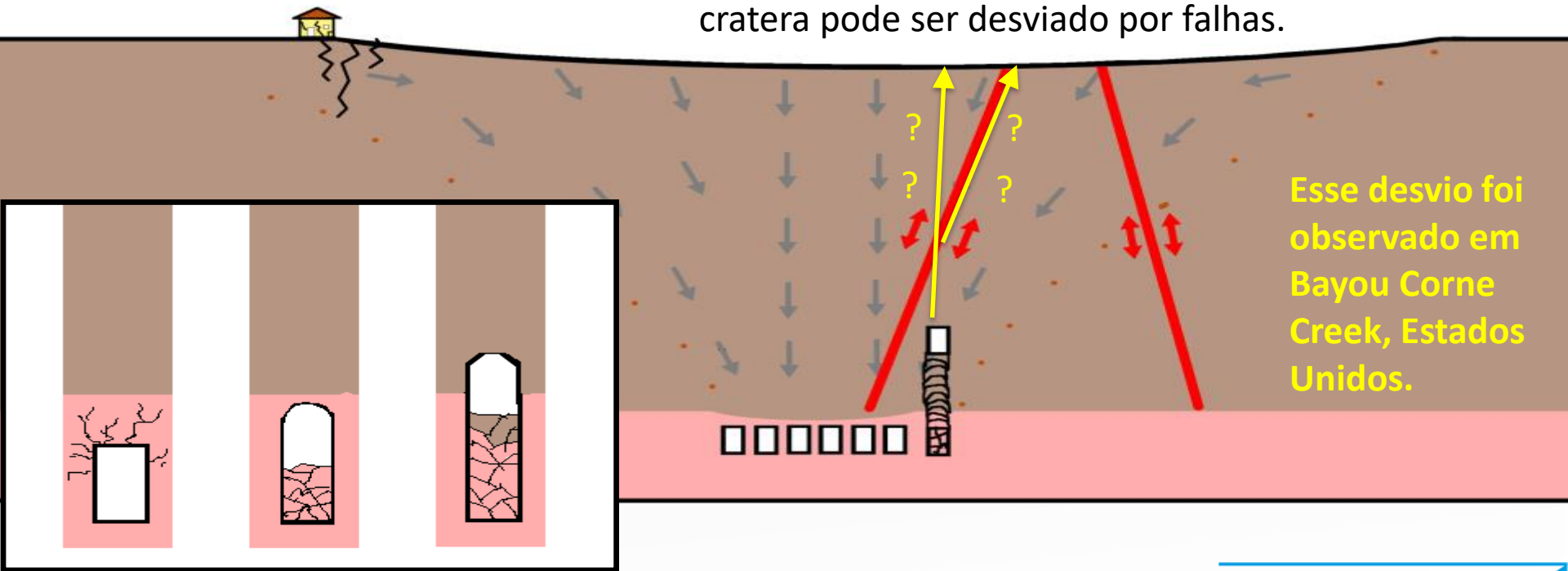
Apresentação do Cenário Passo a Passo



As falhas geológicas alteram a estabilidade das cavidades produzidas pela extração de sal e podem ser reativadas pelo novo estado de tensões existente na área



O avanço do colapso e formação de cratera pode ser desviado por falhas.



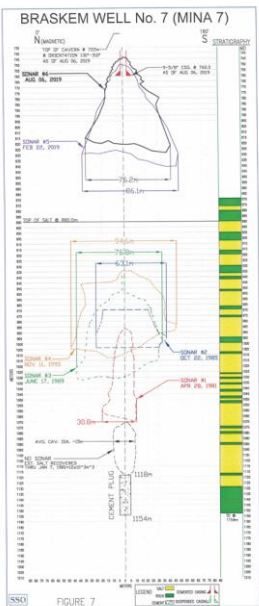
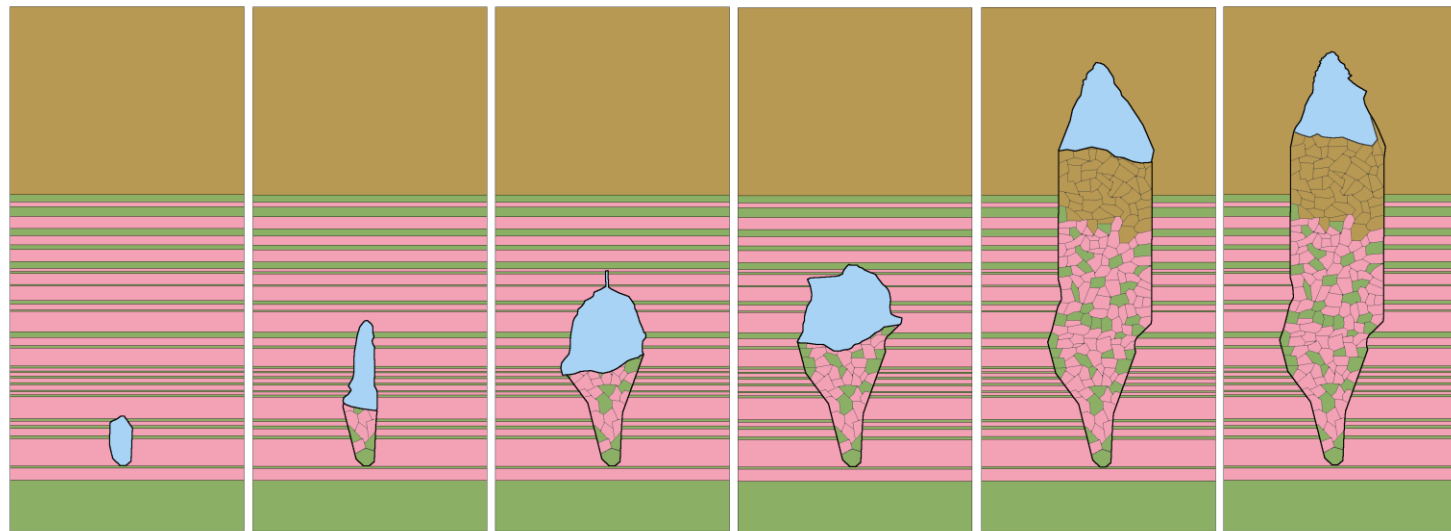
Mina 7

Processo n 48.425.006648/1965 - Páginas 7748 - Documento de 2019

740m

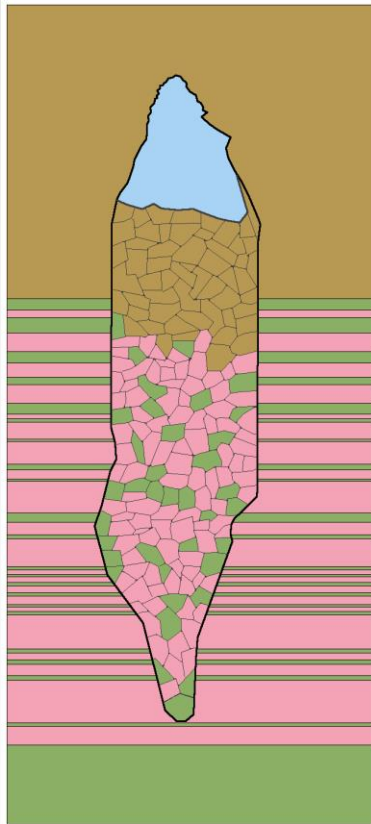
930m

1115m



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

375m



381m



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

Sinkhole de Matarandiba, sobre mina de sal

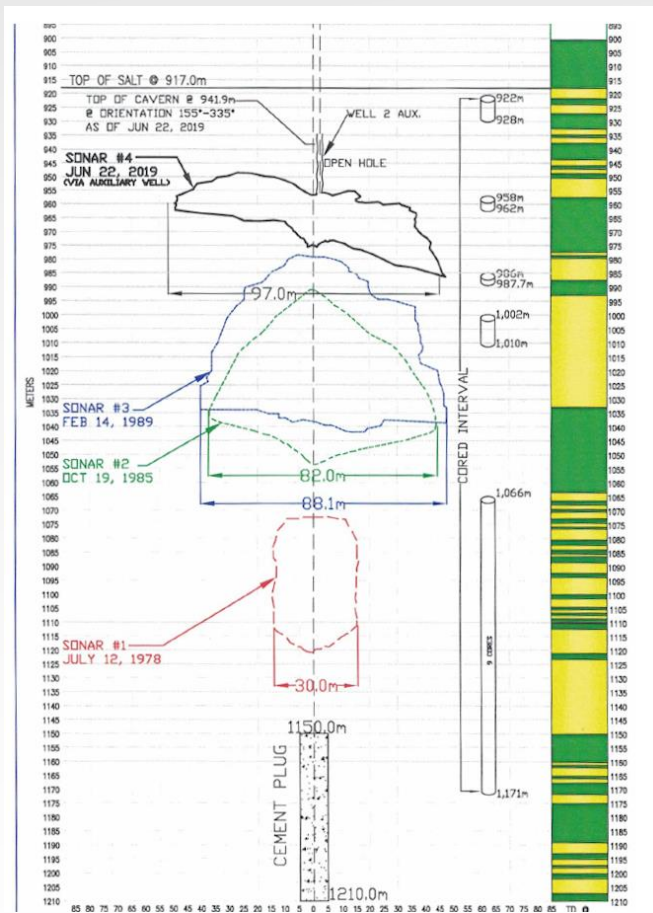


Matarandiba - BA



Plano de fechamento da Mina 2 - 2019

940m



Diz o laudo:

“Esse poço está adequado para tamponamento e abandono permanente”

Processo n 48.425.006648/1965 - Páginas 7730 a 7734 Documento de 2019

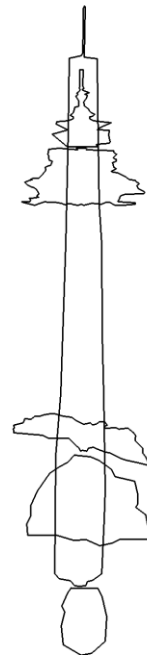
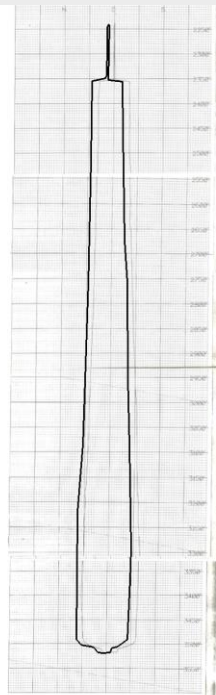
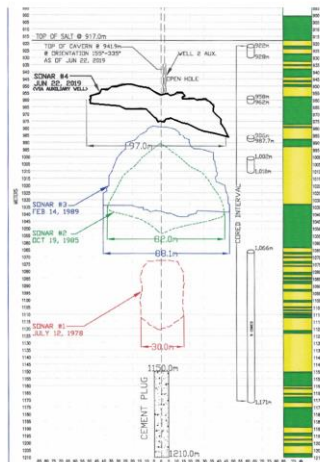


Sonares históricos de desmoronamento não foram considerados

703m



930m



Mina 2

Os documentos antigos não aparecem nas análises novas.

Processo n 48.425.006648/1965 - Páginas 7730 a 7734 Documento de 2019
MN_02 - 28-08-1987.pdf – Documento de 1987 – Recebido em meio digital



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

Danos históricos de desmoronamentos

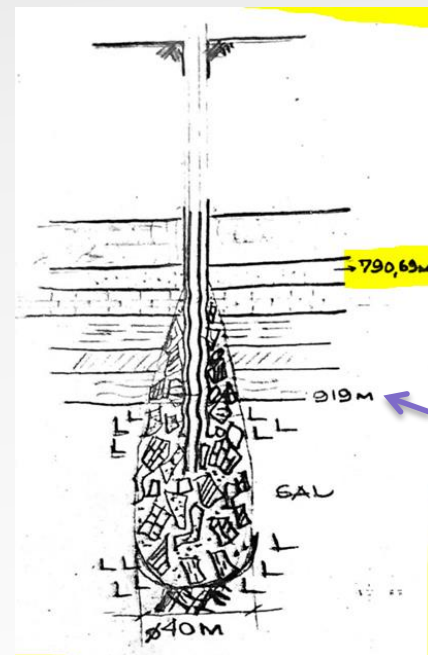
Mina 3

Em 11/maio/76 entrou em operação uma alta vazão e com boa concentração. Em agosto/76 a concentração passou a decrescer o que provocou a sua retirada de operação. Em dez/76 a sonda petreol foi desmontada e retirou a coluna de injeção, sendo salvos apenas 907m da metragem original 1.139 m. Tendo ocorrido o desmoronamento no interior da cavidade provocando obstrução e reduzindo a recuperação recuperável da mina em 2/3. A mina foi descompletada e voltou a operar normalmente.

“11-Maio-76 Entrou em operação. [...]

Em Dez-76 [...] Tendo ocorrido o desmoronamento [...]”

Como se pode notar no desenho anexo, o desmoronamento apenas se deu nas camadas abaixo da profundidade de 790,69m



790m

Sal - 919

Como se pode notar no desenho anexo, o desmoronamento apenas se deu nas camadas abaixo da profundidade de 790,69m. O volume estimado

Processo n 48.425.006648/1965 - Páginas 817 e 818



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

Simulações geomecânicas – limite de segurança

Limite de segurança:

Tamanho do pilar - 47m

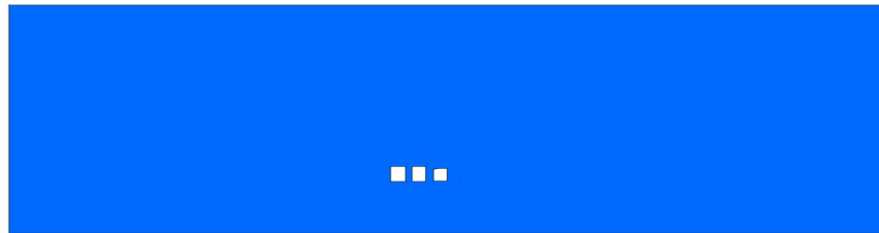
Com margem de erro:

Tamanho do pilar - 75m – Apresentado no plano de lavra

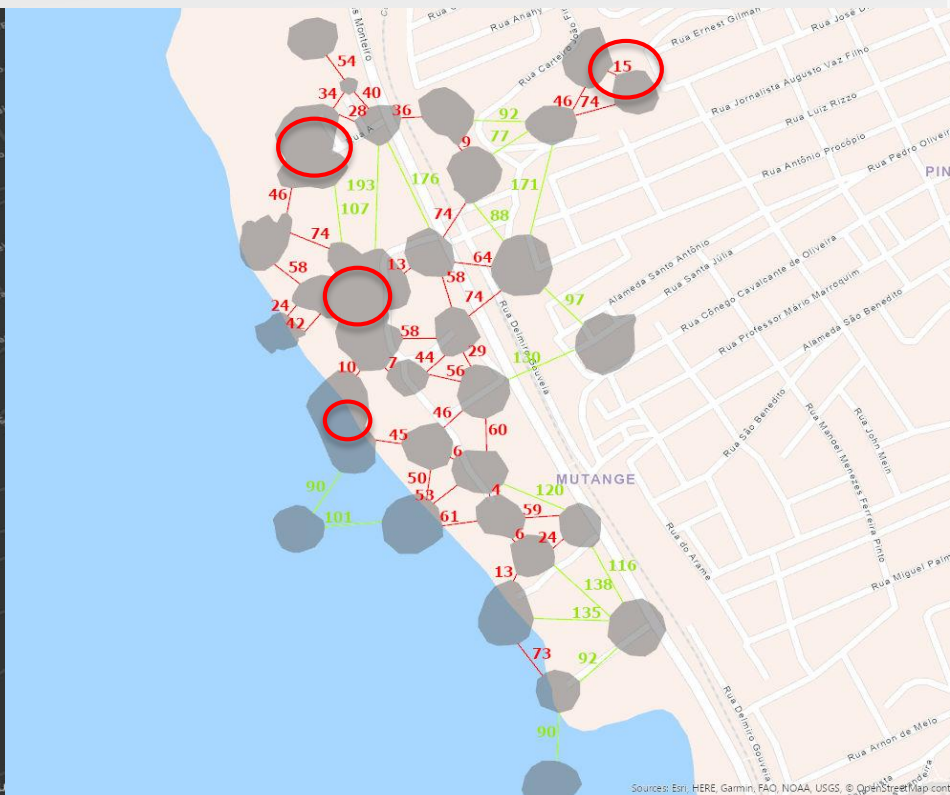
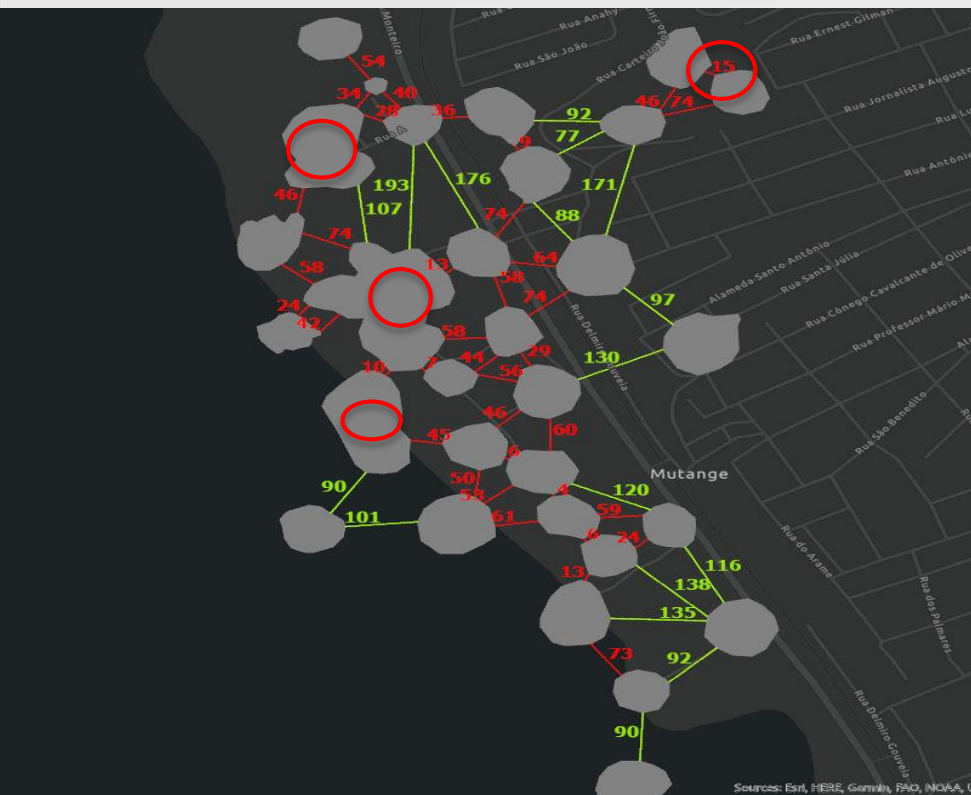
Cenário H – Estável



Cenário C- Desabamento



Em vermelho, as minas que não respeitaram a largura do pilar prevista no plano de lavra



O conglomerado dá sustentação? Protege?



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

“É importante essa camada aqui que a gente chama de conglomerado. Que é uma camada de rocha. Uma rocha bastante firme, comparada a um granito. Que ajuda bastante na sustentação de todos os poços e na operação”

Alexandre de Castro, Diretor de Negócios da Braskem,
Comissão de Transparência
Debate sobre tremores de terra no bairro do Pinheiro, Maceió-AL

Senado Federal



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

“É importante chamar a atenção para a camada de conglomerado.

O conglomerado é um colúvio composto de seixos de granito numa matriz de arenito inconsolidado.

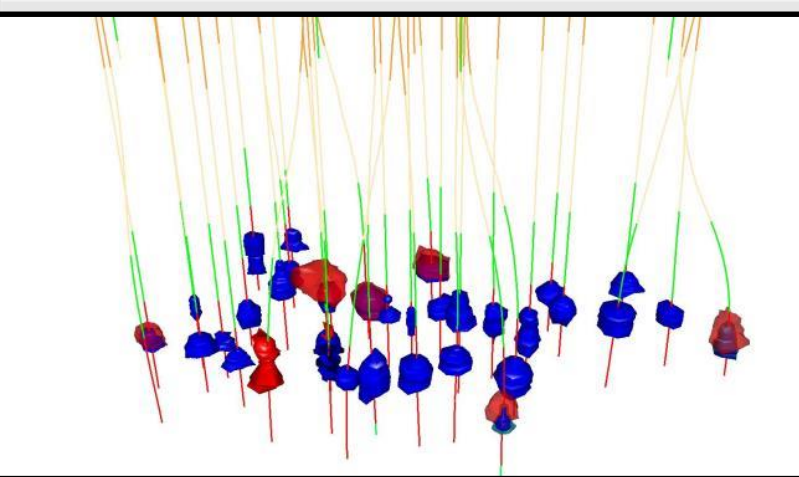
Essa rocha é muito frágil e pelo tamanho projetado para as cavernas não se pode deixar que a distribuição de tensões cause danos a essa camada, por conta do risco de subsidência da superfície.”

Table 2

TENSILE STRENGTH	
ROCK	STRENGTH
----	[KPa]
SEDIMENTS	0.0
SANDSTONE	230 ->2900,00
LIMESTONE	3250,00
CONGLOM.	230,00
HALITE	1180,00
SHALE	3030,00

Costa, A. M.; Melo, P. R. C. (1992). Stress Analysis And Sizing Of Caverns Mined By Dissolution Of Halite Of The Evaporitic Basin At The State Of Alagoas In Brazil. Solution Mining Research Institute.





Calculado em 10 milhões
de metros cúbicos

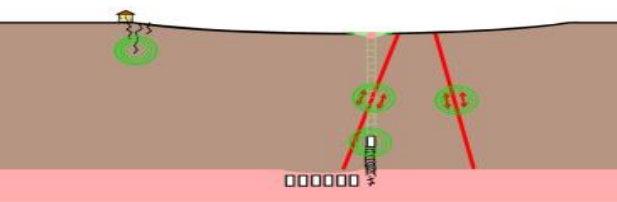
Equivalente a 700 mil
caminhões



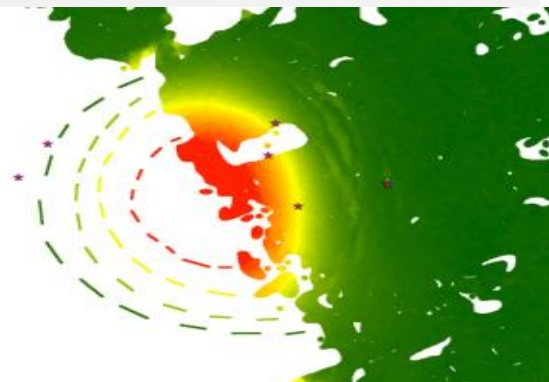
O volume total das 35 cavidades é de aproximadamente 3 vezes o Estádio do Maracanã



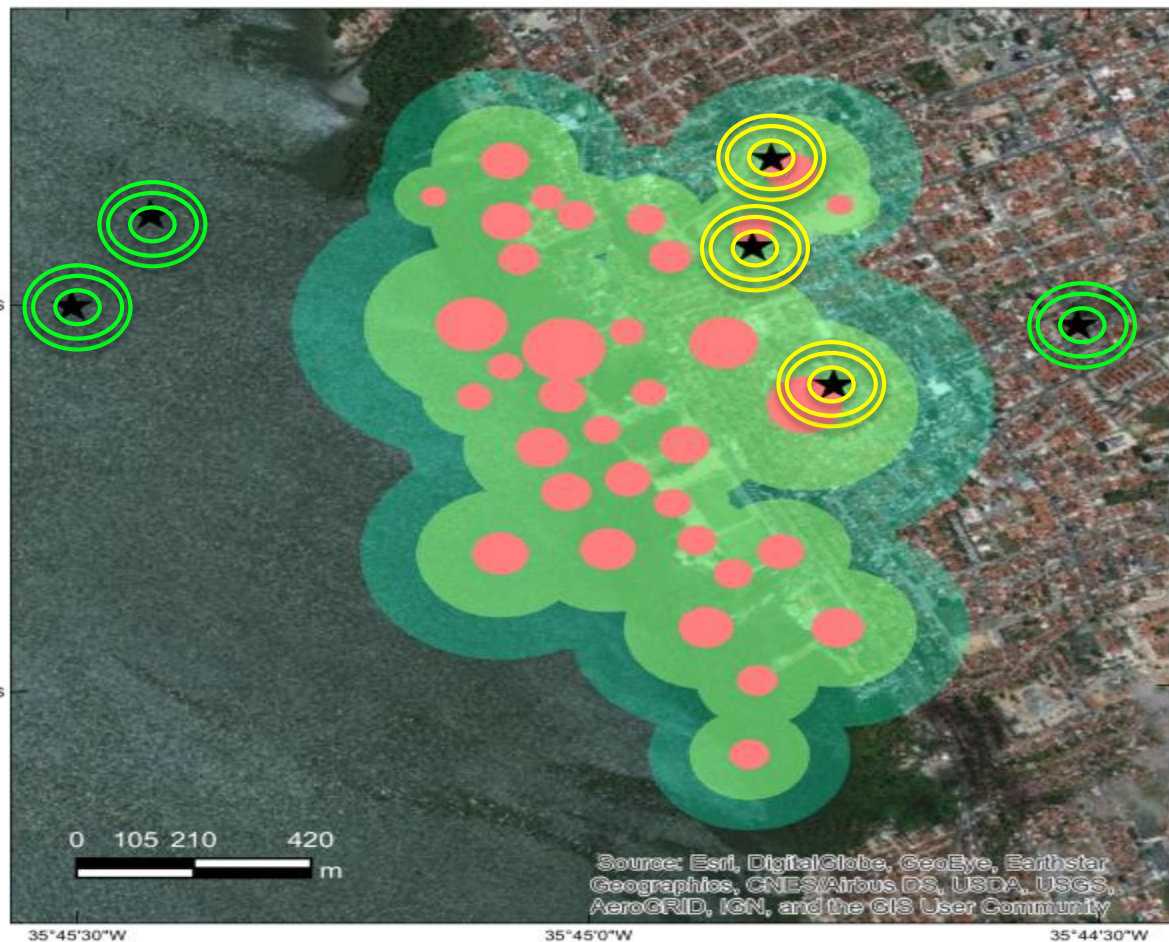
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM



9°38'0"S



9°38'30"S



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

A ocorrência de um sismo por desmoronamento de caverna e “uma onda de pânico” era prevista desde 1988

Dizia a empresa de extração de sal:

“Agosto- setembro/ 86 - Aconteceram eventos (vibrações) na superfície e o poço (cavidade) a princípio sofreu novo desmoronamento interno.”

Agosto-Setembro/86 - Aconteceram eventos (vibrações) na superfície e o poço (cavidade) a princípio sofreu novo desmoronamento interno

o único desativado em operação, por recomendação da firma consultora PB-KBB Inc., em virtude da existência de pouco sal no topo da caverna e o diâmetro da caverna já exceder a 100 m, a fim de

evitar desmoronamento interno com vibrações na superfície, o que fatalmente iria acarretar uma onda de pânico.

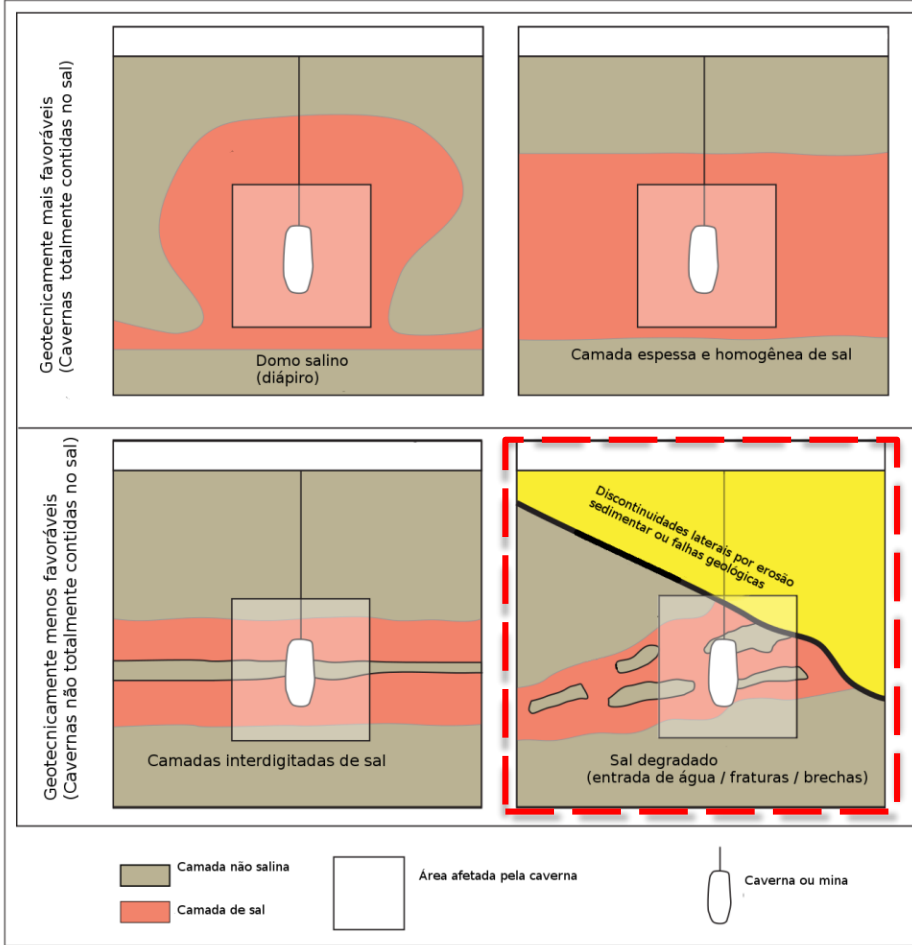
“[...] desativado em operação por recomendação da firma consultora [...]

A fim de evitar desmoronamento interno com vibrações em superfície, o que fatalmente iria acarretar uma onda de pânico.”

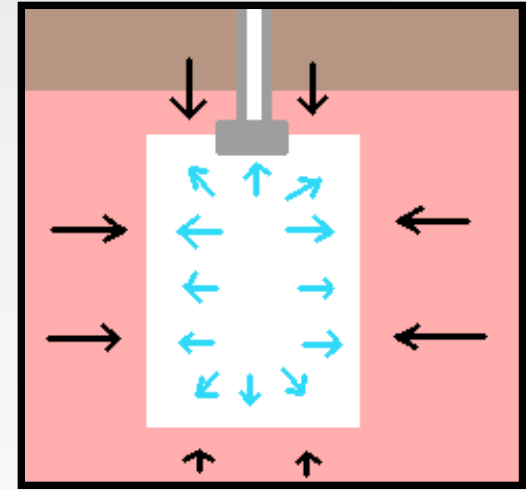
Processo n 48.425.006648/1965 - Páginas 800, 801, 831 datado de **1988**



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM



Controle

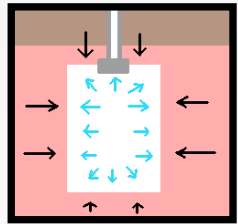


Warren, J. K., 2017, Salt usually seals, but sometimes leaks: Implications for mine and cavern stabilities in the short and long term: *Earth-Science Reviews*, v. 165, p. 302-341. Apud A. Ferguson J.K. Warren (2017). *Salt Mining and Possible Future Problems in the Cayuga Lake Region: Integration of public-domain seismic with known salt geology*





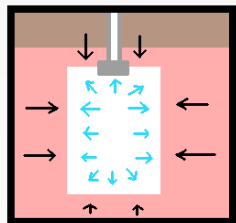
- Equipamentos eletrônicos para monitoramento
- Áreas desabitadas



Boca de poço - Canadá



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM



??

- Sem equipamentos para monitoramento
- Áreas habitadas
- Vazamentos
- Lixo

Boca de poço – Maceió



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

As cavidades eram despressurizadas para economizar energia

Conservação de Energia

Antes das medidas de racionamento de energia a **Trikem** passou a se utilizar das características visco elásticas do sal efetuando uma alteração do circuito de produção ou seja : anteriormente era injetado água com alta pressão nos poços de sal. A salmoura produzida seguia para um tanque pulmão de onde

11

era bombeada através de um salmouroduto para a planta de cloro-soda. O tanque pulmão foi eliminado bem como o bombeio para a planta.

O retorno da salmoura dos poços segue agora diretamente para a planta pelo mesmo salmouroduto. Este procedimento acarreta uma maior pressão do sistema e as cavidades produtoras se expandem devido as suas características físicas. A pressão de transferência de salmoura se elevou de 2 kg/cm² para 8 kg/cm².

Durante o horário de ponta 17 horas até 20 horas o custo da energia é bastante elevado em relação ao horário fora de ponta. Neste intervalo a bomba de injeção é desligada e a despressurização das cavernas possibilitam a manutenção do envio de salmoura para a planta. Há por conseguinte uma economia substancial, pois após este horário volta-se a pressurizar as cavidades mas com um custo de energia menor. A eliminação da bomba de transferência de salmoura em todo o horário de produção também contribuiu para a redução do consumo de energia. Evidentemente que algumas operações tais como exames com sonar etc., onde se tem que desmontar os poços, o sistema tem que voltar a operar como anteriormente pois necessita-se despressurizar rapidamente as cavidades para proceder os trabalhos.

Maceió, setembro de 2003



“Durante o horário de ponta 17 horas até 20 horas o custo da energia é bastante elevado [...] a bomba de injeção é desligada e a despressurização das cavernas possibilitam a manutenção do envio de salmoura para a planta.”

Durante o horário de ponta 17 horas até 20 horas o custo da energia é bastante elevado em relação ao horário fora de ponta. Neste intervalo a bomba de injeção é desligada e a despressurização das cavernas possibilitam a manutenção do envio de salmoura para a planta. Há por

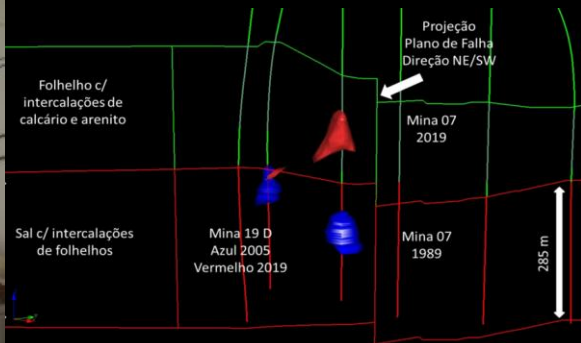
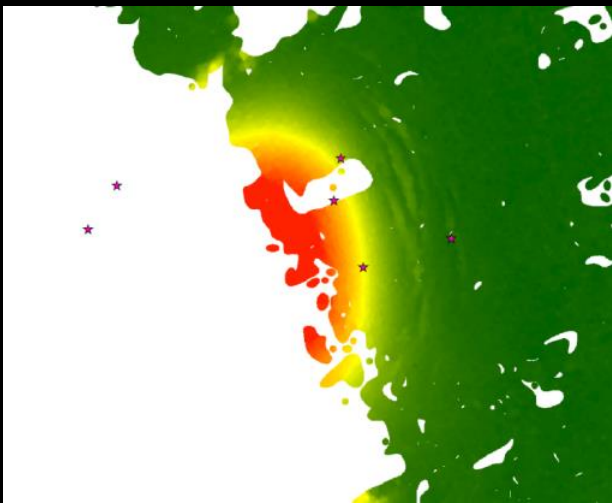
Processo n 48.425.006648/1965 - Páginas 1024 datado de 2003



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

“A ratione ad rationatum valet consequentia”

Immanuel Kant





CONCLUSÕES

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), com base em todos os estudos e análises realizadas, chegou às seguintes conclusões:

- Está ocorrendo desestabilização das cavidades da extração de sal-gema, provocando halocinese (movimentação do sal) e criando uma situação dinâmica com reativação de estruturas geológicas preexistentes, subsidência e deformações rúpteis em superfície de parte dos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro;
- No bairro Pinheiro, cujo reflexo da subsidência é a formação de uma zona de deformação rúptil, a instabilidade do terreno é agravada pelos efeitos erosivos provocados pelo aumento da infiltração da água de chuva, em função do aumento significativo da permeabilidade secundária (quebramentos). Este processo erosivo é acelerado pela existência de pequenas bacias endorreicas e falta de uma rede de drenagem efetiva e saneamento básico.



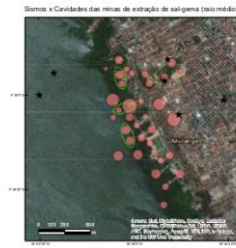


Serviço Geológico do Brasil
CPRM

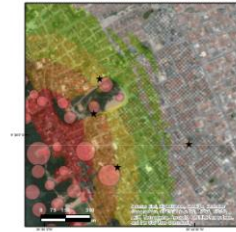
***“Conhecimento e informação em benefício
do bem comum”***



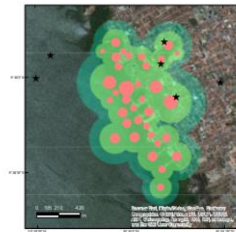
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM



Área de maior intensidade de processo sísmico (fissura, rachaduras)



Área de perigo de colapso das cavidades de sal-gema



Área com maior percepção de subsidência do terreno



PRINCIPAIS PROCESSOS DE DEFORMAÇÃO DO TERRENO E MEDIDAS PROTETIVAS SUGERIDAS COM BASE NO PRINCÍPIO DA PRECAUÇÃO

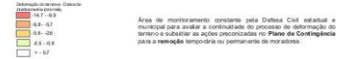
FEIÇÕES DE INSTABILIDADE DO TERRENO (JUNHO 2018, SETEMBRO 2018 E ABRIL 2019) ¹²

- Gravidade de Intensidade Alto e Médio:** Remoção temporária ou permanente dos moradores considerando a previsão de chegada de chuvas intensas ou prolongadas e de acordo com a avaliação dos engenheiros da Defesa Civil estadual e municipal.
- Gravidade de Intensidade Baixo:** Monitoramento constante com visitas técnicas para avaliação da evolução do processo a aumento do grau de intensidade de deformação do terreno. Remoção temporária dos moradores considerando a previsão de chegada de chuvas intensas ou prolongadas e de acordo com a avaliação dos engenheiros da Defesa Civil estadual e municipal.

Nota 1: As áreas classificadas nos municípios dos limites da instabilidade do terreno e realçadas em verde: **Servigos Geológicos do Brasil** e arquivos de 2018, setembro de 2018 e atual de 2019, caso de grau **alto** (vermelho), **Muito** (laranja) e **Baixo** (verde). Os pontos indicados pela linha de subtração aplicam de preservação e defesa civil dos setores classificados como **alto** e **Muito** (vermelho e laranja) foram reclassificados como **alto** e representados na legenda com linha no 2º grau. Os setores classificados anteriormente como de grau **baixo** foram reclassificados na mesma cor amarela. As áreas de defesa civil estadual e municipal denotam realizar a atualização dos mapas de leições de instabilidade do terreno, para reassessar e reclassificar os setores de risco, assim como: **Fundamentos** de grau de interesse.

Nota 2 Considerando que ainda não existem estudos conclusivos, para análise de fatores. Primeiro, relacionamos com a comparação entre a ocorrência de crises intenciais com ocorrência de crises, diárias ou mensais, e a presença que estão associadas a ocorrência de crises, houve diferenças por meio de sequência, uma análise estatística bivariable foi realizada em termos de qualidade, análise bivariable de propagação de crises de emergência e bivariable que potencialmente poderia resultar na análise das possíveis causas associadas a ocorrência de crises e a ocorrência de crises de emergência e a ocorrência de crises de emergência e a ocorrência de crises de emergência.

MAPA DE DEFORMAÇÃO DO TERRENO BASEADO EM DADOS INTERFEROMÉTRICOS (ABRIL 2016 A DEZEMBRO DE 2018)



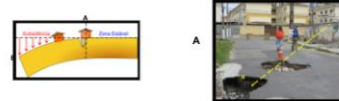
SETORIZAÇÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS DE MACEIÓ - SETOR DO MUTANGE (2012, REVISITA 2017)

Setor de Risco Alto: Áreas íngremes classificadas como de risco **Alto** para processos de deslizamentos e erosão, impactando aproximadamente 1.800 pessoas em 450 moradas. Remoção temporária ou permanente dos moradores na possível ocorrência de chuvas intensas ou prolongadas, cujas precipitações acumuladas de 80mm em três dias (estatisticamente, relacionadas como desencadeadoras de processos de deslizamentos em encostas). Monitorar constantemente da área do Mutirão em relação ao processo de subsidência identificado na interferometria uma vez que, os estudos demonstrar em importantes índices de movimentação e deformação do terreno.

ÁREA DE PERIGO DE SUBSIDÊNCIA OU COLAPSO DAS MINAS DE EXTRAÇÃO DE SAL-GEMA²

- Área projetada:** Monitoramento constante pelas equipes da Defesa Civil estadual e municipal para avaliação dos indícios de movimentação do terreno para subsidiar as ações de remoção permanente de moradores.

Nota 3: Projeto de construção do desenvolvimento dos fundamentos aprofundado visando a formação de dolinas. As áreas de projeto de cada área foram avaliadas a partir dos dados de terreno disponibilizados a CPTM entre os anos de 1977 e 2014. Para o cálculo das percentuais de atingimento, foram considerados os limites da área e o valor médio de cada metro, os perfis foram avaliados com base nos estudos de Sampaio e Zúñiga (2016) que consideram a profundidade da cavidade formada a partir da profundidade da superfície do solo. Foram adotados os seguintes critérios de avaliação: 1) áreas com profundidade de 10 cm ou mais, 2) áreas com profundidade de 5 cm ou mais, 3) áreas com profundidade de 2 cm ou mais, 4) áreas com profundidade de 1 cm ou mais, 5) áreas com profundidade de 0,5 cm ou mais, 6) áreas com profundidade de 0,2 cm ou mais, 7) áreas com profundidade de 0,1 cm ou mais, 8) áreas com profundidade de 0,05 cm ou mais, 9) áreas com profundidade de 0,02 cm ou mais, 10) áreas com profundidade de 0,01 cm ou mais.

FIGURA ESQUEMÁTICA SOBRE O
COMPORTAMENTO DO TERRENO

Máximo de sube índice



IMPORTANTE: Este é um produto cartográfico dinâmico e inédito resultante da integração dos dados da interferometria (abril/2016 a dezembro/2018) da terceira atualização do mapa de Feições de Instabilidade do Terreno (fevereiro a março de 2019), sismos e interpretação dos dados das cavidades de extração de sal-gema (paio médio) obtido dos relatórios dos sonares disponíveis.

A precisão das informações depende da escala de trabalho adequada e integração com outras entidades a cerca de medidas de remediação resultará no refinamento das delimitações e na elaboração de outros cenários.