

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

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

**Volume II**  
RELATÓRIOS TÉCNICOS  
J. Geofísica – Gravimetria

Rio de Janeiro, maio de 2019



**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

**Ministro de Estado**

Bento Albuquerque

**Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**

Alexandre Vidigal de Oliveira

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

**DIRETORIA EXECUTIVA**

**Diretor Presidente**

Esteves Pedro Colnago

**Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial**

Antônio Carlos Bacelar Nunes

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

José Leonardo Silva Andriotti

**Diretor de Infraestrutura Geocientífica**

Fernando Pereira de Carvalho

**Diretor de Administração e Finanças**

Juliano de Souza Oliveira

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA  
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

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

---

## **Volume II** **RELATÓRIOS TÉCNICOS** **J. Geofísica – Gravimetria**

### **Autoria**

#### **Processamento e Interpretação**

Roberto Gusmão de Oliveira  
Marília de Araújo Costa Rodrigues  
Ricardo Cavalcanti Santiago

#### **Aquisição**

Roberto Gusmão de Oliveira  
Ricardo Cavalcanti Santiago

#### **Colaboração da Equipe de Cartografia**

Ricardo Duarte Oliveira  
Fábio Silva da Costa  
Ivan Soares dos Santos

Rio de Janeiro, maio de 2019

## COORDENAÇÃO INSTITUCIONAL

---

**Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT):** Antônio Carlos Bacelar Nunes

## COORDENAÇÃO TÉCNICA-EXECUTIVA

---

**Coordenador-Geral:** Thales de Queiroz Sampaio

**Coordenação técnica:** Maria Adelaide Mansini Maia e Jorge Pimentel, Departamento de Gestão Territorial (DEGET)

**Assessoria:** Helion França Moreira e Ricardo Moacyr de Vasconcellos, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT)

**Estudos de geologia aplicada:** Sandra Fernandes da Silva, Divisão de Geologia Aplicada (DIGEAP)

**Estudos de geomorfológicos e historicidade da ocupação:** Marcelo Eduardo Dantas, Divisão de Gestão Territorial (DIGATE)

**Estudos hidrogeológicos:** Fernando Antônio Carneiro Feitosa, Departamento de Hidrologia (DEHID)

**Estudos geofísicos:** Lucia Maria da Costa e Silva, Gerência de Geologia e Recursos Minerais/Sup. Reg.de Belém (GEREMI/SUREG-BE), e Luiz Gustavo Rodrigues Pinto, Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica (DISEGE)

**Estudos batimétricos:** Hortência Assis, Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM)

**Estudos cartográficos:** Fabio Costa, Divisão de Cartografia (DICART)

**Modelagem geológica em ambiente 3D:** Ricardo Wosniak e Eduardo Grissolia, Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória (DIEMGE)

**Geoprocessamento:** Denilson de Jesus, Divisão de Geoprocessamento (DIGEOP)

## EQUIPE TÉCNICA

---

Alexandre Borba (Geólogo)

Alexandre Lago (Geólogo)

Amaro Luiz Ferreira (Geólogo)

Bruce Fabini Franco Chiba (Geofísico)

Bruno Elldorf (Geólogo)

Cipriano Gomes de Oliveira (Téc. em Geociências)

Daniel Moreira (Eng. Cartógrafo)

Dario Dias Peixoto (Geólogo)

Denilson de Jesus (Eng. Cartógrafo)

Eduardo Moussalle Grissolia (Geólogo)

Eugênio Pires Frazão (Geólogo)

Fábio Silva da Costa (Eng. Cartógrafo)

Fernando Antônio Carneiro Feitosa (Geólogo)

Fernando Lúcio Borges Cunha (Geólogo)

Giana Grupioni Rezende (Eng. Cartógrafo)

Gilmar Pauli Dias (Geólogo)

Heródoto Goes (Geólogo)

Hiran Silva Dias (Analista de sistemas)

Hortência Maria Barboza de Assis (Geóloga)

Ítalo Prata de Menezes (Geólogo)

Ivan Soares dos Santos (Téc. em Geociências)

Jairo Jamerson Correia de Andrade (Geofísico)

João Batista Freitas de Andrade (Geólogo)

Jorge Pimentel (Geólogo)

Jose Antônio da Silva (Geólogo)

Juliana Moraes (Geóloga)

Júlio Cesar Lana (Geólogo)

Larissa Flávia Montandon Silva (Geóloga)

Leandro Galvanese Kuhlmann (Geólogo)

Loury Bastos Mello (Geóloga)

Lúcia Maria da Costa e Silva (Geóloga)

Luiz Antônio R. Almendra (Téc. em Geociências)

Luiz Gustavo Rodriguez Pinto (Geofísico)

Marcelo Ambrósio Ferrassoli (Geólogo)

Marcelo de Queiroz Jorge (Geólogo)

Marcelo Eduardo Dantas (Geógrafo)

Marcio Junger Ribeiro (Téc. em Geociências)

Márcio Martins Valle (Oceanógrafo)

Maria Adelaide Mansini Maia (Geóloga)

Marília de Araújo Costa Rodrigues (Geofísica)

Nilo Costa Pedrosa Júnior (Geólogo)

Patrícia Durringer Jacques (Geóloga)

Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff (Geólogo)

Rafael Corrêa de Melo (Geólogo)

Ricardo Cavalcanti Santiago (Geofísico)

Ricardo Duarte de Oliveira (Eng. Cartógrafo)

Ricardo Wosniak (Geólogo)

Roberto Gusmão de Oliveira (Geólogo)

Rodrigo Luiz Gallo Fernandes (Geólogo)

Ronaldo Gomes Bezerra (Geólogo)

Rubens Esteves Kenup (Eng. Cartógrafo)

Rubens Pereira Dias (Geólogo)

Sandra Fernandes da Silva (Geóloga)

Thales de Queiroz Sampaio (Geólogo)

Thiago Dutra dos Santos (Geólogo)

Tiago Antonelli (Geólogo)

Valter José Marques (Geólogo)

Vanildo Almeida Mendes (Geólogo)

Victor Augusto Hilquias Silva Alves (Geólogo)

## **ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO**

---

Warley Aparecido Pereira (Jornalista)  
Letícia de Barros Alves Peixoto (Jornalista)  
Pedro Henrique Pereira dos Santos (Comunicador Organizacional)

## **ASSESSORIA JURÍDICA**

---

Vilmar Medeiros Simões (Consultor Jurídico)

## **COLABORAÇÃO E AGRADECIMENTOS**

---

Prof. Dr. Aderson Farias do Nascimento, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)  
Prof. Dr. André Etienne Ferraz, Universidade Federal Fluminense (UFF)  
Prof. Dr. André Ferrari, Universidade Federal Fluminense (UFF)  
Prof. Dr. Emanuel Jardim de Sá, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)  
Geólogo Guilherme Estrela, Ex-diretor de Exploração e Produção da Petrobras  
Prof. Dr. Luiz Antônio Pierantoni Gamboa, Universidade Federal Fluminense (UFF)  
Geólogo Ricardo Latgé Milwart de Azevedo, Conselho-Diretor do Clube de Eng. e Conselheiro do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro (CREA-RJ)  
Prof. Me. Abel Galindo Marques, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)  
Profa. Dra. Regla Toujaguez La Rosa Massahud, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)  
Prof. Me. Nagib Charone, Universidade Federal do Pará (UFPA)  
Governo do Estado de Alagoas  
Prefeitura de Maceió  
Defesa Civil Nacional  
Defesa Civil do Estado de Alagoas  
Defesa Civil de Maceió  
59º Batalhão de Infantaria Motorizada  
Equatorial Energia Alagoas  
United States Geological Survey (USGS)

## **APOIO CPRM**

---

Coordenação de Eventos e Cerimonial (DIG)	Divisão de Cartografia (DICART)
Departamento de Gestão Territorial (DEGET)	Divisão de Informática (DIINFO)
Departamento de Hidrologia (DEHID)	Superintendência Regional de Belém (SUREG-BE)
Departamento de Administração de Material e Patrimônio (DEAMP)	Superintendência Regional de Belo Horizonte (SUREG-BH)
Departamento de Contabilidade, Orçamento e Finanças (DECOF)	Superintendência Regional de Goiânia (SUREG-GO)
Departamento de Informações Institucionais (DEINF)	Superintendência Regional de Manaus (SUREG-MA)
Divisão de Editoração Geral (DIEDIG)	Superintendência Regional de Recife (SUREG-RE)
Divisão de Gestão Territorial (DIGATE)	Superintendência Regional de Salvador (SUREG-SA)
Divisão de Geologia Aplicada (DIGEAP)	Superintendência Regional de São Paulo (SUREG-SP)
Divisão de Sensoriamento Remoto e Geofísica (DISEGE)	Residência de Fortaleza (REFO)
Divisão de Geologia Marinha (DIGEOM)	Residência de Porto Velho (REPO)
Divisão de Economia Mineral e Geologia Exploratória (DIEMGE)	Residência de Teresina (RETE)
Divisão de Geoprocessamento (DIGEOP)	Escritório do Rio de Janeiro
	Sede Administrativa Brasília/DF

## APRESENTAÇÃO

Historicamente, o bairro Pinheiro, localizado no município de Maceió (AL), vem apresentando inúmeras fissuras, trincas, rachaduras e afundamentos em moradias e vias públicas. O fenômeno se intensificou com a forte chuva de verão de 15 fevereiro de 2018 e o evento sísmico de magnitude regional igual a 2,4 de 3 de março de 2018 ocorridos na região, que levaram inclusive à interdição de diversas moradias.

Em decorrência, foi solicitada a presença de técnicos do Serviço Geológico do Brasil - CPRM por meio dos ofícios nº 044/2018 – CEDEC-AL e nº 34/2018 – PJC/MPE/AL para auxiliar na investigação das causas do fenômeno responsável pelos danos gerados a alguns imóveis e vias públicas localizados no bairro Pinheiro, posteriormente identificados também nos bairros vizinhos do Mutange e Bebedouro, o que levou à extensão da investigação.

Os resultados obtidos até a presente data pelos diversos métodos investigativos utilizados pela CPRM no período de junho de 2018 a abril de 2019 estão organizados nos seguintes três volumes, com pormenores sobre a metodologia utilizada, de modo a responder a portaria MME nº 20 de 11 de janeiro de 2019, que se refere à designação do Serviço Geológico do Brasil para elucidar as causas do fenômeno.

➤ **Volume I – Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL): relatório síntese dos resultados nº 1.**

Apresenta os principais resultados obtidos nas investigações de forma resumida e adequada ao público não especialista.

➤ **Volume II – Relatórios Técnicos**

Compreende os seguintes relatórios que embasaram o volume I, que poderão sofrer seja atualização, seja aprofundamento, com o avanço dos trabalhos ou aquisição de novas informações:

- A. Mapa de feições de instabilidade do terreno
- B. Levantamento interferométrico
- C. Levantamento cartográfico
- D. Aspecto geológico e estrutural
- E. Aspecto geomorfológico e do histórico de ocupação do bairro
- F. Caracterização geológico-geotécnica
- G. Geofísica – Radar de Penetração do Solo (GPR) em residências e em vias públicas
- H. Geofísica – Batimetria na lagoa Mundaú
- I. Geofísica – Eletrorresistividade

- J. Geofísica – Gravimetria
- K. Geofísica – Audiomagnetotelúrico (AMT)
- L. Geofísica – Sismologia
- M. Hidrogeologia
- N. Integração de dados geológicos e de extração de sal em ambiente 3D

➤ **Volume III – Sistema de Informações Geográficas**

Reúne as informações vetoriais e matriciais georreferenciadas (geoinformação) utilizadas ou geradas pelo presente estudo, organizadas no Sistema de Informação Geográfica (SIG), para uso em *softwares* de geoprocessamento. Os dados estão no formato *shapefile*, com projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) 25S, Datum SIRGAS2000.

## **SUMÁRIO**

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>LEVANTAMENTO DOS DADOS.....</b>	<b>8</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>9</b>
<b>INTERPRETAÇÕES E MODELAGENS DOS DADOS.....</b>	<b>10</b>
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO .....</b>	<b>13</b>



## **INTRODUÇÃO**

Dados gravimétricos constituem uma ferramenta fundamental para identificar anomalias de massa (maior ou menor densidade nas rochas) para estudos que envolvem o entendimento de arcabouços tectônicos em escala regional ou local.

No contexto deste trabalho, a existência conhecida de camadas naturais com baixa densidade (halita da Formação Maceió/Paripueira) e cavernas feitas pelo homem para exploração do sal torna o método gravimétrico uma ferramenta muito promissora quanto à correlação entre anomalias de massa e os processos de formação de trincas e subsidências que ocorrem nas habitações dos bairros de Pinheiro, Bebedouro e Mutange, localizados sobre e na periferia das áreas com extração de sal-gema.

## LEVANTAMENTO DOS DADOS

O levantamento gravimétrico foi executado com um gravímetro CG-5 Autograv referenciado à Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira estabelecida pelo Observatório Nacional.

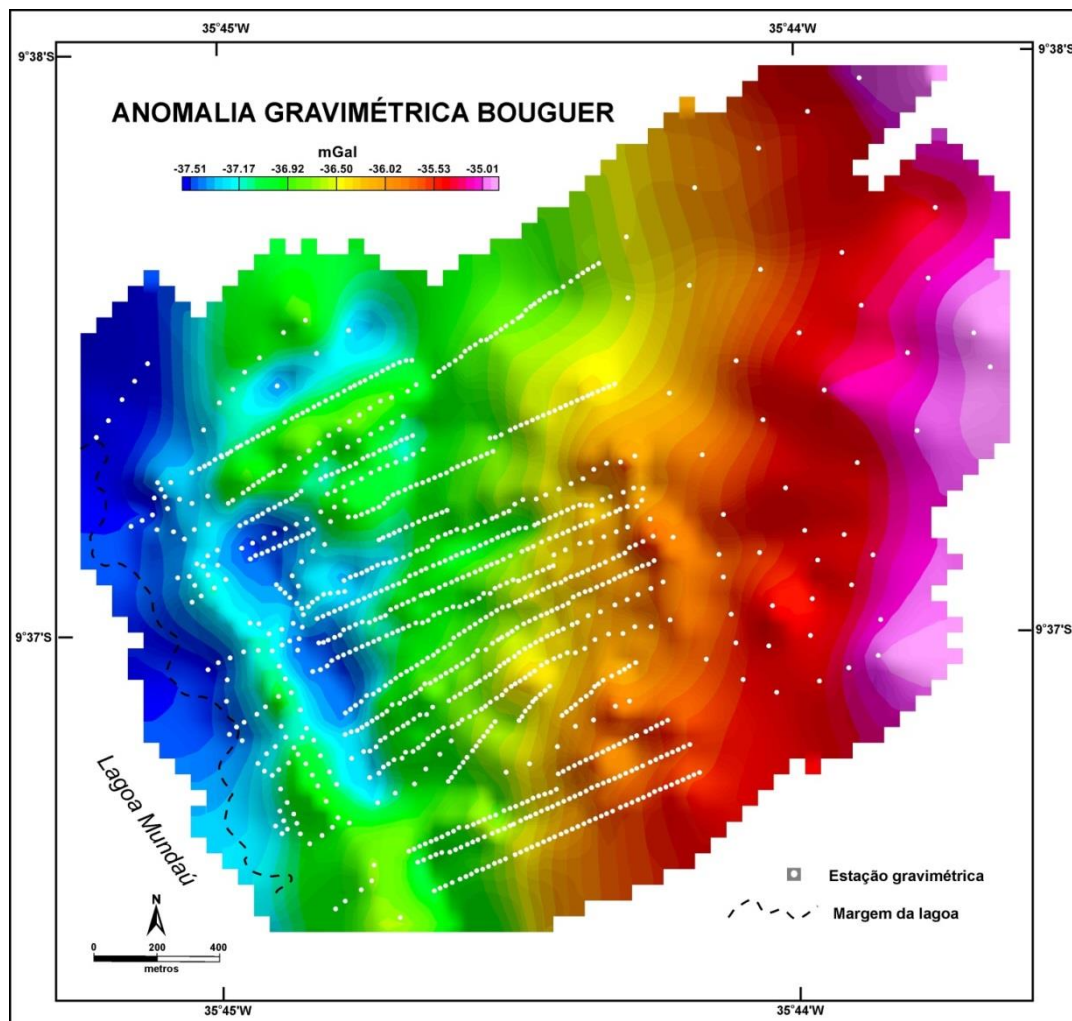
O valor absoluto da gravidade foi transportado da Estação Maceió “B” localizada na RN 369Q do IBGE (35° 44' 08,4"W, 09° 39' 55,6"S, 978141,66±0,04 miliGal abreviatura mGal) para a base de um monumento localizado na Praça Arnon de Mello no Bairro de Pinheiro (35° 44' 34.84"W, 9°37'59.45"S,  $g = 978129,78$  mGal).

O levantamento altimétrico foi realizado com aparelhos GPS geodésicos diferenciais de modelo GTR-G2. Foi adotado o método estático, com manutenção de um GPS fixo em uma base com altitude precisa e previamente conhecida, e um GPS itinerante ocupando as novas estações.

As medidas com o GPS itinerante foram efetuadas simultaneamente com o levantamento dos dados gravimétricos. Os dados altimétricos foram processados por meio do *software* GTR-Processor 2.80. A incerteza média dos valores de altitude geométrica foi inferior a 3,0 centímetros (cm). As altitudes ortométricas foram calculadas pela incorporação da ondulação do geóide por meio do *software* MAPGEO2015 do IBGE.

## RESULTADOS

Foram levantadas 1.000 novas estações gravimétricas (Fig. 1) em duas etapas de campo (4 a 23 de fevereiro e 18 de março a 6 de abril de 2019). Os dados gravimétricos foram processados por meio do *software* Oasis Montaj da Geosoft, módulo Gravity. Foram calculados a deriva instrumental, a gravidade normal (fórmula de 1984), o valor da gravidade, a correção da maré e as anomalias ar-livre e Bouguer referenciadas à superfície do geóide. No cálculo da anomalia Bouguer foi adotada a densidade média da topografia de 2,20 gramas/cm<sup>3</sup>. No cálculo final da anomalia Bouguer Completa foi incorporada a correção de terreno empregando a malha topográfica do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da NASA. Os dados de anomalia Bouguer foram interpolados em uma malha de 50 x 50 metros<sup>2</sup> pelo método de curvatura mínima (Fig. 1).

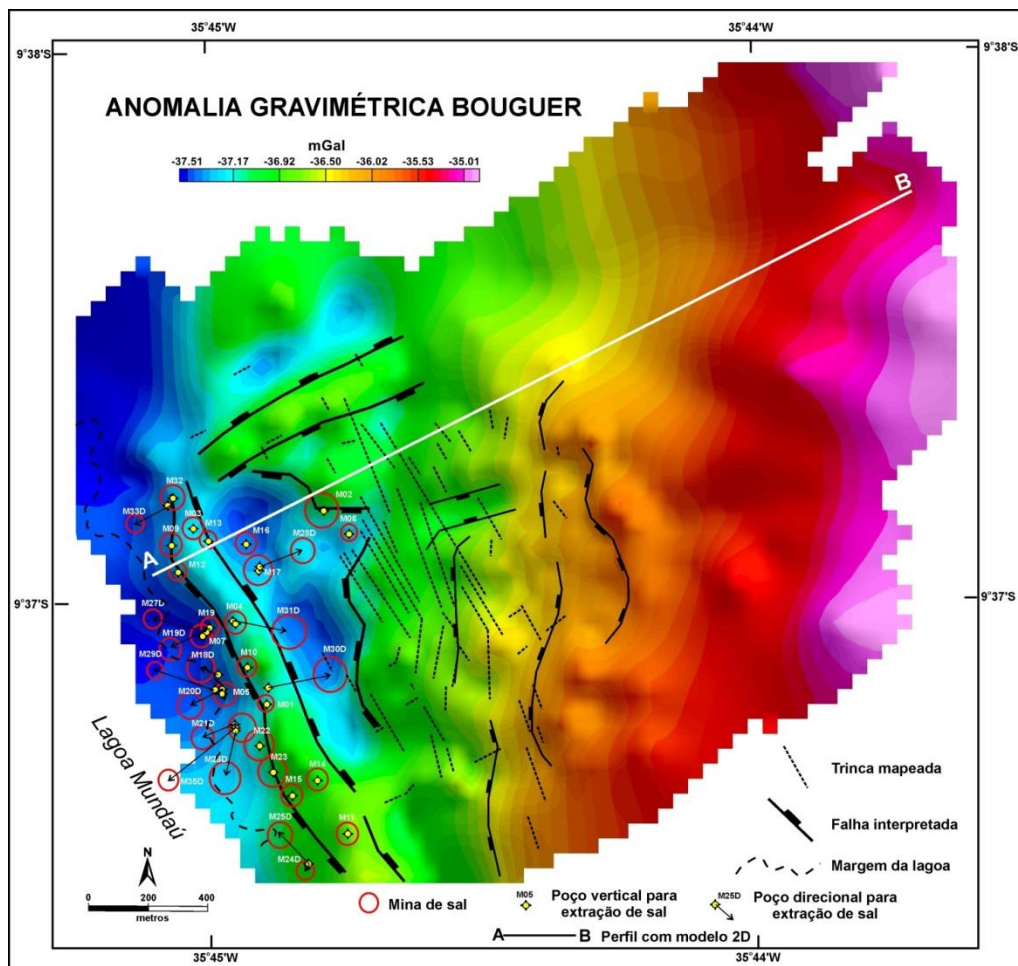


**Figura 1.** Anomalia gravimétrica Bouguer com localização das 1.000 estações gravimétricas empregadas para a interpolação dos dados pelo método da mínima curvatura em uma malha de 50 m x 50 m.

## INTERPRETAÇÕES E MODELAGENS DOS DADOS

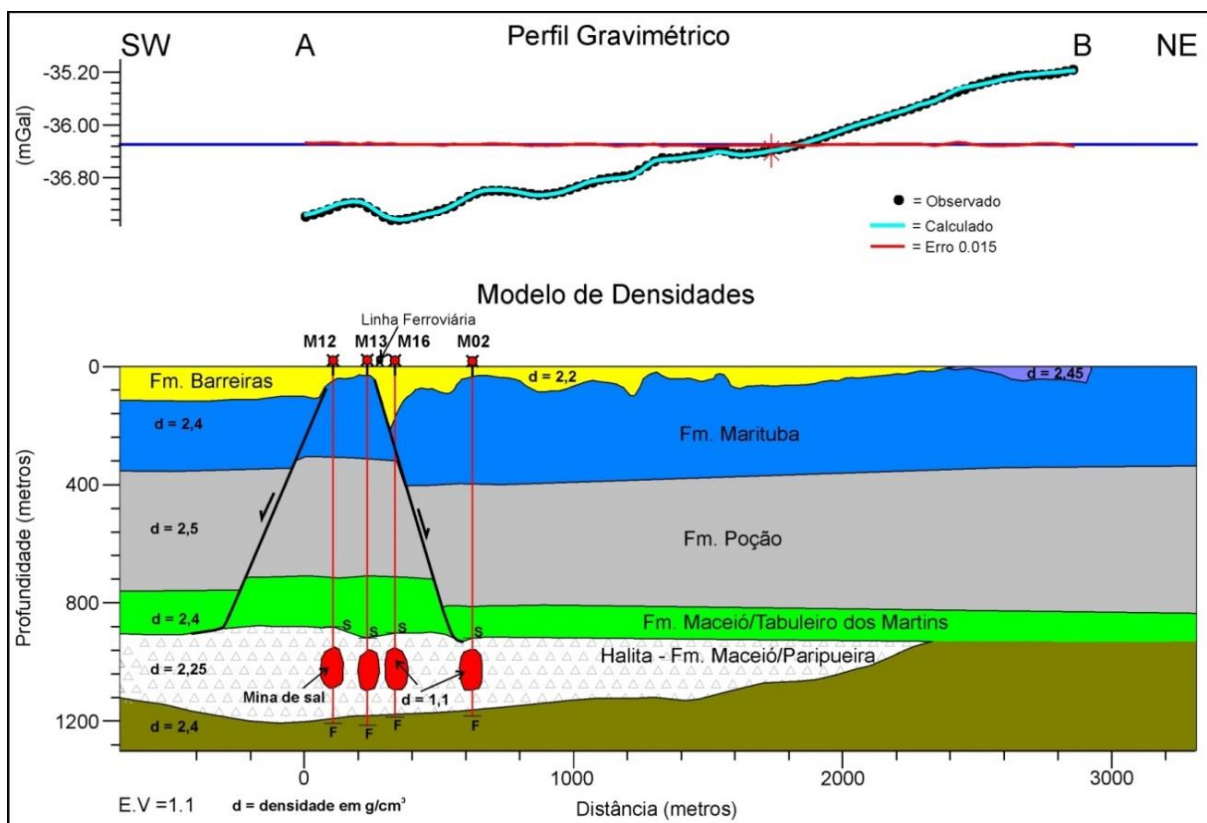
Os dados foram interpretados por meio de métodos qualitativos e quantitativos. A quantificação dos dados por meio de modelagens diretas e inversas corroborou as interpretações qualitativas.

A análise dos dados de anomalia Bouguer indicou a existência de três assinaturas principais (Fig. 2): i) gradiente negativo no sentido oeste que indica o aumento da espessura da camada de sal-gema nessa direção; ii) anomalias negativas localizadas nas regiões do Mutange e Bebedouro com eixos na direção NNW-SSE, associadas com o aumento da espessura da camada sedimentar mais rasa (Grupo Barreiras) e iii) alinhamentos gravimétricos positivos emparelhados com as anomalias negativas que indicam a existência de falhas normais nas direções NNW-SSE e NE-SW, que controlaram a deposição de sedimentos.



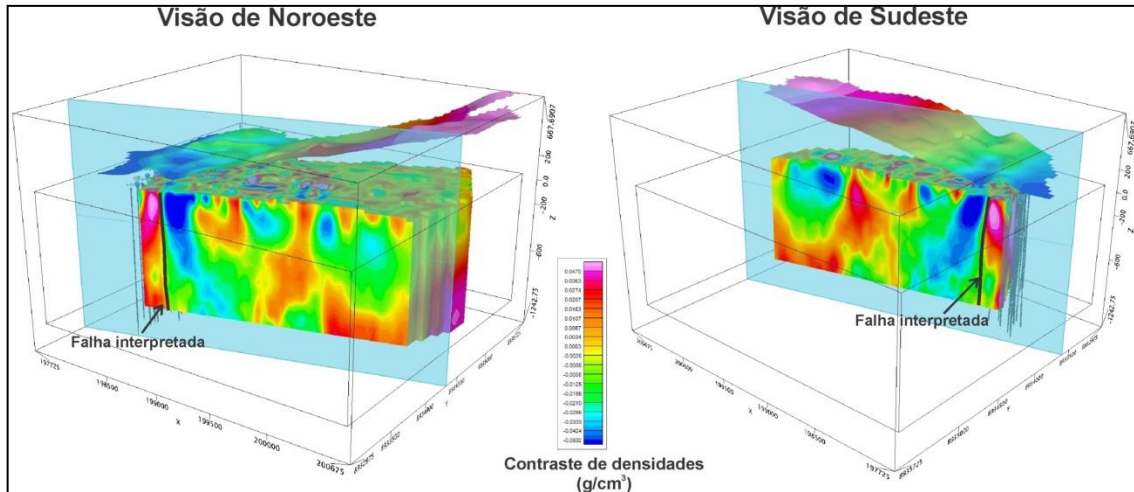
**Figura 2.** Anomalia gravimétrica Bouguer com interpretações de falhas e sobreposição da localização em planta dos poços usados para a extração de sal-gema e das trinças mapeadas. O traço branco A-B localiza o perfil gravimétrico utilizado na modelagem 2,5D.

A trama estrutural das falhas interpretadas (Fig. 2) demonstra a existência de um contexto local de sedimentação e tectônica que se desenvolveu mediante a reativação de falhas originadas durante a formação da bacia. As estruturas, identificadas localmente, replicam em escala menor o arcabouço regional da bacia. Adicionalmente, a forte correlação entre essas estruturas e o espessamento da camada de sal-gema subjacente indica que o desenvolvimento desta trama tectônica pode estar associado com a movimentação desta camada (halocinese). O aumento local de espessura dos sedimentos da Grupo Barreiras, identificado qualitativamente nos dados de anomalia Bouguer e quantitativamente na modelagem direta (Fig. 3), sugere que o processo tectônico que permitiu o aporte de sedimentos na área ocorreu em idade posterior ou simultânea à deposição desta formação.



**Figura 3.** Modelo de densidades 2,5D do perfil A-B. Observam-se em seção o espessamento da camada de sal no sentido sudoeste, a importância das cavernas no ajuste do balanço de massa e a existência de uma trama estrutural na região de extração da sal-gema. O modelo demonstra que o percurso da perfuração do poço M16 intercepta o plano da falha interpretada.

A correlação entre a zona de falha com direção NNW-SSE e a posição dos poços indica que o processo de extração de sal-gema interferiu diretamente na trama tectônica-estrutural descrita (Figs. 2, 3 e 4).



**Figura 4.** Modelo de densidades 3D obtido por modelagem inversa dos dados gravimétricos. A distribuição de densidades permitiu a interpretação em profundidade de uma zona de falha. Esta zona de falha identificada nos dados de anomalia Bouguer (Fig. 2) está localizada na área de extração de sal-gema e pode estar sendo reativada por efeitos colaterais da atividade mineira, produzindo a subsidência observada nos dados de interferometria.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÃO**

A observação, interpretação e modelagem dos dados gravimétricos permitem as seguintes conclusões:

- i) Não há evidências da existência de uma falha lítrica no bairro do Pinheiro;
- ii) Não há evidências de anomalias de massa que indiquem a existência de grandes vazios em profundidades rasas no bairro do Pinheiro que favoreçam a formação de estruturas de abatimento com grande intensidade ou mesmo formação de dolinas;
- iii) A maioria das trincas mapeadas no bairro do Pinheiro corresponde a estruturas paralelas às falhas com direção NNW-SSE que ocorrem nos bairros de Mutange e Bebedouro;
- iv) Os dados confirmaram o aumento da espessura da camada de sal-gema no sentido oeste e a formação de um pequeno domo (ou almofada) salino na região onde ocorre a extração do sal-gema;
- v) A correlação entre zonas de falha com direção NNW-SSE que ocorrem nos bairros do Mutange e Bebedouro e a localização das minas de sal-gema indica que o processo de extração de sal-gema interferiu diretamente na trama estrutural da região e favoreceu a reativação dessas estruturas;
- vi) Os modelos gravimétricos demonstram que algumas trajetórias das perfurações interceptam o plano de falha com direção NNW-SSE, sugerindo que deformações nas tubulações estão relacionadas com a reativação desta falha.

Recomenda-se a realização de levantamento aerogravimétrico que ocupe toda a área de estudo, incluindo a lagoa do Mundaú, com a finalidade de ampliar o conhecimento e a integração dos resultados obtidos nas diversas investigações.