



Aplicação do Método Gravimétrico Para Estudo da Geologia de Sub-superfície na Área do Campus Universitário do Pici e no Município de Fortaleza

Karen Maria Leopoldino OLIVEIRA¹, Cláudia Estefani Rodrigues SARAIVA¹,
Caio César Alves JUCÁ¹, Eduardo Nunes Capelo ALVITE¹, Francisco Fernando
Barros dos SANTOS FILHO¹, Nilton César Vieira da SILVA¹, Raimundo Mariano
Gomes Castelo BRANCO¹, Nilo Costa PEDROSA JUNIOR²

RESUMO: Os métodos gravimétricos apresentam grande importância em investigações da geologia de subsuperfície devido à sua aplicabilidade diversificada, sendo utilizada desde na exploração de hidrocarbonetos até estudos geológicos, como na investigação de estruturas de grande e média escala. Assim, a fim de capacitar a equipe de pesquisadores do Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR), realizou-se uma aquisição de dados gravimétricos na área do Campus Universitário do Pici, os quais foram integrados com estações gravimétricas do município de Fortaleza oriundas do banco de dados do LGPSR, onde posteriormente foram processados e interpretados, permitindo a identificação de estruturas geológicas e tectônicas. A interpretação desses dados permitiu identificar anomalias positivas, entre 0,1 a 0,6 mGal, na área do Campus Universitário do Pici, as quais podem ser associadas a presença de rochas mais densas ou a altos no embasamento cristalino, além da presença de lineamentos com direção principal de NE-SW. Para o município de Fortaleza e adjacências, verifica-se um aumento no campo gravitacional de sul para norte, este pode ser associado ao afinamento crustal característico da margem continental passiva do Nordeste Brasileiro, e, também, lineamento principais na direção NW-SE. A Deconvolução de Euler permitiu identificar, para a área do Campus do Pici, estruturas rasas possivelmente associadas à Formação Barreiras e, para o município de Fortaleza, foram identificadas estruturas com profundidade entre 1000 e 2000 metros que podem ser correlacionadas a descontinuidades e falhamentos provocados pela tectônica recente e/ou reativação de falhas mais profundas no embasamento cristalino. Foi gerado um modelo geológico 2D para o Campus do Pici, visando caracterizar a geometria e a profundidade das unidades geológicas, o qual teve seu resultado corroborado por meio do perfil construtivo do poço tubular do LGPSR –UFC.

¹ Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto – LGPSR/DEGEO – Universidade Federal do Ceará

² Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Autor para correspondência: Karen Maria Leopoldino Oliveira

LGPSR – Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto – Departamento de Geologia – Universidade Federal do Ceará. Avenida Mister Hull, s/n. Campus Universitário do Pici – Bloco 912, Fortaleza, CEP 60.455-760.

E-mail: karenleopoldino@gmail.com

Recebido em 30 de Agosto de 2017 / Aceito em 16 de Novembro de 2017.

Palavras chave: Gravimetria, Campus do Pici, Município de Fortaleza.

ABSTRACT: *The gravimetric methods are very important in subsurface geology surveys due to their diverse applicability, and have been used since hydrocarbons exploration until geological studies, such as in the investigations of large and medium scale structures. In order to enable the researchers team of the Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR), an acquisition of gravimetric data was executed in the area of Campus do Pici, this data were integrated with gravimetric stations of Fortaleza originated from LGPSR database, and were processed and interpreted, allowing to uncover geological and tectonic structures. The interpretation allowed to find out the positive anomalies, between 0.1 and 0.6 mGal, in Campus do Pici, which can be associated with high-density rocks or horst, and NE-SW lineaments. In Fortaleza city and its surroundings, there is an increase from south to north in the gravitational field, this can be associated with the crustal thinning of the passive continental margin in Northeast of Brazil, as well as lineaments in the first NW-SE order direction. The Euler deconvolution allowed to identify, for the Campus do Pici area, shallow structure possibly associated to the Barreiras Formation, for Fortaleza municipality, have been identified structures with depths between 1000 and 2000 meters that can be correlated to discontinuities and failures caused by recent tectonic activity and/or reactivated faults in crystalline basement. The 2D geological model was generated for Campus do Pici, aiming the characterization of the geometry and depth of the geological units, which had its results corroborated by the constructive section of the LGPSR-UFC's tubular well.*

Keywords: Gravimetry, Campus do Pici, Fortaleza City.

1. INTRODUÇÃO

O método gravimétrico caracteriza-se por mensurar as variações do campo gravitacional da terra que são causadas pela diferença de densidade das rochas em subsuperfície. Este método foi amplamente utilizado em pesquisas destinadas a óleo e gás, principalmente no início do século XX, sendo aplicado até os dias atuais na exploração de hidrocarbonetos. Pode ser empregado, também, em estudos geológicos regionais, como na investigação de estruturas de grande e média escala, exploração e determinação de massa de depósitos minerais, detecção de cavidades em subsuperfície (micro gravimetria), estudos hidrogeológicos para a determinação da geometria de potenciais aquíferos, dentre outras finalidades (REYNOLDS, 2011; KEAREY, 2009).

A gravimetria, comparada a outros métodos geofísicos como a sísmica de reflexão, possui técnicas de aquisição e processamento menos complexas e mais rápidas, além de necessitar de equipes de campo menores (PEDROSA JUNIOR, 2010), diminuindo, assim, os custos.

Devido ao exposto, o objetivo principal deste trabalho é capacitar o grupo de pesquisadores do Laboratório de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto (LGPSR) na aquisição, processamento e, principalmente, interpretação de dados gravimétricos, além disso, aprofundar o conhecimento que já se tem, através de métodos elétricos, na região do campus. Foram realizados levantamentos gravimétricos na área do Campus Universitário do Pici e, juntamente com as estações do município de Fortaleza

presentes no banco de dados do LGPSR, foram elaborados mapas que contribuíram para o conhecimento de estruturas geológicas e tectônicas locais e regionais.

2. ÁREA DE ESTUDO

O município de Fortaleza situa-se na porção nordeste do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil, abrangendo uma área de 314,930 km² (IBGE, 2016).

Quanto à litoestratigrafia, Fortaleza apresenta, em sua porção sul e oeste, rochas pertencentes à Unidade Canindé (Complexo Ceará), que se caracteriza por apresentar paragneisses em distintos níveis de metamorfismo/migmatização, ortogneisses e rochas metabásicas (CAVALCANTE *et al.*, 2003). No extremo leste ocorrem rochas vulcânicas alcalinas, as quais podem ser associadas ao vulcanismo terciário do arquipélago de Fernando de Noronha, sendo classificadas como fonolitos e traquitos

(Magmatismo Messejana). A Formação Barreiras, aflorante na região centro-norte do município, é constituída por sedimentos areno-argilosos, de coloração avermelhada, não ou pouco litificados (BRANDÃO, 1998). Ocorrem, também, coberturas colúvio-eluviais que se distribuem de forma irregular na área, além dos depósitos eólicos litorâneos sobrepondo-se aos sedimentos da Formação Barreiras (Figura 1). Na área do Campus Universitário do Pici ocorre a predominância de rochas da Formação Barreiras.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No Campus do Pici e adjacências, visando a especialização dos membros do LGPSR, foram coletadas 187 estações gravimétricas, totalizando 15 dias de aquisição, em uma área de 4 km² e espaçamento de 100 m aproximadamente (Figura 2).

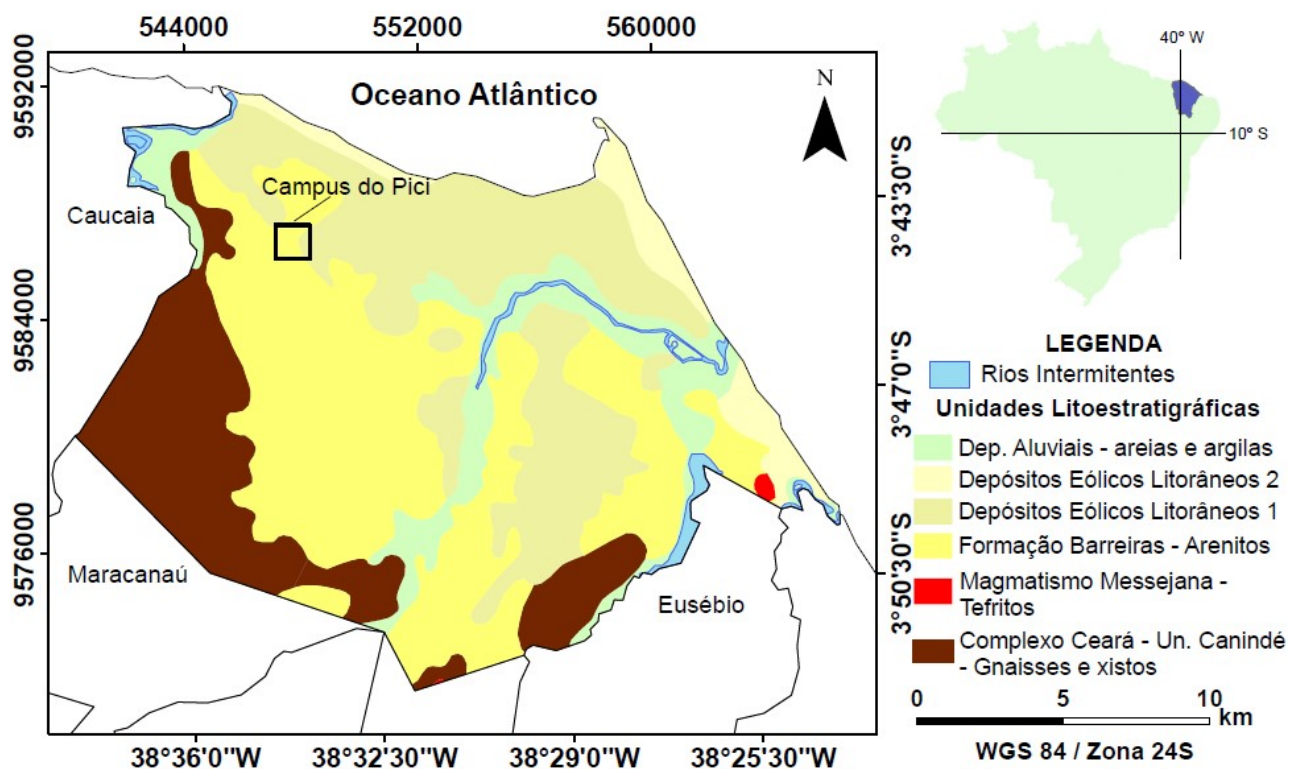


Figura 1: Mapa geológico simplificado do município de Fortaleza.

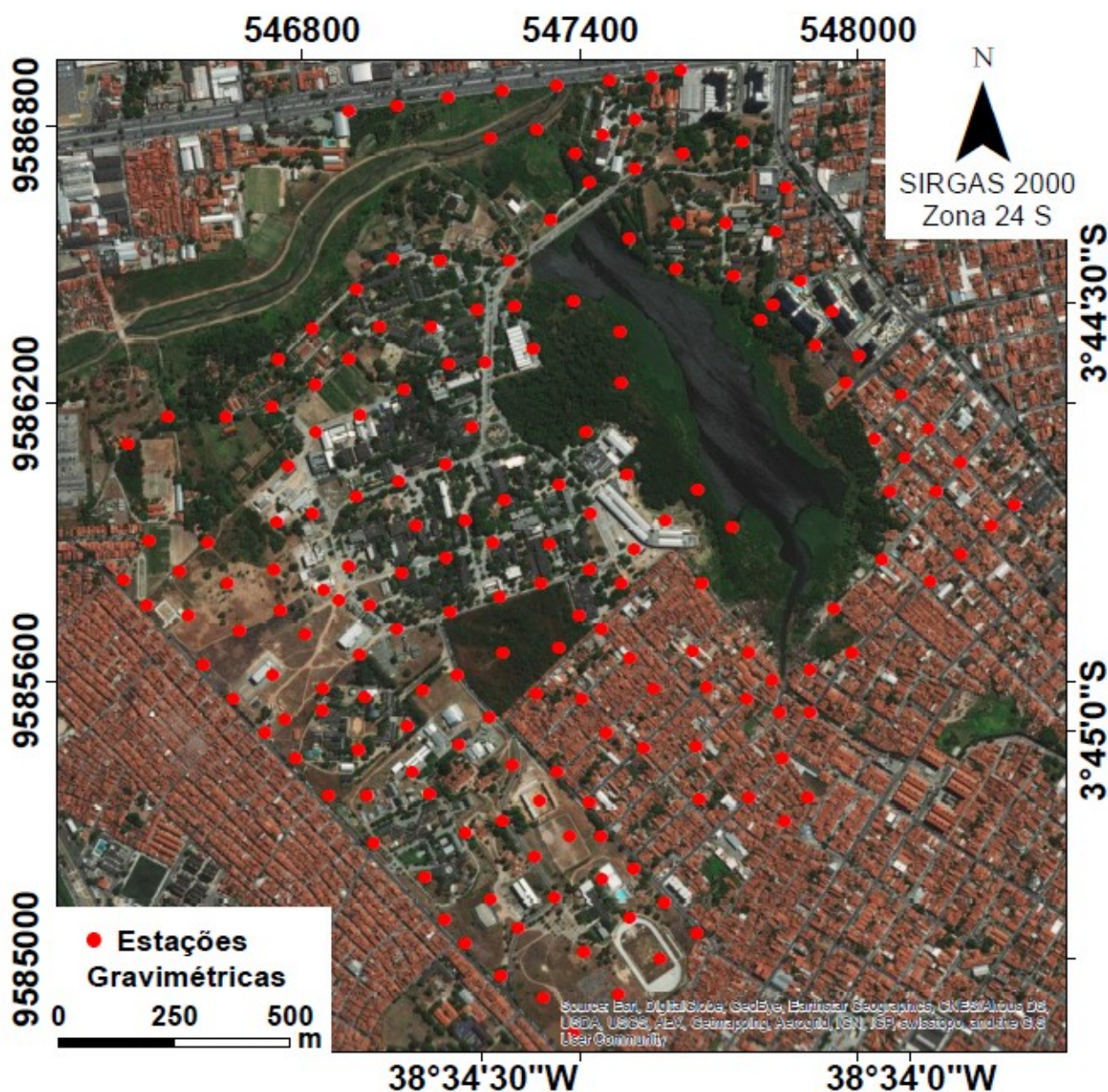


Figura 2: Estações gravimétricas levantadas no Campus do Pici.

Utilizaram-se, também, dados gravimétricos terrestres do município de Fortaleza oriundos do banco de dados do LGPSR, os quais foram realizados por outras instituições de pesquisa e órgãos governamentais (ON e IBGE), bem como dados da GEODAS (Geophysical Data System – NOAA) e do Projeto EQUANT I (Petrobras/Oregon State University). As informações adquiridas através do Banco de dados totalizaram 345 estações (Figura 3).

Para a aquisição das estações gravimétricas terrestres, o equipamento utilizado foi o gravímetro digital modelo CG – 5 fabricado pela SCINTREX, com precisão na ordem de 0,001 mGal, cedido pelo LGPSR. Simultaneamente, realizou-se um levantamento planialtimétrico com um GPS diferencial da Topcon modelo Hiper II, com precisão da ordem de 10 mm, cedido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). (Figura 4a).

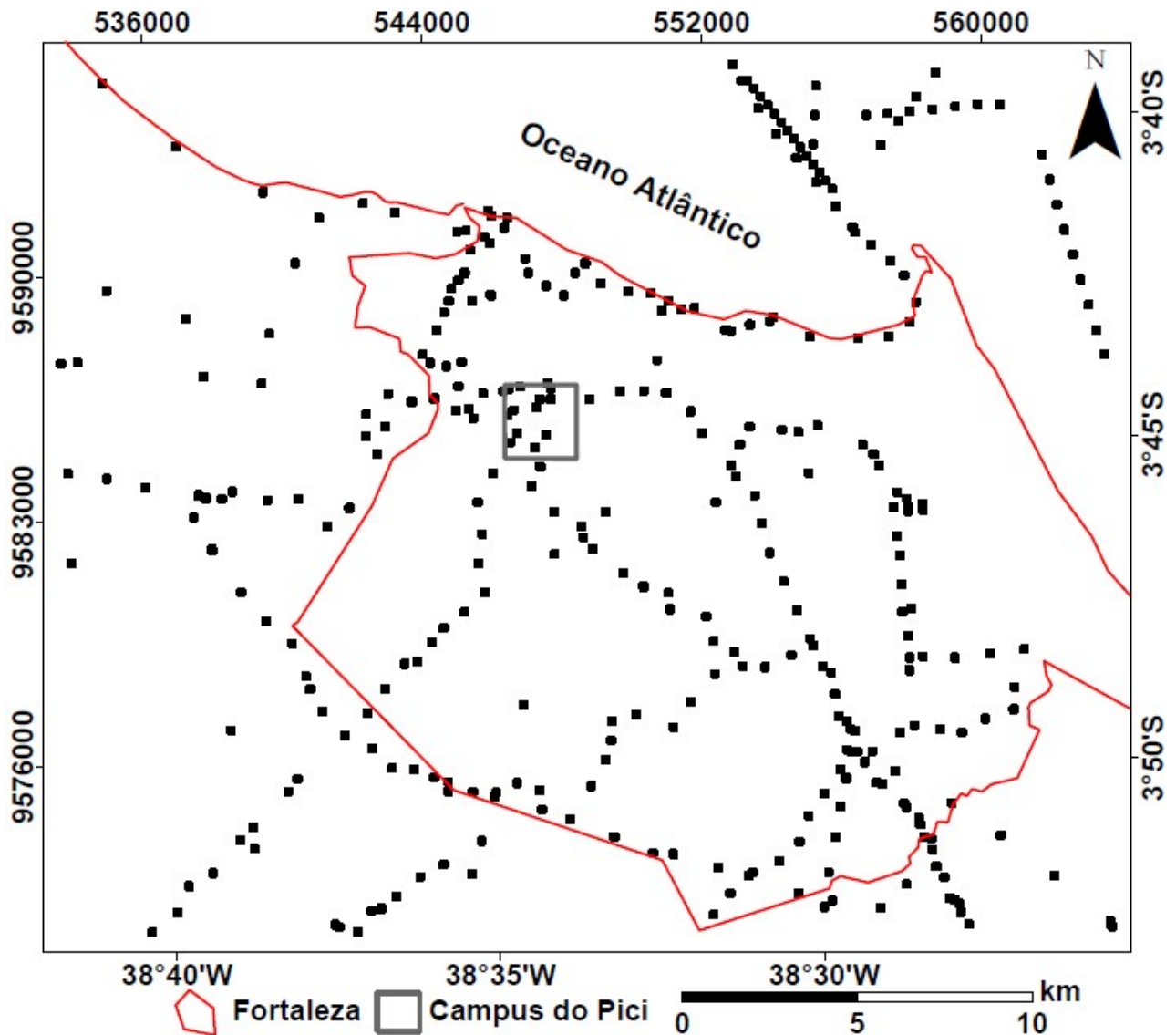


Figura 3: Estações gravimétricas do município de Fortaleza e adjacências oriundas do banco de dados.

Inicialmente foram coletadas informações cartográficas da área do campus do Pici, visando identificar melhores vias de acesso para realização da malha de aquisição. Posteriormente, depois de coletadas as informações, estas estações gravimétricas foram importadas para o software Oasis Montaj da GEOSOFT, no qual foram realizadas todas as correções necessárias, entre elas as correções de maré, drift (deriva instrumental), latitude, Ar-livre e Bouguer simples. Os mesmos encontram-se referenciados em relação à estação

gravimétrica de segunda ordem do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) localizada no prédio do LGPSR, este se encontra nas coordenadas geográficas: 38°34'38,24898"W e 03°44'51,64822"S e possui altitude ortométrica de 25,798 m, com gravidade no valor de 978069,08825 mGal (Figura 4b). De acordo com as novas leituras obtidas na última visita do IBGE em agosto de 2015, a estação encontra-se nas seguintes coordenadas: 38°34' 38,25106"W e 03°44'51,64917"S, com uma altitude ortométrica de

25,6144 m e gravidade de 978069,08 mGal. Para o processamento dos dados em questão, foram utilizadas as primeiras informações pois a aquisição e processamento foram feitos antes das novas leituras.

Por fim, após as devidas correções, os novos dados foram integrados com o conjunto de dados da região de Fortaleza no software Oasis Montaj, com arquivos dispostos no formato XYZ, totalizando 532 estações.

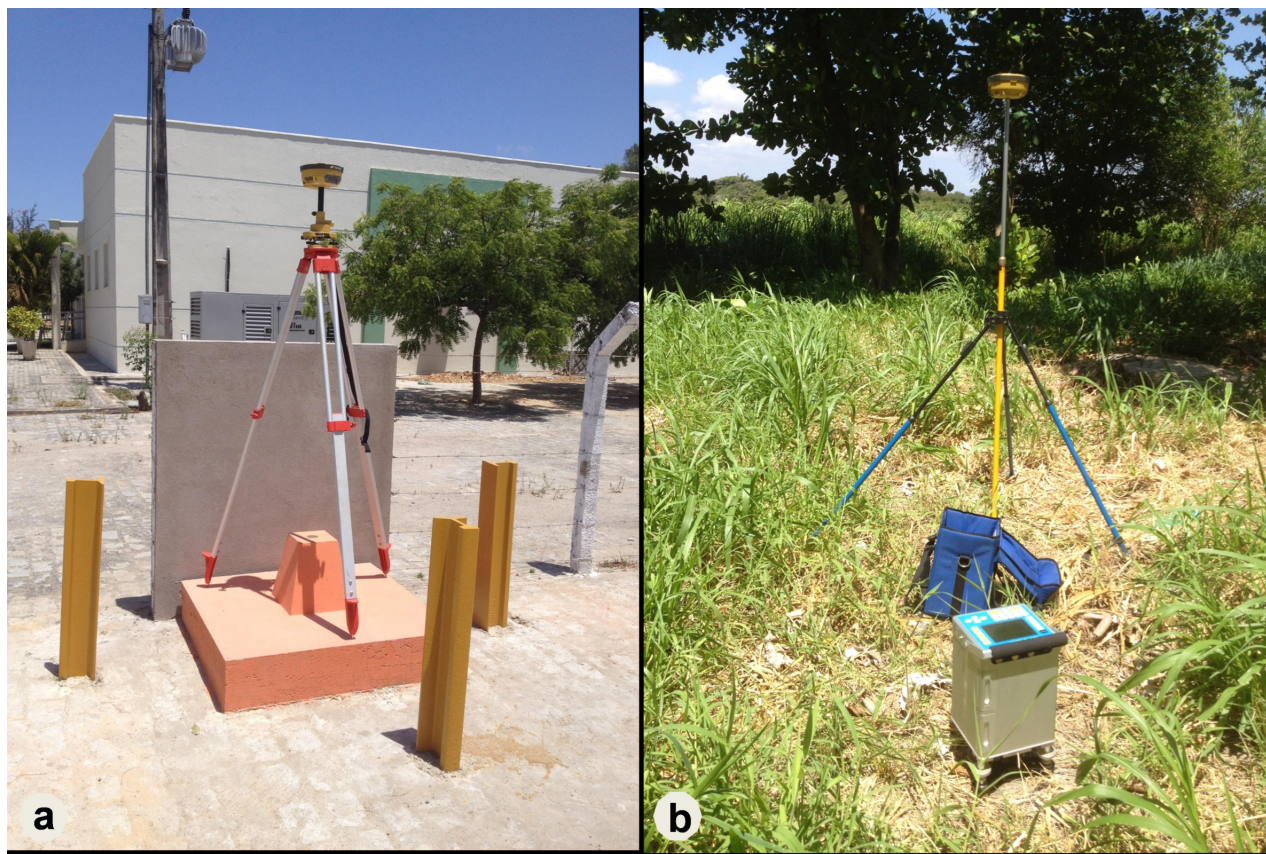


Figura 4: a) Marco gravimétrico do LGPSR/IBGE; e b) Gravímetro e GPS diferencial utilizado no levantamento terrestre e a) Marco gravimétrico do LGPSR/IBGE.

4. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Inicialmente, o processamento consistiu na elaboração de mapas temáticos por meio da interpolação dos dados utilizando o método kriging. Foram elaborados mapas de anomalia Bouguer para o Campus do Pici, com 187 estações (Figura 5), em uma malha regular de 25 metros, e para o município de Fortaleza, com 345 estações (Figura 6), em uma malha regular de 500 metros.

A anomalia Bouguer caracteriza-se, geralmente, por apresentar anomalia regional ampla, com uma suave variação, sobre a qual podem ser superpostas anomalias locais com menor comprimento

de onda (KEAREY, 2009). Assim, para uma melhor interpretação das estruturas rasas e profundas, utilizou-se um filtro de separação regional-residual, para o mapa de anomalia Bouguer do Campus do Pici e do município de Fortaleza, o qual baseia-se na distribuição gaussiana das fontes gravimétricas em função de suas profundidades. Este consiste em um operador matemático que atua como passa-baixa ou passa-alta das frequências do sinal escolhido no domínio do número de onda.

Visando obter melhores resultados dos intervalos de número de ondas

adequados para a separação dos componentes rasos e profundos, foi gerado um espectro de potência dos dados de anomalia Bouguer das regiões do Campus do Pici e de Fortaleza (SPECTOR & GRANT, 1970). De acordo com Oliveira (2008), esse valor refere-se

a um ponto na curva do espectro, o qual é aproximado por retas, correspondendo a junção destas, onde os parâmetros inclinação e intercepto representam os componentes espectrais de fontes profundas e rasas.

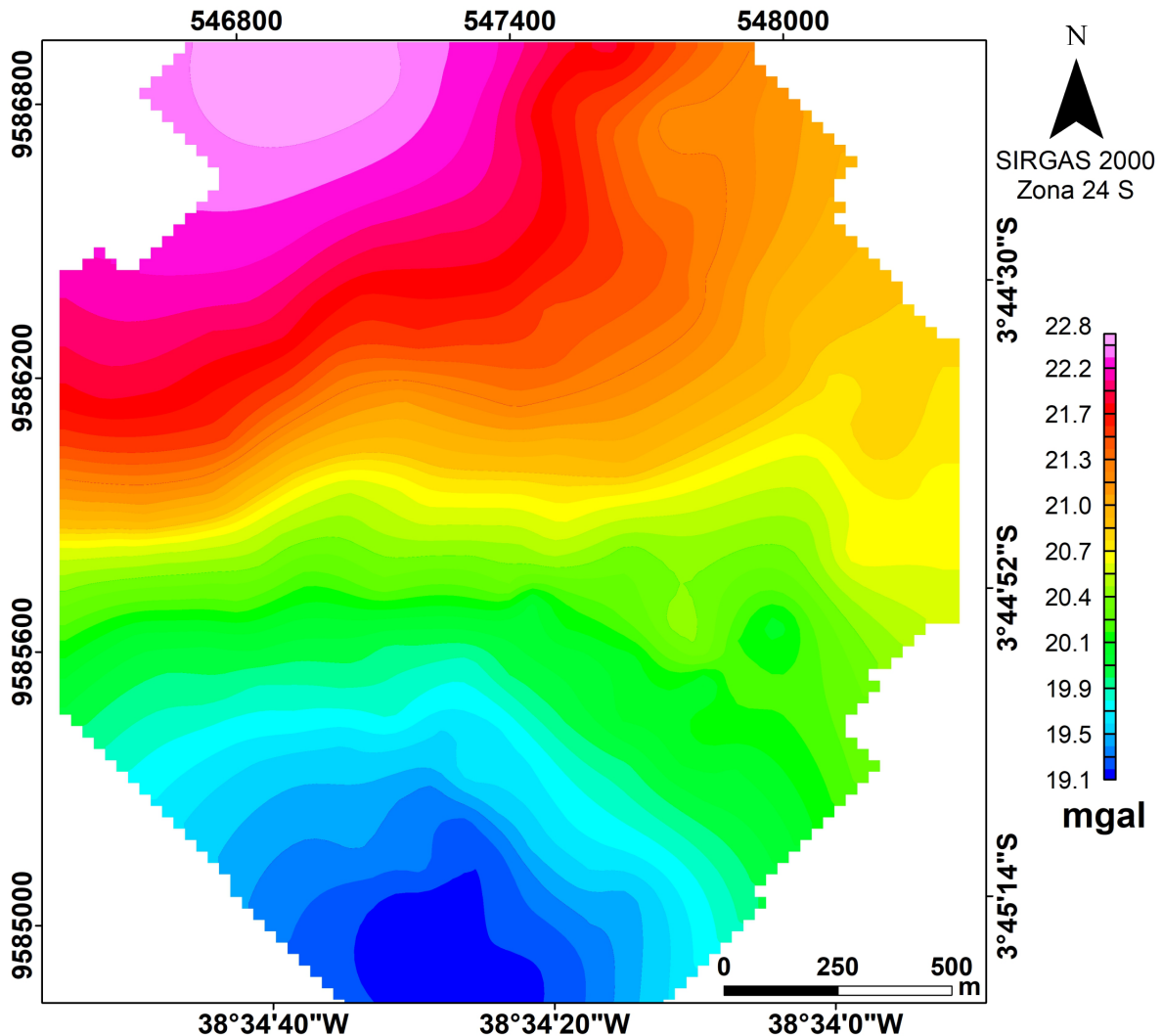


Figura 5: Mapa de anomalia Bouguer para a região do Campus do Pici.

Outro procedimento mais complexo e rigoroso utilizado para a interpretação quantitativa e estimativa das fontes gravimétricas, onde são adotadas as derivadas horizontais e verticais, foi a Deconvolução de Euler 3-D. Este foi realizado no mapa de anomalia Bouguer Residual, a fim de estimar a profundidade das principais fontes gravimétricas de maior frequência.

De acordo com Barbosa & Silva (2005), uma das grandes vantagens da Deconvolução de Euler é fornecer uma rápida estimativa da localização e da geometria das fontes anômalas. A geometria da fonte ou grau de complexidade tem como índices: 0 – para contatos simples; 1 – para diques e sills; 2 – para um cilindro horizontal ou vertical; 3 – para um corpo com forma

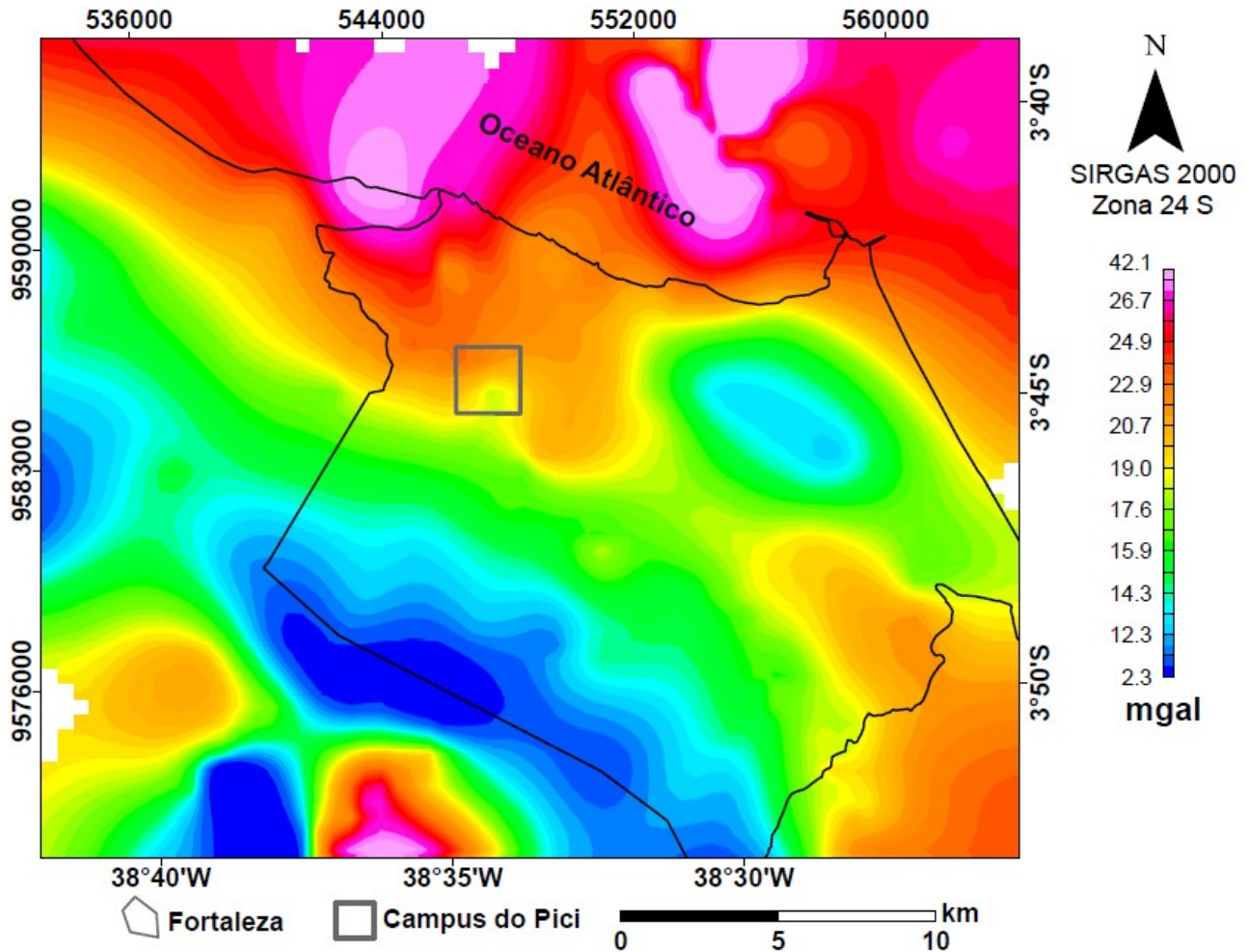


Figura 6: Mapa de anomalia Bouguer para a região de Fortaleza e adjacências.

tridimensional. Outro parâmetro que também pode ser identificado é o tamanho da janela espacial, auxiliando na localização de uma determinada fonte.

Para o Campus do Pici, o índice que mais homogeneizou as nuvens de soluções foi 0, com janela espacial de 250 metros e tolerância máxima da profundidade em 15%. Já para a região de Fortaleza foram inseridos os seguintes parâmetros: índice estrutural – 1, Janela espacial – 5.000 metros e tolerância máxima da profundidade de 15%. Vale ressaltar que esses parâmetros foram obtidos de forma interativa, onde analisou-se os resultados de acordo com as mudanças obtidas.

5 .RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Região do Campus do Pici

5.1.1 Espectro de potência

Os resultados obtidos para os dados gravimétricos na região do Campus do Pici demonstram que o comprimento de onda ideal é 500 metros, onde as componentes rasas correspondem aos comprimentos de onda menores que 500 metros, enquanto as profundas apresentaram maior comprimento de onda (>500 m). Na região, constata-se que fontes mais profundas se encontram a 300 metros de profundidade, enquanto as rasas situam-se entre 50 e 100 metros (Figura 7).

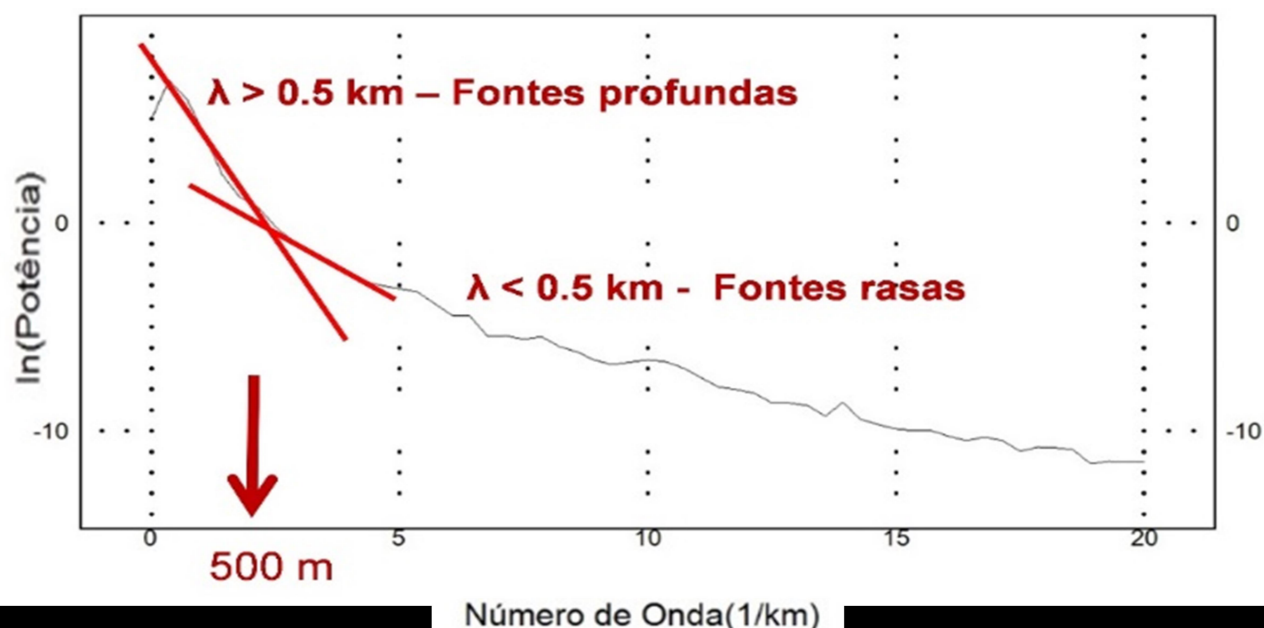


Figura 7: Espectro de potência radial do campo gravimétrico para a região do Campus do Pici.

5.1.2 Mapas de anomalia Bouguer Regional e Residual

Conforme explicado anteriormente, para melhor interpretação das estruturas rasas e profundas, aplicou-se um filtro regional-residual para o mapa do Campus do Pici. As anomalias gravimétricas regionais apresentam longo comprimento de onda e gradiente gravimétrico positivo suave, com variação entre 19,2 a 22,7 mGal de sul para norte e eixo principal na direção NNW-SSE (Figura 8a).

Para as anomalias gravimétricas residuais, nota-se um relevo pouco acidentado, com anomalias negativas e positivas de médio a longo comprimento de onda, com variação entre - 0,7 a 0,6 mGal (Figura 8b). Foram identificados dois trends ortogonais nas direções NE-SW e NW-SE, os principais lineamentos ocorrem na direção NE-SW, enquanto os secundários dispõem-se na direção NW-SE.

Destaca-se, na porção noroeste da área, a presença de anomalias positivas na direção NE-SW, com valores entre 0,1 a 0,6 mGal, as quais podem representar

rochas de caráter mais denso em subsuperfície, supostamente associadas ao Magmatismo Messejana, aflorante no extremo leste do município de Fortaleza, ou a um alto do embasamento cristalino (*horst*).

5.1.3 Deconvolução de Euler

Na Deconvolução de Euler gerada com os dados coletados no Campus do Pici, observam-se soluções entre 15 e 160 metros de profundidade (Figura 9). Estas podem estar associadas a estruturas rasas situadas abaixo dos sedimentos da Formação Barreiras. É perceptível que as descontinuidades /falhas, com direções NE-SW e NW-SE, que estão distribuídas em todo o Campus, são compatíveis para o padrão estrutural regional do município de Fortaleza. Identificando-se, também, uma possível redução na profundidade das fontes nas direções norte e sul.

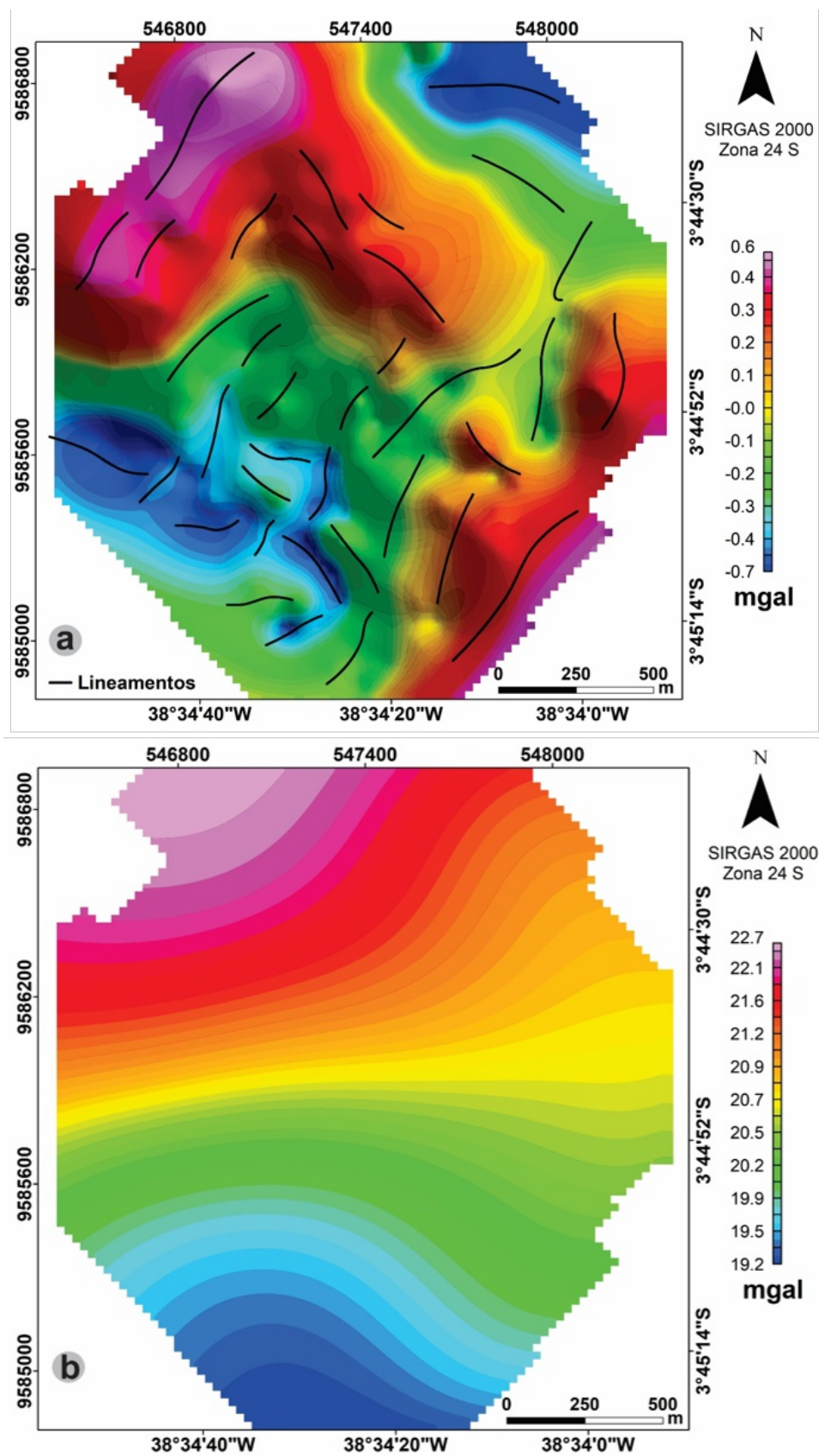


Figura 8: a) Mapa de anomalia Bouguer Regional; b) Mapa de anomalia Bouguer Residual com os lineamentos gravimétricos interpretados.

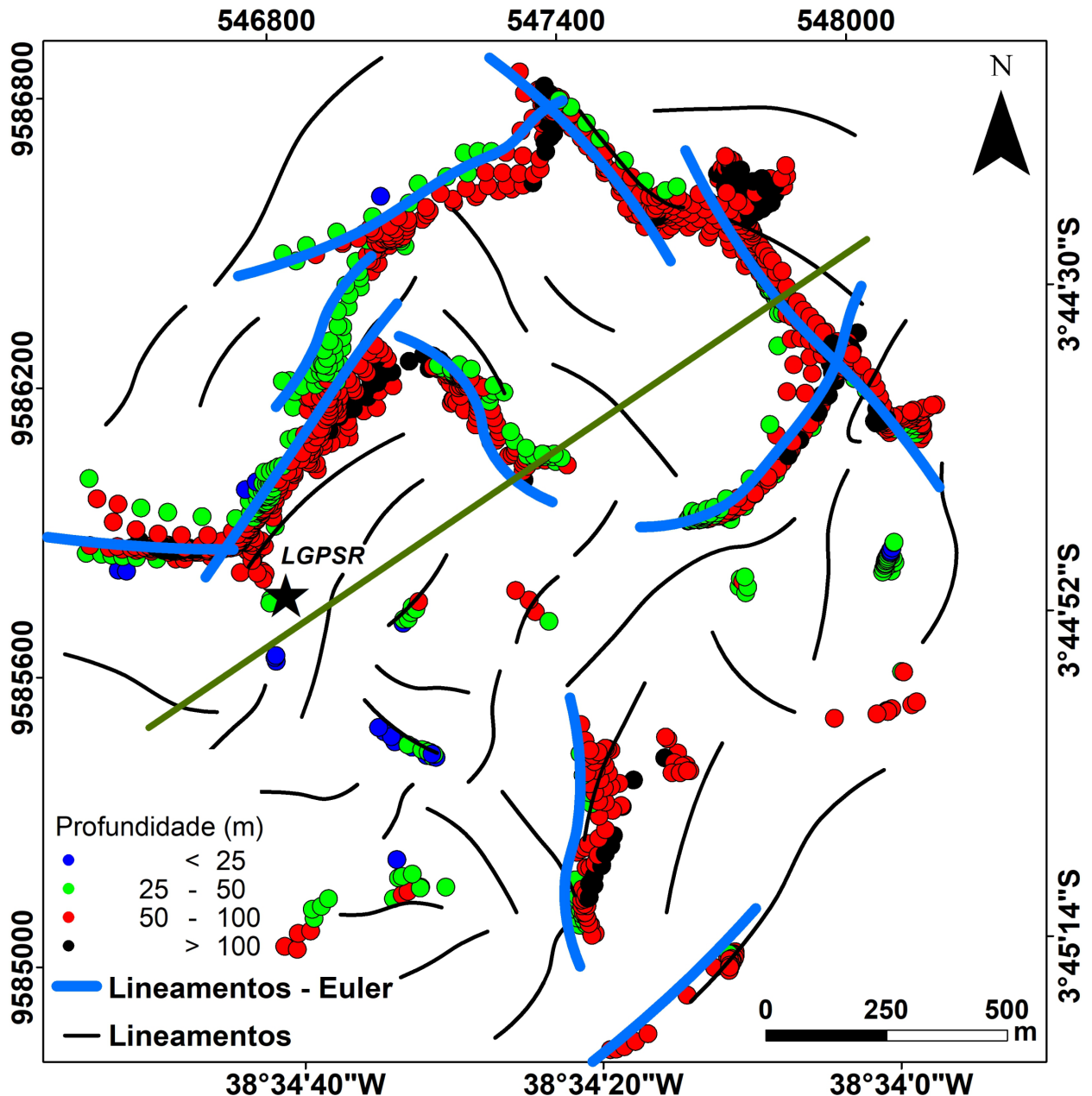


Figura 9: Deconvolução de Euler e os principais lineamentos gravimétricos e estruturas interpretadas para o Campus do Pici. Em verde está o perfil da modelagem 2D.

5.1.4 Modelagem 2D

A base computacional para a modelagem gravimétrica 2D foi realizada utilizando o software GM-SYS que foi desenvolvido por Talwani *et al.* (1959) e Talwani & Heirtzler (1964), enquanto os algoritmos e rotinas usados para calcular a resposta dos modelos geométricos das fontes gravimétricas em profundidade são descritos por Won & Bevis (1987). O programa permite criar e manipular de

forma interativa modelos geológicos 2D levando ao ajuste otimizado entre as curvas gravimétricas calculada e observada.

Nesta pesquisa, a modelagem gravimétrica foi realizada com base em uma seção das estações levantadas no Campus do Pici, com direção NW-SE, onde a sua posição encontra-se destacada Deconvolução de Euler (Figura 9).

O valor ajustado entre as curvas observada e calculada para o modelo é de 0,003. O número de blocos inseridos para a modelagem teve como base a geologia regional da área estudada, para a Formação Barreiras foi adotada uma densidade média de $2,3 \text{ g/cm}^3$. Para as rochas do embasamento cristalino, representadas por gnaisses e xistos da Unidade Canindé, foi adotado uma densidade média de $2,67 \text{ g/cm}^3$ (Figura 10).

Ressalta-se que esse produto apresenta importantes similaridades para a profundidade do topo do embasamento cristalino local. É destacado, na figura 9, a localização do LGPSR-UFC por uma estrela preta, próximo a este, inúmeras Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) e Tomografias Elétricas Multieletrodos (ERT) foram realizadas, gerando resultados que apontam para um embasamento com profundidade em torno de 50 metros. Soma-se, ainda, o perfil construtivo do poço tubular do LGPSR-UFC que descreve a presença de

rocha cristalina de dureza média em torno de 42 metros, corroborando com estas interpretações (CORDEIRO, 2011).

5.2 Região do Município de Fortaleza e adjacências

5.2.1 Espectro de potência

Conforme explicado anteriormente, o espectro de potência permite a definição dos intervalos de número de onda mais adequados para a separação dos componentes rasos e profundos, assim, para a região de Fortaleza e adjacências, foi verificado que o comprimento de onda ideal é de 5 km, ou seja, o componente residual reflete anomalias com comprimentos de onda menores que 5 km, enquanto a componente regional corresponde a anomalias com comprimento de onda maior que 5 km (Figura 11).

Deste modo, constata-se que as fontes mais profundas chegam a atingir cerca de 2000 metros de profundidade, enquanto as fontes intermediárias e rasas variam entre 100 e 1000 metros.

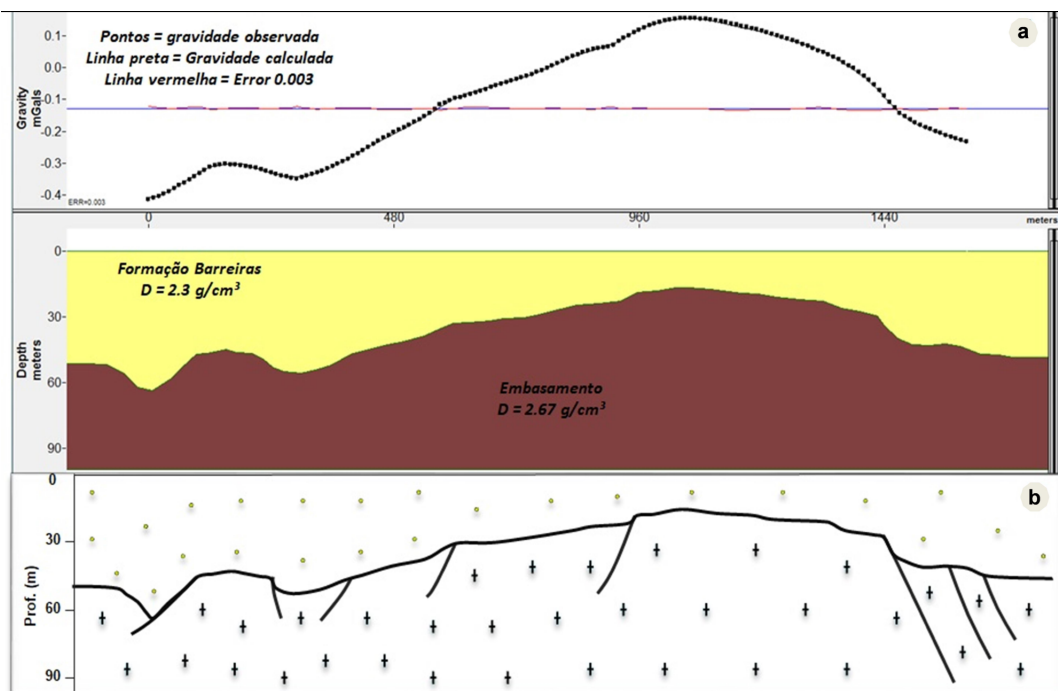


Figura 10: a) Modelagem gravimétrica 2D com as densidades adotadas e os dados gravimétricos observados e calculados para o modelo e valor do erro; b) Modelo geológico final. Direção do perfil: NE-SW.

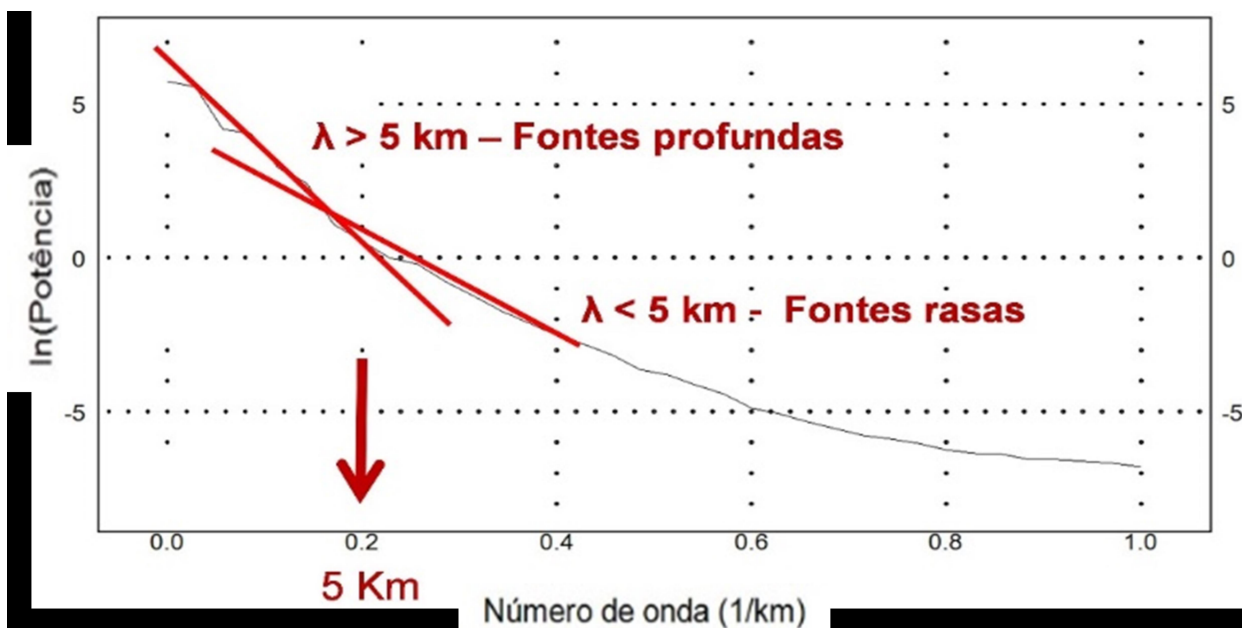


Figura 11: Espectro de potência radial do campo gravimétrico para a região do Município de Fortaleza e adjacências.

5.2.2 Mapas de anomalia Bouguer Regional e Residual

Através do mapa de anomalia gravimétrica regional, nota-se que a região apresenta longos comprimentos de onda com gradiente gravimétrico positivo suave, variando entre 14,4 a 27,8 mGal de sul para norte (Figura 12a). Esse aumento do campo gravimétrico deve-se ao afinamento crustal característico da margem continental passiva do Nordeste Brasileiro (CASTRO *et al.*, 1998; OLIVEIRA, 2008; PEDROSA JUNIOR *et al.*, 2010), onde as anomalias apresentam direção principal de SSW-NNE.

Para o mapa de anomalia Bouguer Residual, nota-se uma assinatura gravimétrica com relevo acidentado e anomalias negativas (tons azuis) e positivas (tons avermelhados) de médio a longo comprimento de onda, com intervalos de -12,9 a 16,3 mGal, e trend com direção NW-SE (Figura 12b). Verifica-se que os principais lineamentos gravimétricos possuem direção NW-SE, enquanto os lineamentos subordinados apresentam direção NE-SW. Destaca-se,

também, a presença de uma faixa anômala de aproximadamente 20 km, a qual divide o município em dois setores.

5.2.3 Deconvolução de Euler

Os resultados mostram uma concentração de nuvens de soluções entre os intervalos de 450 a 4250 metros de profundidade (Figura 13). A porção norte do município de Fortaleza, a qual caracteriza-se por apresentar anomalias gravimétricas da ordem de -10 mGal (Figura 12b), apresenta soluções alinhadas segundo trend NW-SE, com profundidades superiores a 2000 metros.

A faixa anômala, bastante perceptível no mapa de anomalia Bouguer Residual (Figura 12b), que apresenta aproximadamente 20 km e comprimento de onda de cerca de 3 km, possui nuvens de soluções entre 1000 e 2000 metros. Verifica-se, também, que a região do Campus do Pici apresenta uma descontinuidade suave na direção NE-SW, com profundidades inferiores a 1.000 metros.

Na porção sul, onde afloram rochas do embasamento cristalino, como gnaisses e xistos, ocorrem fontes com profundidade entre 1000 e 2000 metros que podem ser correlacionadas

a descontinuidades e falhamentos provocados pela tectônica recente e/ou a reativação de falhas mais profundas no embasamento cristalino.

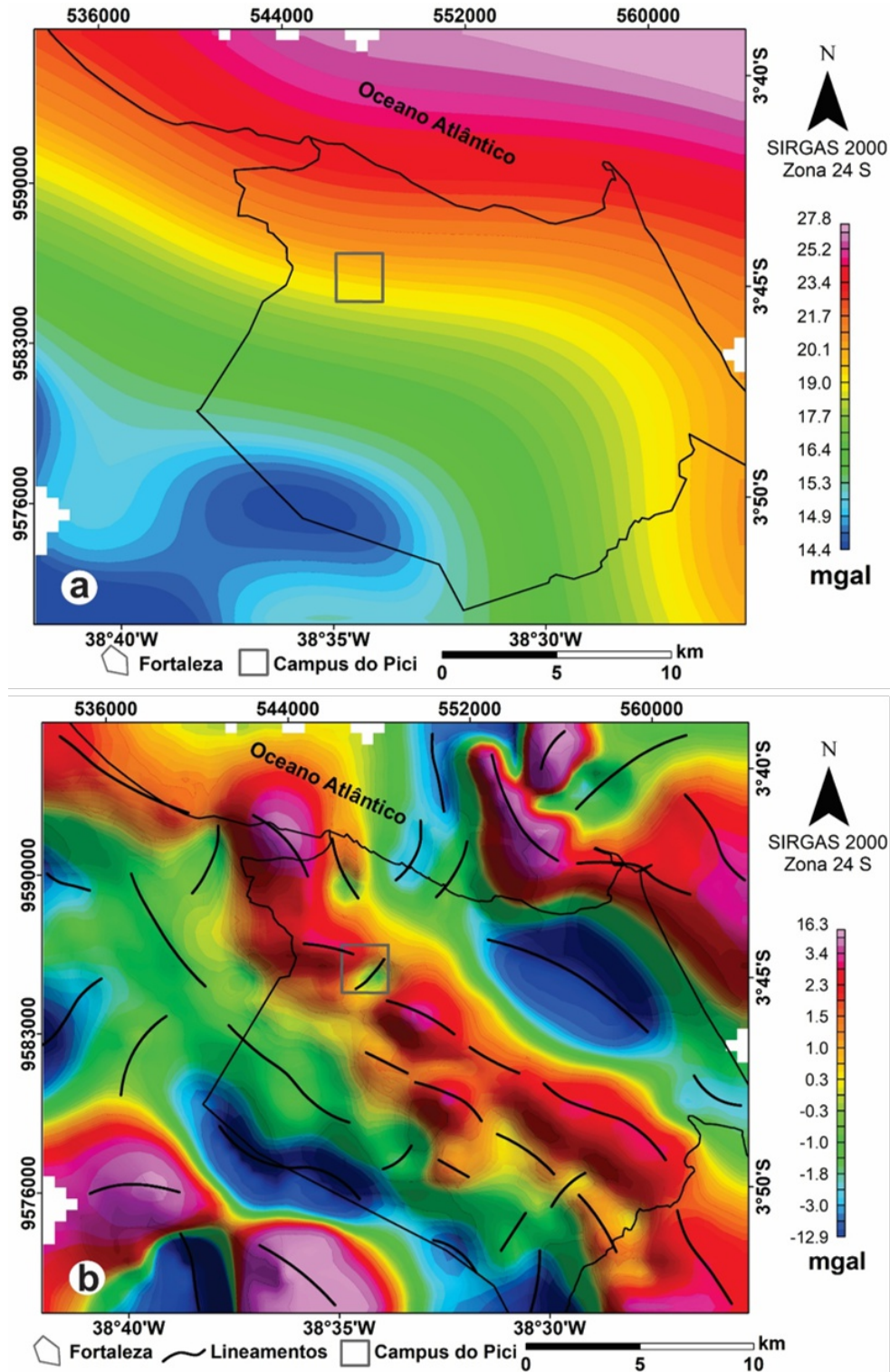


Figura 12: a) Mapa de anomalia Bouguer Regional; b) Mapa de anomalia Bouguer Residual com os lineamentos gravimétricos interpretados para o município de Fortaleza e adjacências.

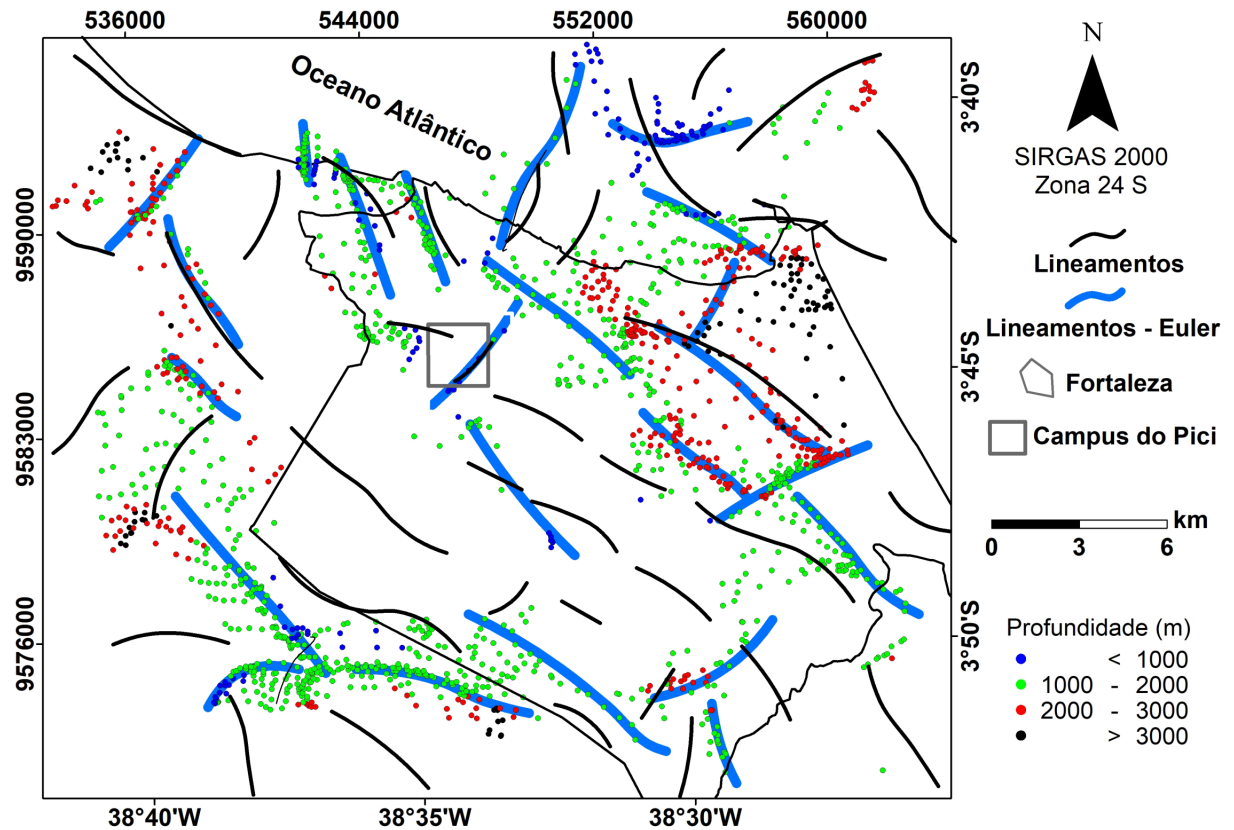


Figura 13: Deconvolução de Euler e os principais lineamentos gravimétricos e estruturas interpretadas para o município de Fortaleza e adjacências.

6. CONCLUSÕES

A partir do processamento dos dados gravimétricos coletados no Campus do Pici verifica-se a presença de anomalias positivas, entre 0,1 a 0,6 mGal, que podem estar relacionadas às rochas densas em subsuperfície, possivelmente associadas ao Magmatismo Messejana, ou a um alto no embasamento cristalino. Para a região, nota-se lineamentos bem marcados na direção NE-SW.

Para o município de Fortaleza e adjacências, nota-se um aumento do campo gravimétrico de sul para norte, que pode ser causado devido ao afinamento crustal existente na margem continental passiva do Nordeste Brasileiro. Verifica-se, também, um domínio de lineamentos principais com direção NW-SE destacadas no mapa de anomalia Bouguer Residual.

Por meio da Deconvolução de Euler para o Campus do Pici, observa-se

a existência de estruturas rasas na Formação Barreiras entre, aproximadamente, 15 e 160 metros. Para o município de Fortaleza e adjacências, nota-se a presença de estruturas entre 1000 e 2000 metros, as quais podem ser relacionadas a discontinuidades e falhamentos oriundos da tectônica recente e/ou reativação de falhas mais profundas no embasamento cristalino.

O modelo geológico 2D elaborado para o Campus do Pici, nas proximidades do LGPSR/UFC, construído por meio da criação de blocos com distintas densidades, apresenta similaridades com o topo do embasamento cristalino local, fato este que é corroborado a partir do perfil construtivo do poço tubular existente no LGPSR. O resultado da modelagem dos dados apresentou erro de aproximadamente 0,003, o que mostra um bom ajuste entre as curvas observadas e calculadas.

REFERENCIAS

- BARBOSA, V.C.F.; SILVA, J.B.C., 2005. Deconvolução de Euler: Passado, Presente e Futuro - Um tutorial. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 23, n. 3, p.243-250.
- BRANDÃO, R.L., 1998. Sistema de Informação para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza. 1ª edição. Fortaleza: SER/REFO/CPRM. V.1, 105p.
- CASTRO, D.L., MEDEIROS, W.E., JARDIM DE SÁ, E.F., MOREIRA, J.A.M., 1998. Mapa gravimétrico do Nordeste Setentrional do Brasil e margem continental adjacente: interpretação com base na hipótese de isostasia *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 16, n. 2-3, p.115-131.
- CAVALCANTE, J.C., VASCONCELOS, A.M., MEDEIROS, M.F., PAIVA, I.P., GOMES, F.E.M., CAVALCANTE, S.N., CAVALCANTE, J.E. MELO, A.C.R., DUARTE NETO, V.C., BENEVIDES, H.C., 2003. Mapa geológico do Estado do Ceará, escala 1:500.000. Fortaleza, Ministério das Minas e Energia, CPRM.
- CORDEIRO, W., 2011. Relatório Técnico: Poço Tubular PT.04/2011. Fortaleza: Terra Perfurações.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo: Área da Unidade Territorial. 2016. Disponível em:<<http://cod.ibge.gov.br/16WV>>. Acesso em: 10 de Agosto de 2017.
- KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I., 2009. Levantamento gravimétrico. In: *Geofísica de exploração*. São Paulo: Oficina de Textos. Cap. 6. p. 227-272.
- OLIVEIRA, R.G., 2008. Arcabouço Geofísico, isostasia e causas do magmatismo Cenozoico da Província Borborema e de sua margem continental (Nordeste do Brasil). 411p. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) UFRN, Natal.
- PEDROSA Jr., N.C., DE CASTRO, D.L., MATOS, J.P.M., 2010. Assinaturas magnéticas e gravimétricas do arcabouço estrutural da Bacia Potiguar Emersa, NE do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 265-278.
- PEDROSA Jr, N. C., 2010. Inversão Conjunta de dados geofísicos (Gravimetria e Eletrorresistividade) ao longo de uma seção transversal ao rifte da Bacia Potiguar. 117p. Dissertação (Mestrado em Geologia) UFC, Fortaleza.
- REYNOLDS, J. M., 2011. Gravity Methods. In: *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. 2. ed. UK: John Wiley & Sons, Cap. 2. p. 19-81.
- SPECTOR, A. & GRANT, F.S. 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35(2): 293-302.
- TALWANI, M., WOREL, J.L., LANDISMAN, M., 1959. Rapid gravity computations for two dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone. *Journal of Geophysical Research*, 64: p. 49-59.
- TALWANI, M. & HEIRTZLER, J. R., 1964. Computation of magnetic anomalies caused by two dimensional bodies of arbitrary shape. In: Parks, G.A. (Ed.), *Computers in the Mineral Industries*, vol. 9. Stanford University Publications, Geological Sciences, p. 464-480.
- WON, I. J., BEVIS, M., 1987. Computing the gravitational and magnetic anomalies due to a polygon: algorithms and Fortran subroutines. *Geophysics*, 52: 232-238.