

## CARTA GRAVIMETRICA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

ESCOBAR, I.P., DOS SANTOS, N.P., SOARES, A.J.C., DANTAS, J.J., DIAS, F.J.S.S.

Observatório Nacional - Rio de Janeiro - Brasil

FERREIRA, P.

Escola de Instrução Especializada - Rio de Janeiro - Brasil

O Observatório Nacional - ON é solicitado, com freqüência, a ministrar treinamento em gravimetria a algumas instituições no Brasil. A carta gravimétrica da cidade do Rio de Janeiro é resultado de tal interação. No caso, a instituição que recebeu treinamento foi a Escola de Instrução Especializada - EsIE, Ministério do Exército. Como parte do trabalho foram obtidos os mapas de anomalias de ar livre e Bouguer, na escala de 1:75.000, a partir de uma malha aproximadamente regular de 320 pontos medidos, com espaçamento médio de cerca de 2,7 quilômetros. As observações gravimétricas foram efetuadas com um gravímetro LaCoste & Romberg, modelo G. As altitudes e as coordenadas horizontais foram extraídas de cartas topográficas na escala de 1:2.000, com curvas de nível espaçadas de 1 metro.

THE GRAVIMETRIC CHART OF RIO DE JANEIRO CITY - The "Observatório Nacional - ON" is often requested to give training in gravimetry to some institutions in Brazil. The gravimetric chart of Rio de Janeiro city is a consequence of a such interaction. In this case, the institution in training was the "Escola de Instrução Especializada - EsIE", a school of special instructions of the Brazilian Army. As a part of that work both free air and Bouguer anomaly maps were obtained, on the scale of 1:75,000, from a nearly regular grid of 320 measured points, with mean distance of about 2.7 kilometers. The gravity observations were performed with a LaCoste & Romberg gravimeter, model G. The elevations and horizontal coordinates were obtained from topographic charts on scale of 1:2,000, with level curves spaced of 1 meter.

### 1. INTRODUÇÃO.

Em 1990, o Observatório Nacional - ON foi solicitado a ministrar um treinamento de gravimetria à Escola de Instrução Especializada - EsIE, Ministério do Exército, Brasil. Tal treinamento tinha como objetivo capacitar os instrutores daquela Escola a ministrarem aulas da disciplina de gravimetria, recém incluída no currículo do curso de topografia. O programa de

treinamento foi elaborado prevendo instruções teóricas e práticas. A parte teórica consistiu dos conceitos básicos envolvidos nas aplicações da gravimetria à Geodésia e à Geofísica. A parte prática, inicialmente, previa instruções operacionais com gravímetros no âmbito da IAGLR. Entretanto, procurando o melhor aproveitamento dos recursos dispendidos, foi planejado um levantamento no município do Rio de Janeiro, capaz de permitir a elaboração da primeira carta gravimétrica da cidade, na escala de 1:75000. Ao mesmo tempo, este trabalho serviu como iniciação ao uso da estação de métodos potenciais, doada ao ON através do convênio Universidade Simon Bolívar / Universidade de Leeds. Este trabalho, portanto, foi concebido dentro de uma visão didática, aliada à intenção de produzir um resultado útil, cuja apresentação será objeto dos próximos itens.

## 2. PLANEJAMENTO.

O planejamento do trabalho tomou por base a cartografia da cidade, existente nas escalas de 1:2000, 1:10000 e 1:50000. As cartas topográficas na escala de 1:2000 cobrem cerca de 90% da área da cidade, os outros 10% são constituídos por áreas de acesso mais difícil, topografia acidentada e vegetação densa, correspondendo à Serra de Madureira, ao norte, Maciço da Pedra Branca, ao centro, e Maciço da Tijuca a sudeste, cobertas por cartas na escala de 1:10000. As cartas de 1:50000, em número de três, cobrem toda a área da cidade. A distribuição dos pontos foi planejada sobre as cartas topográficas de 1:50000, de modo a se obter uma malha regular com espaçamento médio de cerca de 2,7 quilômetros. A localização de cada ponto foi definida no campo, sobre as cartas de 1:2000 ou, alternativamente, 1:10000.

Foram selecionados e determinados 320 pontos gravimétricos, distribuídos conforme mostra a figura 1. A área central, onde aparece uma lacuna maior, corresponde ao Maciço da Pedra Branca, região montanhosa, de acesso difícil, onde está situado o Pico da Pedra Branca, ponto

culminante da cidade, com 1025 metros de altitude, não sendo possível, dentro do escopo deste trabalho, assegurar o espaçamento médio desejado.

As altitudes dos pontos gravimétricos, bem como suas coordenadas horizontais, foram extraídas das cartas topográficas na escala de 1:2000 ou, alternativamente, 1:10000, ambas representadas no sistema UTM. Nas cartas de 1:2000 o relevo é representado por curvas de nível espaçadas de 1 metro e nas de 1:10000, por curvas espaçadas de 5 metros. Os pontos foram escolhidos, sempre que possível, em locais aproximadamente planos, geralmente cotados nas cartas, de modo a permitir melhor determinação de suas altitudes e minimizar o efeito do terreno nas observações da gravidade. Deste modo, espera-se que as altitudes tenham sido obtidas com precisão melhor do que 0,5 metro, no caso das cartas em 1:2000, e 2 metros, para as cartas em 1:10000 e que as coordenadas horizontais tenham precisão melhor do que 5 metros.

Por facilidade de execução os circuitos gravimétricos partiram e fecharam em uma base gravimétrica implantada na EsIE, a partir da base fundamental existente no Observatório Nacional.

Como o espaçamento adotado entre os pontos gravimétricos é maior do que a largura de uma carta em 1:2000, convencionou-se identificar os pontos com o mesmo código usado para a folha de carta onde se situam. Desse modo, além de se evitar ambiguidades na codificação dos pontos, ficou fácil a sua localização e revisão, sempre que necessário.

### 3. LEVANTAMENTO GRAVIMÉTRICO.

Os levantamentos gravimétricos foram executados utilizando o gravímetro LaCoste & Romberg, modelo G, série 602, pré-aquecido com antecedência mínima de 24 horas e com os níveis devidamente ajustados.

Uma vez delimitadas, nas cartas em 1:2000, as regiões onde os pontos gravimétricos deveriam se situar, foram planejados e ocupados 29 circuitos, partindo e fechando na base ESN e/ou ON, sem ocorrência de erro igual ou superior a 0,01 mGal/hora, num intervalo de tempo inferior a 24 horas, para assegurar o controle adequado da deriva instrumental.

Com o objetivo de reduzir o efeito da topografia na gravidade observada, os locais dos pontos foram definidos no campo e assinalados na carta, em áreas, tanto quanto possível, planas. Para tanto foram escolhidos, sempre que possível, cruzamentos de ruas, pátio de casas ou outros locais que pudessem ser considerados planos, pelo menos dentro do raio de 5 metros em torno do ponto de observação.

Em cada ponto foram tomadas 2 leituras do gravímetro em intervalo de tempo inferior a 2 minutos, de modo tal que fossem coincidentes dentro do centésimo de miligal.

#### 4. REDUÇÃO DOS DADOS

Uma vez identificados nas cartas, os pontos gravimétricos tiveram suas altitudes e coordenadas horizontais extraídas das cartas topográficas existentes, conforme foi explanado no item 2. As leituras gravimétricas, altitudes e coordenadas planas constituem os dados primários de trabalho. A redução desses dados compreende os cálculos das correções do terreno, ar livre e Bouguer, objetivando o cálculo das anomalias.

Para o cálculo das correções do terreno foi utilizado o programa TRITER desenvolvido pelo "Geological Survey of Canada - GSC" e gentilmente cedido ao Observatório Nacional. Tal programa representa o terreno circunvizinho ao ponto gravimétrico por prismas triangulares de topos inclinados a partir de um conjunto de pontos do terreno, irregularmente espaçados, cujas coordenadas tenham sido obtidas por digitalização de cartas existentes. Opcionalmente, pode-se utilizar uma grade regular, em torno do ponto gravimétrico, em substituição ou adição aos pontos

irregularmente espaçados, de modo a se definir melhor o efeito do terreno na região mais próxima, até um raio de 3 quilômetros. A grade regular é obtida com o auxílio de um gabarito transparente, fornecido na escala de 1:50000, que é sobreposto à carta de mesma escala, com centro no ponto gravimétrico. Outras escalas de cartas podem ser usadas com os respectivos gabaritos.

Para a obtenção do arquivo de pontos irregularmente espaçados foram digitalizadas as curvas mestras das 3 cartas existentes na escala de 1:50000 acrescidas dos pontos cotados, de modo a caracterizar as feições do terreno o mais fielmente possível.

Para definir melhor o efeito do terreno nos pontos situados em regiões de relevo muito acidentado, como os Maciços da Pedra Branca e da Tijuca, e a Serra de Madureira, foram utilizados os gabaritos transparentes, para obtenção das grades regulares nas circunvizinhanças desses pontos.

As correções do terreno foram obtidas considerando um raio de influência de 6 quilômetros em torno de cada ponto e densidade média de  $2,67 \text{ g/cm}^3$ .

As anomalias de ar livre e Bouguer foram obtidas utilizando o programa TRAVRED, do sistema GRAVSYS, desenvolvido pelo GSC. O programa reduz os dados dos circuitos, corrigindo as leituras gravimétricas dos efeitos sistemáticos conhecidos: função de calibração do gravímetro, deriva e maré luni-solar, calculando, em seguida, os valores de gravidade e as anomalias em cada ponto. As anomalias são calculadas com base na formulação usual, utilizando para a gravidade normal, correção de latitude, a fórmula internacional de 1967 e para densidade média o valor de  $2,67 \text{ g/cm}^3$ .

## **5. CARTAS DE ANOMALIAS DE AR LIVRE E BOUGUER.**

As cartas de anomalia de ar livre e Bouguer, figuras 2 e 3, respectivamente, foram traçadas na escala de 1:75000, no sistema UTM, com a utilização do programa SURFER, prescrevendo-se

em ambos os casos uma grade de 2 x 2 quilômetros, interpolada pelo método de Kriging, a partir dos dois pontos mais próximos para cada octante, dentro de uma distância máxima de 20 quilômetros. A grade interpolada foi suavizada pela aplicação de "splines" cúbicas e as curvas submetidas ao algoritmo de "smooth".

O intervalo entre curvas iso-anômalas para a carta de anomalia Bouguer foi fixado em 1 mGal, visto que em cerca de 90% dos casos o erro de altitude (cartas em 1:2000), associado ao erro de observação gravimétrica, não resultaram em erro maior do que 0,3 mGal nos valores das anomalias calculadas nos pontos gravimétricos. Raciocínio análogo poderia ser utilizado para fixar o mesmo intervalo entre iso-anômalas de ar livre, contudo o forte gradiente vertical desta anomalia, em decorrência do relevo acidentado (a anomalia de ar livre apresenta uma correlação direta com a altitude), resultaria numa densidade de curvas muito grande para a escala da carta. Assim, optou-se pela adoção do intervalo de 3 mGal entre curvas iso-anômalas de ar livre.

O processamento dos dados, bem como o traçado das cartas foram realizados utilizando-se a estação de métodos potenciais doada pelo convênio Universidade Simon Bolivar / Universidade de Leeds, que consiste, basicamente, dos seguintes equipamentos: Plotter 4000P e plot server plus, marca IO-LINE, CPU 286/16 MHz, monitor monocromático Gold Star 12", monitor NEC 14", MultiSync 2A e uma impressora EPSON LQ-2550.

## **6. COMENTÁRIOS SOBRE AS CARTAS DE ANOMALIAS.**

A carta de anomalia de ar livre reflete de modo geral o relevo do Rio de Janeiro, observando-se a SE o alto representativo do Maciço da Tijuca, ao norte, já nos limites da cidade, a Serra de Madureira e ao centro o Maciço da Pedra Branca. Na realidade era esperada uma manifestação mais destacada do relevo do Maciço da Pedra Branca, em decorrência das grandes altitudes ali encontradas, entretanto, a tênue resposta daquela área pode estar associada à lacuna

de pontos gravimétricos, que funciona como uma espécie de filtro, suavizando o efeito da topografia. Melhor resultado deve ser obtido com a inclusão de pontos adicionais.

A carta de anomalia Bouguer de modo geral apresenta um aspecto regular, sem anomalias relevantes, refletindo a natureza homogênea da geologia da cidade, que é composta quase que totalmente por uma estrutura de granitos e gnaisses, com destaque para a região do Maciço da Tijuca, onde se encontram as rochas mais densas, que causam o alto observado na carta. O Maciço da Pedra Branca embora apresente geologia similar àquela encontrada na Tijuca, não é perceptível na carta, provavelmente devido à atenuação em decorrência da lacuna de observações gravimétricas na área.

A área da Serra de Madureira, apresenta anomalia típica de área continental, onde o baixo gravimétrico, levemente mais acentuado, pode ser atribuído ao efeito da compensação isostática.

## 7. CONCLUSÕES.

Apesar de ter finalidade eminentemente didática, este trabalho mostra que é possível, pela associação dos interesses de algumas instituições, lograr-se um benefício maior, que pode extrapolar os próprios limites institucionais e atender interesses mais abrangentes, sem prejuízo dos objetivos primitivos, que foram plenamente alcançados.

Não se procurou aqui fazer uma interpretação da estrutura geológica da área levantada. Para tanto é necessário um pouco mais de trabalho que ainda não está concluído. A lacuna de observações gravimétricas em uma área importante prejudica parcialmente a análise interpretativa dos dados. Pretende-se, portanto, antes de mais nada, realizar-se um esforço no sentido de se adicionar alguns pontos gravimétricos na área do Maciço da Pedra Branca para se ter uma idéia mais exata da resposta daquela estrutura na anomalia da gravidade.

## 8. BIBLIOGRAFIA.

1. BRASIL. Observatório Nacional. Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira. Rio de Janeiro, 1987.
2. CANADA. Geological Survey of Canada. Gravity data processing system - GRAVSYS. User Guide. Ottawa, 1988.
3. ESTADOS UNIDOS. Defense Mapping Agency Topographic Center. General land gravity survey instructions. s.l., 1974. 50p.
4. RUPERT, J. TRITER - A gravitational terrain correction program for IBM compatible personal computers, version 2.21. Geological Survey of Canada, open file 1834. 1988.
5. SAZHINA, N. & GRUSHINSKY, N. Gravity prospecting. Moscou, Mir Publishers, 1971. 491p.
6. VANICEK, P. & KRAKIWSKY, E.J. Geodesy: the concepts. Amsterdam, North-Holland, 1986. 697p.