

A Terra
 moldada
pela
gravidade



Medições apuradas deformam a esfera perfeita vista do espaço

CARLOS FIORAVANTI

A gravidade, como já fez com Newton, continua a excitar a imaginação, levando a conclusões desnorteantes. Uma delas: quem viajar de navio da Cidade do Cabo, na África do Sul, até Belém, no Pará, vai percorrer uma imperceptível descida. Por causa das diferenças de massa do planeta no trajeto entre esses dois lugares – e, portanto, das variações do campo de gravidade da Terra –, o nível do mar no porto do sul da África do Sul está a 70 metros acima da altura do mar no porto de Belém.

“Ninguém nota esse desnível porque a distância entre a África do Sul e o Brasil é muito grande, de quase 8 mil quilômetros”, assegura o geofísico Eder Cassola Molina, professor do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP). “Além disso, a superfície do mar é curva, já que nosso planeta tem o formato aproximado de uma esfera.” Ele fez no ano passado o mapa do Atlântico Sul que oferece essas conclusões, para passar no concurso de professor livre-docente, e agora uma versão menor, em formato A4, está pregada na porta de um dos armários de seu amplo laboratório.

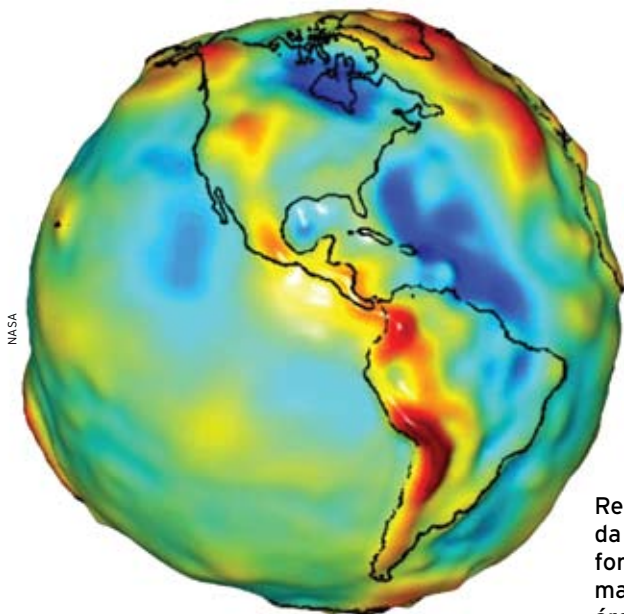
A força gravitacional expressa a atração física entre os corpos – e varia de acordo com a massa. Um exemplo cotidiano da ação dessa força é a maré oceânica, resultado da interação gravitacional entre a Terra, a Lua e o Sol, que faz a Terra se deformar diariamente. Capaz de atuar em qualquer ponto do Universo, a força da gravidade faz com que os corpos em queda livre nas proximidades da superfície terrestre sofram uma aceleração de aproximadamente $9,8 \text{ m/s}^2$, ou seja, sua velocidade de queda aumenta $9,8 \text{ m/s}$ a cada segundo.

A aceleração da gravidade varia sutilmente em cada ponto da Terra, de acordo com o relevo e a densidade das rochas do seu interior, já que a distribuição de massa na Terra é heterogênea. Vem daí um efeito interessante: “A distribuição de massa da Terra controla o nível em que a água do mar vai se encontrar

em um dado instante, pois a superfície instantânea do mar se ajusta de acordo com o campo de gravidade. Assim, temos altos e baixos na superfície oceânica”, diz Molina. “O nível do mar não é constante e varia com o tempo e a localização geográfica. Na verdade, nem existe um nível do mar, mas um nível médio ou um nível instantâneo do mar.”

Em um dos computadores próximos às paredes, Molina mostra outro mapa, que detalha as variações de altura da água na costa brasileira. Nesse mapa, publicado em dezembro de 2010 na revista *Journal of Geodynamics*, uma mancha vermelha a nordeste da Região Nordeste do Brasil representa uma área em que a água do mar deve estar 10 metros acima do que as áreas que a cercam, marcada em verde e azul. “Com um mapa desses à mão”, diz Molina, “o piloto de um barco poderia desviar das áreas mais altas, mesmo que não as veja e economizar tempo e combustível”. Mesmo útil, essa imagem não deixa de ser um desafio à imaginação, principalmente dos mais céticos, que dirão que nunca viram uma ladeira com água escorrendo no meio do mar.

No mar e na terra – Fernando Paolo, que agora faz doutorado no Instituto Scripps de Oceanografia, Estados Unidos, elaborou esse mapa em 2010, enquanto Molina, que o orientou, preparava o maior. As duas imagens resultam da soma de duas fontes de informações, uma local e outra global. A primeira são os aparelhos que medem a variação do campo de gravidade, os gravímetros, instalados em boias amarradas atrás de 300 navios que percorreram a costa da África e do Brasil nos últimos 30 anos. A outra são medidores da variação da altitude do mar instalados em dois satélites, o Geosat, que a Marinha dos Estados Unidos lançou em 1986, e o Satélite Europeu de Sensoriamento Remoto (ERS-1), em órbita desde 1995. “Usando as duas fontes de informação, desenvolvemos uma metodologia que nos permitiu enxergar, em algumas áreas, como a plataforma continental brasileira, mais



Representação da Terra expressa força da gravidade, mais intensa nas áreas em vermelho

do que os pesquisadores que estudam essa mesma região usando apenas dados de satélites”, comenta Molina.

A medição das variações de altitude da água do mar por meio de satélite, mesmo que pareça estranha a marinheiros de primeira viagem, pode indicar *vales* ou *morros* da superfície oceânica não detectados por outros métodos, já que nem tudo o que o satélite examina foi avaliado por levantamentos batimétricos, bastante caros e trabalhosos. Em terra, esse tipo de nivelamento, feito por aparelhos GPS (sistemas de posicionamento globais), que exige um bom conhecimento do campo de gravidade, está substituindo as medições de relevo por nivelamento geométrico clássico, obtidas por meio de equipamentos chamados teodolitos: cada medição indicava as variações do relevo a distâncias de aproximadamente cada 100 metros, cobrindo poucos quilômetros por dia.

“Toda obra de engenharia precisa de dados precisos sobre altitude”, diz Denizar Blitzkow, professor da Escola Politécnica da USP. Os aparelhos com que ele começou a medir as variações da gravidade em São Paulo nos anos 1970 estão hoje no futuro museu da engenharia civil, que deve ser aberto este ano.

Essa forma de medir variações associadas ao campo de gravidade, somada a outras técnicas, indicou depósitos de petróleo em regiões do Nordeste, por

exemplo. A medida da variação de massa – e da força e aceleração da gravidade, diretamente proporcionais a essa massa – está também sinalizando onde pode haver minérios ou cavernas inexploradas, elucidando detalhes antes inexplicáveis de mapas geológicos, revelando diferenças na espessura na litosfera (a camada superficial da Terra) e, por fim, mostrando como e onde a quantidade de água de depósitos subterrâneos nos grandes aquíferos pode oscilar ao longo do ano. “Até poucos anos atrás”, diz Molina, que começou a trabalhar com gravimetria no início dos anos 1980, “tudo isso era impossível”.

As informações de dois novos satélites europeus, o Grace e o Goce, estão

detalhando as variações do campo de gravidade desde 2003 e permitindo a construção de uma imagem mais exata, embora um tanto desconfortável, das formas da Terra. Os gregos imaginavam a Terra como uma esfera perfeita, mas essa perfeição se desfez à medida que a possibilidade de o planeta girar continuamente se consolidava durante o Renascimento. Newton afirmava que, em consequência do movimento de rotação, a Terra deveria ser achatada.

Visto do espaço, o planeta continua parecendo uma esfera quase perfeita, embora os mapas feitos com base na aceleração da gravidade representem uma Terra deformada, às vezes assumindo uma forma que lembra um coração. “Os satélites estão mostrando que estávamos errados. Por meio das medições mais recentes, verificamos que a Terra é muito pouco achatada”, diz Blitzkow. A medida do eixo da Terra no equador encolheu 250 metros, passando de 6.370.388 metros em 1924 para os atuais 6.370.136,5 metros.

Desde 1982 Blitzkow trabalha com equipes do IBGE em mapas da variação do campo de gravidade em todo o território nacional. A versão mais recente, que inclui outros países da América do Sul, saiu em 2010, mostrando que a força ou aceleração da gravidade é menor em uma área que compreende o Ceará, um pouco dos estados vizinhos e a região central do país, até o norte do estado de São Paulo.

Andes e Amazônia - Poucos dias antes do Natal de 2010, uma semana antes do prazo final, Gabriel do Nascimento Guimarães apresentou a Blitzkow a quarta versão de um mapa mais detalhado, com as variações do campo de gravidade do estado de São Paulo – resultado de 9 mil pontos de medição em terra, complementados por informações dos satélites Grace e do Goce. Esse estudo faz parte do doutorado de Guimarães e de um projeto maior, coordenado por João Francisco Galera Mônico, da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Presidente Prudente, voltado à chamada agricultura de precisão, que busca as melhores condições de cultivo e colheita.

Os mapas geodésicos, feitos a partir das diferenças de elementos do campo de gravidade, abafam as diferenças de

O PROJETO

GNSS: Investigações e aplicações no posicionamento geodésico, em estudos relacionados com a atmosfera e na agricultura de precisão - nº 2006/04008-2

MODALIDADE

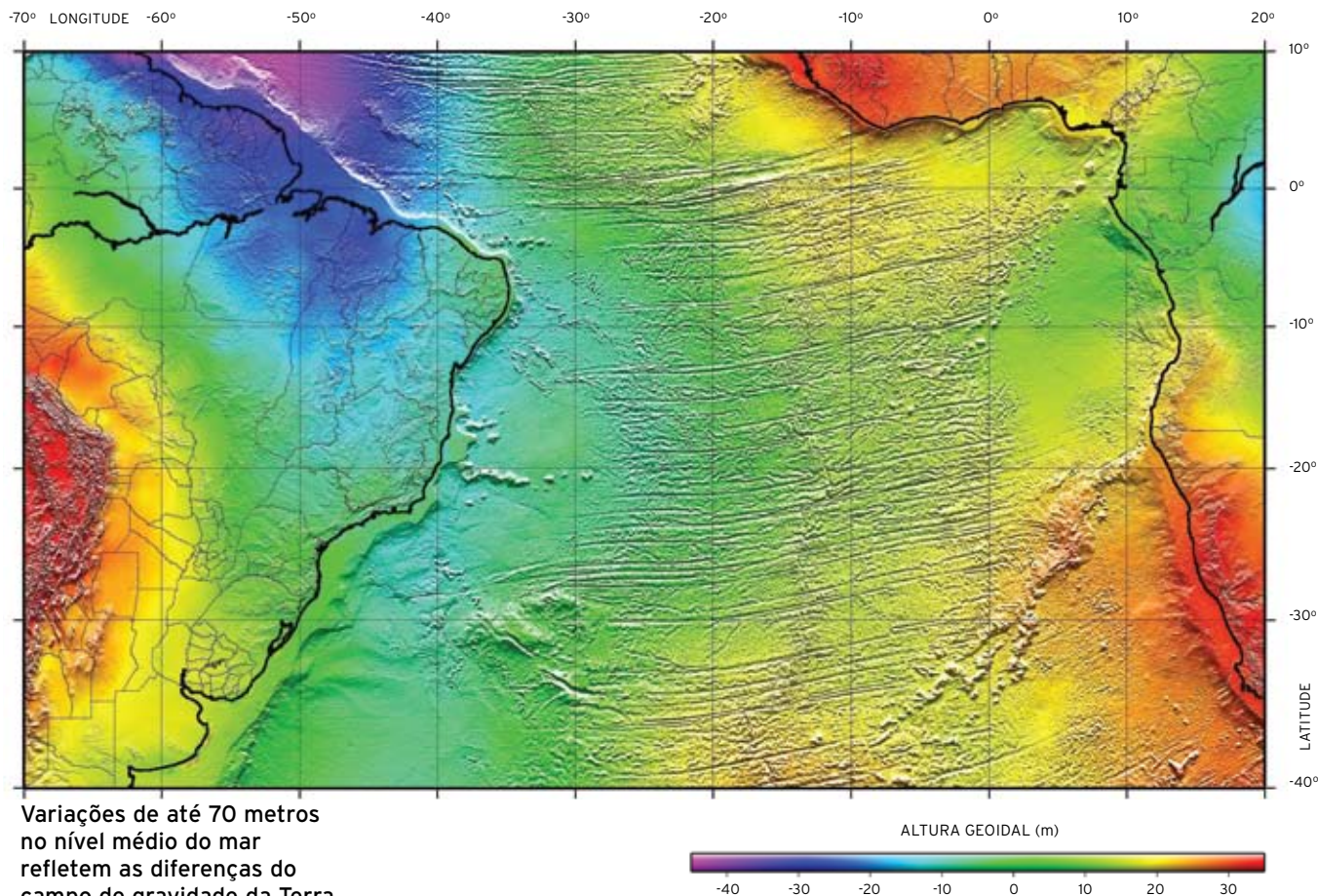
Projeto Temático

COORDENADOR

João Francisco Galera Mônico - Unesp

INVESTIMENTO

R\$ 1.279.880,42 (FAPESP)



relevo. No mapa da altura geoidal do estado de São Paulo o relevo apresenta variações de apenas seis metros de altura de leste a oeste, sem nenhum sinal das montanhas de 1.200 metros de altitude próximas ao litoral. No mapa da América do Sul as regiões mais altas estão nos Andes, mas com apenas 40 metros acima do nível zero, que corresponde ao da Amazônia.

O conceito de que a aceleração da gravidade reflete a distribuição da massa ajuda a entender essas diferenças agora tão pequenas. “Os Andes, embora com 6 mil metros de altitude, não têm muito mais massa que a Amazônia”, diz Blitzkow. “Se pudéssemos pegar e pesar um cilindro da superfície de uma montanha dos Andes e outro da Amazônia, veríamos que a diferença de peso não é tão intensa quanto a variação de altitude.” No mapa de alturas geoidais da Terra, a cordilheira do Himalaia não passa de um morrinho.

Construído por alemães e norte-americanos, o Grace, abreviação de

A força da gravidade ganha novas aplicações. Só falta descobrir de onde vem a gravidade

Gravity Recovery and Climatic Experiment, é um conjunto de dois satélites gêmeos, separados 200 quilômetros entre si, que foram para o espaço em 2002. Por estarem em uma órbita baixa, a apenas 250 quilômetros de altitude (outros satélites com funções similares estavam a pelo menos mil quilômetros), eles medem as mais sutis interferências de montanhas e vales da Terra sobre a trajetória de cada um deles: os

equipamentos de bordo registram variações de milésimos de milímetros na distância entre eles. O Goce, sigla de Gravity Field and Steady-state Ocean Circulation Explorer, foi construído pela Comunidade Europeia e lançado em 2009 para registrar algo complementar, a variação dos vários elementos do campo de gravidade em relação a três eixos preestabelecidos.

A aceleração da gravidade está constantemente ganhando novas aplicações. A origem da gravidade, porém, diferentemente da de outras forças, como a eletricidade e o magnetismo, ainda é um mistério. Ninguém sabe como o Sol atrai a Terra e, em proporção menor, a Terra atrai o Sol. ■

Artigo científico

PAOLO, F.S.; MOLINA, E.C. Integrated marine gravity field in the Brazilian coast from altimeter-derived sea surface gradient and shipborne gravity. *Journal of Geodynamics*. v. 50, p. 347-54. 2010.