

Em Geodinâmica revisitamos o terremoto de 2010 no Haiti. No tópico Recursos falamos um pouco sobre dois importantes aquíferos brasileiros. No segmento Geohistória conversamos sobre o nascimento dos métodos geofísicos voltados para exploração de petróleo na virada do século XIX para XX. Em Lendo a Terra descrevemos o método gravimétrico. Finalmente visitamos o Kilimanjaro em Arte da Terra.

**Luiz Alberto Santos**

- 1- Aquífero Guarani (Brasil)
- 2- Aquífero Alter do Chão (Brasil)
- 3- Porto Príncipe (Haiti)
- 4- Kilimanjaro (Tanzânia)

### **GEODINÂMICA: Terremoto de 2010 no Haiti**



No décimo segundo dia de janeiro daquele 2010, eis que um violento terremoto assolou o pequeno Haiti. O sismo atingiu magnitude 7 na escala Richter e causou 316 mil mortes segundo registros oficiais, entre elas a brasileira, fundadora da Pastoral da Criança, Zilda Arns. Cerca de 300mil pessoas ficaram feridas e 1,3 milhões perderam seus lares. Na região de Porto Príncipe 97294 casas foram completamente destruídas e mais de 180 mil foram afetadas. O tsunami gerado, embora pequeno, vitimou quatro pessoas em Peiti Paradis e em Santo Domingo, mais afastado do epicentro, as ondas registradas possuíam pequena amplitude, cerca de 12 cm entre pico e cavado.

O solo foi soerguido permanentemente na linha de costa entre Grand Trou e Porto Real. O sismo foi sentido em todo o Haiti, na República Dominicana, partes de Cuba, além de Maracaibo e Caracas na Venezuela. A causa deste violento terremoto foi o subto movimento ao longo de uma falha geológica sinistral, a Falha Enriquillo. Esta e outras falhas são ativas em função do limite entre as placas do Caribe e Norte-americana.



## Fala da Terra

### RECURSOS: Água



A água é o recurso natural mais importante para nós humanos. A maior parte de nosso corpo, algo entre 60 e 75% em massa, é composta por água. Qualquer concentração abaixo da especificada inicia-se o processo de desidratação que, no limite, pode levar a morte. Naturalmente a água que nos interessa é a chamada água doce potável, outrossim, os sais nela dissolvidos, a depender da concentração, podem ser nocivos a nossa saúde com efeitos imediatos ou a longo prazo. Há relatos de acidentes de navegação onde náufragos desesperados de sede cometeram o erro fatal de ingerir água marinha.

Embora 70% da superfície do planeta seja dominada pela água dos oceanos, os complexos ou plantas de dessalinização empregam processos que demandam grande quantidade de energia e, a produção de água doce em escala, ainda é muito cara, variando de US\$0,50 a US\$ 1,00 por metro cúbico. As maiores plantas de dessalinização estão nos países do Oriente Médio que carecem deste recurso. Atualmente, segundo a *International Desalination Association*, produz-se no mundo cerca de 45,5 bilhões de litros de água por dia em algum processo de dessalinização (osmose reversa, congelamento, dessalinização térmica, destilação em multi-estágios ...). Dentre os processos de dessalinização, muitas plantas simulam o trabalho que a natureza faz no ciclo hidrológico. Assim ocorre no congelamento e na dessalinização térmica, dois processos caros e que a natureza nos provê gratuitamente. No congelamento o sal é separado da água que vira gelo. Nos polos sul e norte estão as maiores reservas de água doce do planeta, um repositório que a natureza produziu nestes milhões de anos.

O ciclo da água resume-se à evaporação das águas oceânicas, condensação nas nuvens, queda da água por gravidade (chuva), que ao chegar aos continentes está praticamente livre de sais. Estas águas fluem através de rios e córregos ou podem ficar aprisionadas nos poros das rochas e solos, que são os pequenos vazios existentes entre os grãos minerais. As rochas porosas capazes de armazenar água no subsolo são chamadas de aquíferos. No Brasil, além da abundância de água doce em lagos e sobretudo em rios, possuímos grandes reservas de água no subsolo. Aqui vou citar os dois maiores, ambos em bacias sedimentares paleozóicas brasileiras.



## Fala da Terra



Na Bacia do Paraná existe uma Formação Geológica chamada Botucatu. Ela é predominantemente composta por arenitos de origem eólica. Ou seja, em um passado muito distante, no período dos dinossauros (Jurássico), a cerca de 200 milhões de anos, havia um grande deserto com imensas dunas. Este tipo de ambiente, o eólico, proporciona a deposição de areias limpas, neste caso, quartzosas e com grãos arredondados. A forma destes grãos e a ausência de silte e argila conferem à rocha gerada, o arenito Botucatu, bons predicados de um bom aquífero: boa porosidade, boa permeabilidade e ausência de sais e minerais que conferem algum gosto desagradável à água. Este aquífero, é também conhecido como Aquífero Guarani e ocupa uma área de 1,2 milhões de Km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 840 mil Km<sup>2</sup> está no território brasileiro. O volume de água estimado é igual a 45 mil Km<sup>3</sup>.

Extraído de <http://geoconceicao.blogspot.com.br>

O outro importante e gigantesco aquífero é o Alter do Chão situado nas Bacias do Amazonas e Solimões. O aquífero Alter do Chão encontra-se na formação geológica homônima com idade, estimada, neocretácea, depositada a cerca de 100 milhões de anos. A Formação Alter do Chão é composta por arenitos depositados em ambiente fluvial, diferentemente do Guarani de origem eólica. Embora ocupando uma área menor que o aquífero Guarani, geólogos da Universidade Federal do Pará advogam que o volume de água contido no Alter do Chão alcance quase o dobro do primeiro devido a sua maior espessura. O volume de água estimado é de 85 mil Km<sup>3</sup>. Nada mal !

A mensagem que deve ser deixada neste momento, principalmente para a turma miúda é a seguinte: Devemos preservar e consumir de forma sustentável nossas reservas de água estejam elas na superfície ou enterradas. Elas são, sabemos, um insumo indispensável para nossa sobrevivência. Se estes argumentos não ajudam a convencer a turma graúda, então vamos para o lado que essa gente entende mais facilmente. É mais caro despoluir que preservar e explorar de forma sustentável. Digamos que toda a água por nós consumida fosse obtida a partir da dessalinização da água do mar. O custo médio de dessalinização varia de US\$0,50 a US\$ 1,00 por m<sup>3</sup>. O consumo de água – para cozinhar e beber, tomar banho e escovar os dentes, descargas de banheiros, lavagem de roupas e outras tarefas como lavar carro e irrigar o jardim - pode alcançar cerca de 200 litros/dia (ou 0,2 m<sup>3</sup>/dia). Supondo que todos os atuais 7 bilhões de habitantes da Terra consumissem este montante, o custo diário estaria entre US\$ 3,5 bilhões e US\$ 7 bilhões por dia. Em um ano isso alcançaria no mínimo US\$ 1,28 trilhões. Trata-se de um luxo que deveríamos evitar, não acham ?



O desenvolvimento tecnológico e científico financiado por instituições privadas tem por objetivo a maximização dos lucros, seja a médio ou longo prazo. Embora muitas vezes isto não pareça claro, esta é a causa da vitória de uma tecnologia em relação a uma outra perdedora. Nem sempre isso quer dizer que a perdedora fosse pior. Ela simplesmente não venceu a batalha pelo lucro em um determinado momento histórico.

No final do século XIX, fosse na América do Norte ou na Rússia – o maior produtor com exploração advinda da província de Baku – o petróleo se confinava ao uso medicinal, a produção de querosene e para iluminação. Mais tarde, em uma outra batalha tecnológica, o motor a combustão venceu a corrida no embate com o motor elétrico, e a indústria automobilística constituiu o maior consumidor de derivados de petróleo no início do século XX. A demanda por petróleo foi crescente.

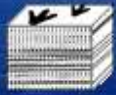
Embora a perfuração do solo para extração do petróleo já fosse realizada de longa data – chineses já faziam poços de bambu a partir de 347 DC – e o coronel Drake já tivesse perfurado seu famoso poço em 1859 na Pensilvânia (EUA), a prospecção e locação de um poço era feita através de critérios de campo e mapeamento geológico. Somente com estas ferramentas exploratórias, não raramente, o explorador não achava o desejado petróleo.



Paralelamente, a área científica avançava na maternidade dos métodos geofísicos. A geofísica de exploração teve início com a balança de torção desenvolvida pelo Barão Roland von Eötvös (fotografia a esquerda) em 1888, um método gravimétrico capaz de medir pequenas variações na aceleração da gravidade e, a partir destas, estimar a densidade das rochas no subsolo. Embora desenvolvida e produzida de forma limitada na Europa, a balança de torção foi largamente empregada com objetivos exploratórios nos Estados Unidos e México na década de 1920. Em 3 de janeiro de 1926, no estado do Texas (EUA), ocorreu a primeira descoberta de petróleo atribuída a um método geofísico. Dois anos antes o domo Nash fora identificado com a balança de torção. Entre 1926 e 1929 a balança de torção foi responsável pela descoberta de 16 domos portadores de petróleo. Um promissor método geofísico diriam os exploradores da época.

O método sísmico (Jornal Fala da Terra janeiro/2013) constitui-se de uma fonte para gerar uma onda mecânica - no mar o canhão de ar e em terra explosivos ou vibradores. A onda emitida se propaga pelos diferentes meios, água, solo e rochas, e, a cada interface ocorre uma reflexão ou refração (outros eventos ocorrem mas eles serão discutidos em outra oportunidade). Refrações ou reflexões são registradas no sismograma, processadas e subsequentemente interpretadas. Dentro do método sísmico, em verdade, há um desenho de aquisição voltado para reflexão e outro para a refração. A principal diferença refere-se à dimensão e afastamento da linha de receptores. Levantamentos sísmicos de refração tem o lanço máximo – distância entre a fonte e o receptor mais afastado – muito maiores que o de reflexão (Figura 1).

A sísmica de refração também teve seus bons êxitos na descoberta de domos salinos já no início da década de 1920. Data de 1924 a primeira descoberta de um domo salino portando óleo e atribuída à sísmica de refração, o domo Orchard em Oklahoma. Até 1929 a sísmica de refração foi responsável pela descoberta de 50 domos salinos portadores de petróleo. Neste mesmo período a exploração empregando somente mapeamento de superfície proporcionou a descoberta de somente um domo de sal com óleo.



## Fala da Terra

Em função dos melhores resultados sísmicos, este método foi alvo de maiores investimentos e floresceu mais rapidamente que o método gravimétrico. Somente em 1928 a sísmica de reflexão chancelou na história americana a primeira descoberta de petróleo no campo de Maud, em Oklahoma. A partir da década de 1930 a sísmica de reflexão vem dominando o cenário exploratório.

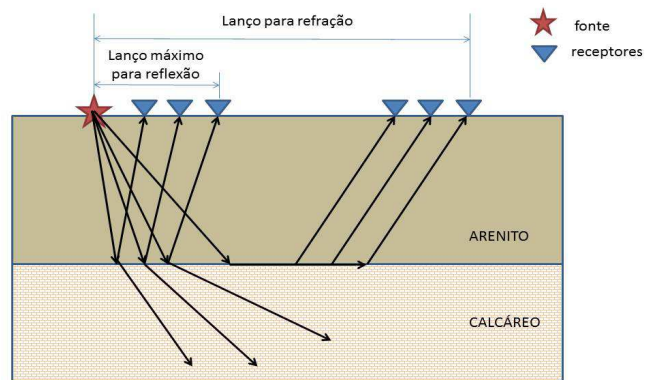


Figura 1: Lanços da sísmica de reflexão e sísmica refração



### LEITURA DA TERRA: Método gravimétrico

O método de prospecção gravimétrica do subsolo consiste em se medir a aceleração da gravidade e/ou suas variações através de instrumentos. Depois de adequadamente processados, as variações observadas nos dados gravimétricos são atribuídas às mudanças de densidade em subsuperfície, sobretudo crosta e manto terrestre. A lei fundamental do método gravimétrico é a Lei de Newton dada pela equação  $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ (1), onde F é a força de atração entre duas massas  $m_1$  e  $m_2$ , r é a distância entre os centros de massa de  $m_1$  e  $m_2$ , e G a constante de gravitação universal. O dado obtido nas medidas gravimétricas é a aceleração da gravidade normalmente expressa em  $m/s^2$ . Ou, mais comumente mgal que é  $0.001 \text{ cm/s}^2$ .

Basicamente o gravímetro é composto de uma pequena massa, seja  $m_1$ , fixada a uma mola com constante elástica conhecida. Somente a título de exemplo, idealizemos duas situações. Na primeira, em um terreno predominantemente sedimentar, cujas rochas têm massa específica  $2,3 \text{ g/cm}^3$ , há uma esfera de galena (sulfeto de chumbo), um material extremamente denso, com raio de 10 m, no seio destas rochas sedimentares a uma profundidade de 500 m. A diferença entre a massa específica da galena e as rochas sedimentares é igual a  $4,9 \text{ g/cm}^3$ . Assim, temos a resposta gravimétrica desta situação geológica representada na Figura 2a.

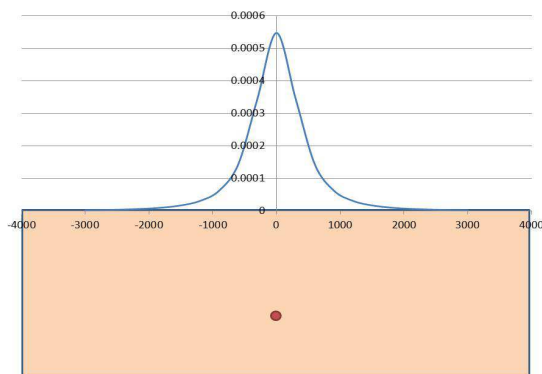


Figura 2a: Na parcela inferior, o retângulo rosa representa unidades sedimentares dentro da qual há uma esfera de galena, círculo vermelho, com raio de 10 m e a uma profundidade de 500 m (a figura está fora de escala). A parte superior, exibe o efeito gravimétrico da esfera de galena. O contraste de densidade entre a galena e as rochas sedimentares é igual a 4,9. O eixo x representa a posição horizontal em metros relativa ao centro do corpo do sulfeto. O eixo vertical representa a variação da gravidade em mgal. A resposta gravimétrica máxima ocorre quando a leitura é feita na mesma coordenada x do centro do corpo de sulfeto, igual a 0.00054 mgal.

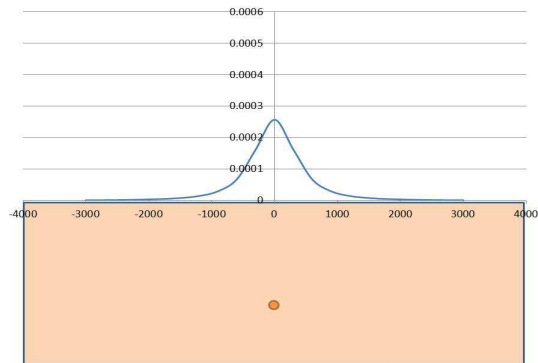


Figura 2b: Na parcela inferior, o retângulo rosa representa unidades sedimentares dentro da qual há uma esfera de pirrotita, círculo laranja, com raio de 10 m e a uma profundidade de 500 m (a figura está fora de escala). A parte superior, exibe o efeito gravimétrico da esfera de pirrotita. O contraste de densidade entre a pirrotita e as rochas sedimentares é igual a 2,3. O eixo x representa a posição horizontal em metros relativa ao centro do corpo de pirrotita. O eixo vertical representa a variação da gravidade em mgal. A resposta gravimétrica máxima ocorre quando a leitura é feita na mesma coordenada x do centro do corpo, igual a 0.00026 mgal.

Na segunda situação substituímos o corpo de galena por um corpo de pirrotita, um sulfeto de ferro, menos denso que a galena, mas exibindo um contraste de densidade de 2,3 em relação às rochas sedimentares. A resposta gravimétrica, representada na Figura 2b, encerra semelhanças com a Figura 2a, contudo os valores encontrados nos dados são menores.

Assim, tomando-se a medida da aceleração da gravidade em diferentes pontos é possível mapear estas variações (depois do correto processamento dos dados) e podemos estimar o que há abaixo de nossos pés.



## Fala da Terra

### ARTE DA TERRA: Kilimanjaro



Em uma paisagem dominada pela planície africana do norte da Tanzânia lá está o Monte Kilimanjaro se destacando do alto dos seus 5595 m. Em plena zona tropical, devido a sua altitude, o cume encontra-se sempre coberto por neve. Esta montanha na verdade é um vulcão triplo. O pico mais jovem e maior, o Kibo, jaz entre o Shira, no oeste, e o Mawenzi, no leste. O Kibo tem forma cônica quase perfeita e sua cratera tem diâmetro igual a 2,4 Km. Embora esteja inativo a cerca de pelo menos 150 mil anos, da cratera de Kibo exala vapor e enxofre.

O Kilimanjaro tem sua origem devido ao processo de separação que ocorre atualmente nos Rifts do leste africano. Trata-se do mesmo tectonismo distensivo que formou os lagos Tanganica, Victoria, Malawi, Turkana, Kivu, Albert e Edward. Este tectonismo assemelha-se ao que ocorreu a cerca de 130 milhões de anos atrás quando a África começou a separar-se da América do Sul.

Apesar de sua altitude o cume do Kilimanjaro é acessível através de pelo menos 6 vias intensamente visitadas por aventureiros de todo o mundo. A vista, dizem, é sensacional.