

Nesta edição do Jornal Fala da Terra visitamos o vulcão Ol Doinyo Lengai. Em Recursos continuamos uma pequena listagem sobre as grandes províncias petrolíferas com os respectivos maiores campos de petróleo. Em Geohistória conhecemos um pouco da vida do exploracionista Everete Lee DeGolyer. Em Leitura da Terra nos aventuramos a falar de forma simples sobre a técnica de inversão de dados geofísicos, uma forma de estimarmos as propriedades das rochas no subsolo. Finalmente em Arte da Terra visitamos as curiosas formações geológicas do leste da Alemanha, a impronunciável Elbasandsteingeberge.

- 1- Elbasandsteingeberge, os arenitos do leste da Alemanha

Luiz Alberto Santos

GEODINÂMICA: Vulcão de carbonatito



Se tomarmos todas as rochas que compõem a crosta terrestre verificamos que sua composição química média é a que se segue abaixo. O principal elemento constituinte, depois do oxigênio, é o silício. Silício e oxigênio combinados a outros elementos irão formar o principal grupo de minerais constituinte de rochas na crosta terrestre, os silicatos. As lavas expelidas pelos vulcões, embora com composição variada devido a diversos fatores geológicos (entre eles o domínio tectônico que o vulcão se situa) são predominantemente compostas por silicatos além do próprio quartzo (SiO_2).

A Terra reserva muitas surpresas para os seus estudiosos. Uma delas é o vulcão Ol Doinyo Lengai que se ergue a 3188 m de uma monótona planície no norte da Tanzânia. Ol Doinyo Lengai expele lavas carbonatíticas que são ricas em carbonato de sódio e potássio, respectivamente os minerais nyereita e gregoriita, bastante raros em outros ambientes geológicos mais, digamos, convencionais. As lavas extrudem do vulcão a aproximadamente 510 °C, temperatura relativamente baixa comparada a lavas basálticas ou mesmo riolíticas cujas temperaturas estão entre 700 e 1000 °C . Ol Doinyo Lengai está ativo a pelo menos 15000 anos e o último registro de erupção ocorreu este ano (2013).

Elemento	Peso(%)
Oxigênio	45.20
Silício	27.20
Alumínio	8.00
Ferro	5.80
Cálcio	5.06
Magnésio	2.77
Sódio	2.32
Potássio	1.68
Titânio	0.86
Hidrogênio	0.14
Manganês	0.10
Fósforo	0.10
Outros elementos	0.77

Os carbonatitos ocorrem associados à magmatismo alcalino, ricos em sódio e potássio e embrocados em sílica (SiO_2) comparativamente a outros tipos de magma. Magmas alcalinos são originados nas profundezas do manto da Terra (bem abaixo da crosta) e sua ascensão até a superfície é observada em locais sujeitos, hoje ou no passado



Fala da Terra

geológico, a tectonismo distensivo em áreas continentais, riftes. O OI Doinyo Lengai está associado ao tectonismo distensivo que originou o sistema de riftes no leste africano. Lá o continente africano está se fragmentando proporcionando fraturas profundas na litosfera (crosta e manto) e possibilitando a ascensão dos magmas alcalinos e os super-raros carbonatitos.

No Brasil são conhecidos corpos de carbonatito extrusivos e intrusivos com idades variando de 2.0 bilhões a 58 milhões de anos e presentes em diversos estados: Rio Grande do Sul (Três Estradas e Joca Tavares), Santa Catarina (Antiópolis e Lages), Paraná (Mato Preto), São Paulo (Jacupiranga, Juquiá, Ipanema, Itanhaém e Barra do Itapirapuã), Minas Gerais (Araxá, Tapira, Salitre, Serra Negra e São Gotardo), Goiás (Catalão, Santo Antônio da Barra, Caiapó e Morro do Engenho), Bahia (Angico dos Dias), Pará (Maicuru e Mutum) e Amazonas (Seis Lagos).

RECURSOS: Grandes províncias petrolíferas II

O mapa constante na Figura R-1 apresenta o ano de descoberta do primeiro campo petrolífero das diversas províncias nos continentes e subregiões. Assim, dentre as 36 províncias listadas (http://www.faladaterra.com/uploads/JFDT_201309.pdf), comecemos por apresentar os grandes campos de petróleo nas Américas.

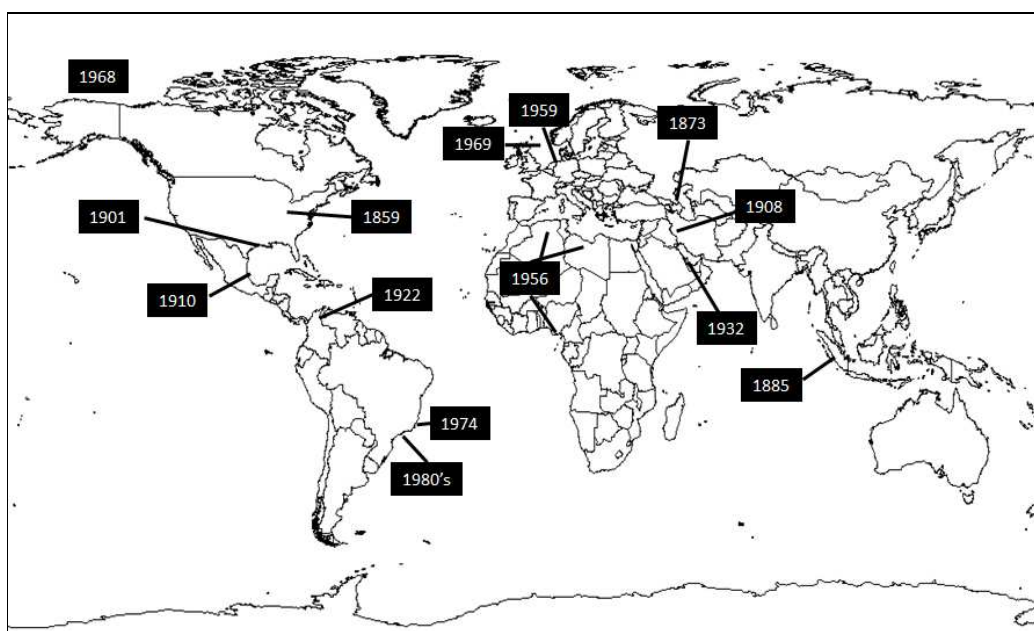


Figura R-1: Mapa mundi listando o ano de descoberta das grandes províncias petrolíferas na era moderna do petróleo (pós-1859).

De acordo com os critérios utilizados os seguintes países figuram nas Américas como detentores de províncias portadoras de hidrocarbonetos: Colômbia, Argentina, Venezuela, Brasil, México, Estados Unidos da América e Canadá. Se colocarmos um limite mínimo de 500 milhões de barris de reserva recuperável – um volume normalmente empregado para definir um campo gigante - Argentina e Colômbia saem de nossa lista pois, os campos de destaque nestes dois países são respectivamente Pequena Terra do Fogo (10 milhões de reserva estimada) e Caño Limon (100 milhões de barris de reserva estimada), ambos em terra (*onshore*). As reservas de petróleo de Argentina



Fala da Terra

e Colômbia são de respectivamente 2,5 e 2,2 bilhões de barris (*BP statistical Anual report*), reservas extremamente baixas para países em desenvolvimento.

Brasil (1 na Figura R-2) se destaca pela província da Bacia de Campos, com os campos de Marlim, Albacora e Roncador que juntamente com muitos outros com menor volume respondem pela maior parte do petróleo produzido no país. Mais recentemente os campos do pré-sal na Bacia de Santos, entre eles Lula, com reserva estimada em 8 bilhões de barris, garantirão a autosuficiência brasileira em hidrocarbonetos por décadas.

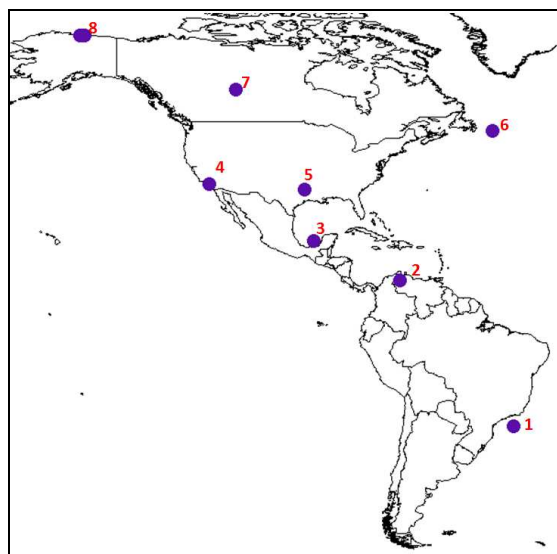


Figura R-2: Localização de grandes campos nas diversas províncias petrolíferas das Américas. Vide texto para maiores detalhes

Venezuela (2 na Figura R-2) detém as maiores reservas petrolíferas das Américas, cerca de 297,6 bilhões de barris. Contribuem para este volume o campo de Bolívar com 20 bilhões de barris, no entorno do Lago Maracaibo; e a colossal província de óleo pesado do Orinoco com mais de 100 bilhões de barris em reservas estimadas.

Indo mais ao norte, chegamos ao México cujo o campo de destaque é Cantarell (3 na Figura R-2). Este campo, descoberto em 1976, teve suas reservas iniciais estimadas em 15 bilhões de barris. Ele já atingiu seu pico de produção e atualmente produz cerca de 408 mil barris por dia.

Canadá apresenta um destaque *offshore* no Atlântico Norte, o campo de Hibernia (6 na Figura R-2) com 704 milhões de barris em reserva original cuja produção iniciou-se em 1997; e em terra, a colossal província de óleos pesados de Athabasca (7 na Figura R-2) com respeitáveis 1 trilhão de barris em reserva. O óleo produzido em Athabasca difere das formas de produção convencionais pois lá a rocha portadora de hidrocarboneto, um arenito, é minerada e o óleo extraído em um processo de beneficiamento.

Os Estados Unidos foram outrora os maiores produtores de petróleo. Diversas províncias contribuíram para irrigar o mercado interno com petróleo e derivados, entre elas a Província de Illinois cujo somatório de diversos campos chegou a alcançar 4 bilhões de barris em reserva; na Califórnia o campo de Wilmington (4 na Figura R-2) com 3 bilhões de barris também em reservas; e a pequena Ghawar norte americana, o campo East Texas. Me surpreendi com East Texas (5 na Figura R-2), daí eu apelidá-la de Ghawar norte-americana. East Texas foi estimado em 6 bilhões de barris em uma estrutura com 72 Km de comprimento por 8 Km de largura em planta. Descoberto em 1930 foi fundamental para alimentar os blindados no *front* europeu durante a Segunda Grande Guerra Mundial. No distante Alasca deve-se render destaque a Prudhoe Bay (8 na Figura R-2), descoberto em 1968 e com reserva original de 13 bilhões de barris.

(continua na próxima edição).



GEOHISTÓRIA: DeGolyer



Há tempos queria pesquisar sobre a vida de Everette Lee DeGolyer desde a primeira vez que li sobre seus feitos como exploracionista no livro *The Prize* de Daniel Yerguin. No mês de seu aniversário listo um pequeno resumo deste grande exploracionista.

DeGolyer nasceu no Kansas em 9 de outubro de 1886. Em 1906 ingressou na Universidade de Oklahoma no curso de engenharia de minas. Ainda estudante, trabalhou como assistente de campo no Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) nos estados de Wyoming, Colorado e Montana.

Em 1909, DeGolyer trabalhou para Eagle Oil e em 1910, liderando a equipe de campo, foi responsável pela descoberta não somente de um campo de petróleo (Portrero del Llano) mas de uma prolífica província, a Faixa Dourada, no México (http://www.faladatterra.com/uploads/JFDT_201301.pdf). Um pequeno detalhe. Um ano depois deste grande feito exploratório, DeGolyer foi receber seu título de engenheiro de minas pela Universidade de Oklahoma. Fantástico, sua primeira descoberta ocorreu antes de sua formatura ! Retornando ao México em 1911, descobriu o campo de Las Naranjas também para a filial mexicana da Eagle Oil.

Com a deflagração da Primeira Guerra Mundial, então com 28 anos de idade, DeGolyer fundou sua própria empresa de consultoria e continuou prestando serviços para o dono da Eagle Oil, futuro Lord Condray (Weetman Dickinson Pearson). Em 1918 ele a vendeu para Royal Dutch Shell e neste mesmo tempo foi convidado por Lord Condray para organizar a equipe da Amerada Petroleum Corporation para explorar Estados Unidos, Canadá e a porção emersa circunscrevendo o Golfo do México. Em 1926 tornou-se presidente da Amerada Corporation e da Amerada Refining Corporation além de se responsabilizar pela Geophysical Research Corporation, empreendimento voltado para aplicação da geofísica na exploração petrolífera. Vale lembrar que na década de 1920 viveu-se um grande boom de emprego de ferramentas geofísicas voltadas para exploração, principalmente gravimetria, sísmica de refração e sísmica de reflexão.

Em 1932 DeGolyer saiu da Amerada Corporation, retornou a Dallas e até os anos 1940 trabalhou para diversas companhias locais. Durante a Segunda Guerra Mundial acessorou o governo norte-americano como diretor de conservação no Gabinete do Coordenador de Defesa Nacional, na Administração do Petróleo para Guerra, na missão Petroleum Reserve Corporation para o Oriente Médio e foi Conselheiro Chefe de Franklin D. Roosevelt na Conferência de Teerã.

No final dos anos 1940's DeGolyer começou a sofrer mais intensamente os efeitos de anemia aplástica. Em 1956 se suicidou em seu escritório em Dallas.

LEITURA DA TERRA: Inversão de dados geofísicos

Embora alguns achem loucura versar sobre este assunto em forum aberto a não iniciados nas geociências ou nas cadeiras de cálculo e física, lá vou eu escrever algumas linhas sobre a inversão de dados geofísicos. Trata-se de um tema de alta relevância atualmente e que tenho me dedicado mais detidamente nos últimos anos.

Uma das funções do geocientista é desvendar o que há abaixo de seus pés. Enquanto o astrônomo e o meteorologista passam a vida a olhar para cima, para o céu, o geólogo vive olhando para o chão. Aí estão algumas das perguntas



Fala da Terra

que devemos nos fazer, enquanto geocientistas sobre o que jaz no subsolo. Qual rocha ou sedimento, qual a sua mineralogia, quanto há de porosidade, o que preenche os poros, qual a geometria dos corpos rochosos e, no limite, qual a sua história. São todas perguntas muito difíceis de serem respondidas, sobretudo quando não temos acesso direto às rochas no subsolo. O acesso à rocha em subsuperfície a grandes profundidades se dá pela sondagem, seja pela extração de testemunhos (Figura LT-1), *plugs* (pequenas amostras de rocha retiradas da parede do poço) e através dos *cuttings* (calha - fragmentos da rocha perfurada e cortada pela broca que ascendem pelo poço e são recuperados). Dentre os três acessos, certamente o testemunho é o que traz mais informações da rocha e sua estrutura original e as relações de contato entre os estratos e outras unidades. Ainda assim, os testemunhos trazem uma informação pontual ou, no máximo, unidimensional. Os corpos geológicos têm uma distribuição tridimensional que foge a amostragem de poços, portanto.



Figura LT-1: Testemunhos retirados de um poço. Cada segmento na caixa possui 1 m de comprimento

Os métodos geofísicos têm como um dos objetivos complementar a compreensão e distribuição geológica no espaço subterrâneo. Contudo nenhum método geofísico informa que rocha ou solo há em subsuperfície. Eles dão indicativos de propriedades físicas. Uma vez calculadas estas propriedades, geofísicos intérpretes com grande experiência estimam que rocha jaz abaixo de seus pés. Possuindo uma massa substancial de dados, podem interpretar a história evolutiva de uma região.

Todos os métodos geofísicos baseiam-se em uma lei física (L) que atuando sobre um conjunto de propriedades (M) gerará uma resposta (D), ou os dados que medimos no campo. De forma bastante simplificada podemos escrever a seguinte equação:

$$D = L.M ,$$

que representa o chamado problema direto, ou seja, calculamos diretamente os dados (D) conhecendo-se o modelo de propriedades (M). Teoricamente, se conhecemos a lei (L) e temos os dados (D), também poderíamos calcular as propriedades das rochas (M) em qualquer lugar do espaço fazendo uma espécie de prova real do tipo:

$$M = \frac{D}{L} ,$$

que representa o chamado problema inverso, ou inversão, daí o nome Inversão de dados geofísicos. A tabela abaixo lista a relação entre dados (D) e propriedades (M) de alguns métodos geofísicos.



Fala da Terra

Método (L)	Dado (D)	Modelo ou propriedades (M)
Gravimétrico	variação da gravidade	Densidade
magnetométrico	variação do campo magnético	susceptibilidade magnética
eletroresistividade	potencial elétrico	Resistividade
gamaespectrométrico	contagem total ou parcial	concentração de elementos radioativos
Sísmico	sismograma com amplitude e tempo dos eventos	velocidade de ondas mecânicas e densidade
GPR	radargrama com amplitude e tempo dos eventos	velocidade de ondas eletromagnéticas

Infelizmente temos uma série de limitações de ordem operacional que torna o conjunto de dados (D) extremamente incompleto para realizarmos a tal inversão. Contudo a integração do conhecimento geológico de uma determinada região pode contornar em parte algumas destas limitações operacionais permitindo estimativas cada vez melhores das propriedades do subsolo. No exemplo a seguir, a Figura LT-2 exibe uma seção sísmica levantada na costa oeste norte-americana. A Figura LT-3 exibe o resultado de uma propriedade (a velocidade de ondas P ou compressionais) estimada a partir dos dados sísmicos. A partir destas estimativas é possível identificar a variação de velocidade da onda mecânica P através dos sedimentos. Nota-se que a variação é crescente a partir do fundo do mar e há um intervalo (faixa verde) de menor velocidade. Uma série de inferências de interpretação pode ser realizada a partir destes dados. Esse é um dos trabalhos do geofísico, desvendar o que há abaixo do subsolo a partir de suas propriedades físicas. Neste local adianto ao leitor que trata-se de uma conhecida área de ocorrência de hidratos (http://www.faladatterra.com/uploads/JFDT_201305.pdf), uma possível fonte de energia, presente na costa oeste dos EUA (Blake Ridge). As variações de velocidade estão associadas à concentração de hidratos e gás livre nos sedimentos.

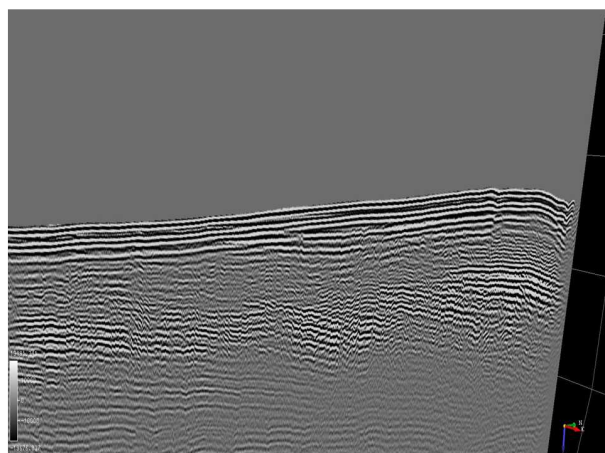


Figura LT-2: Seção sísmica levantada na região de Blake Ridge nos EUA.

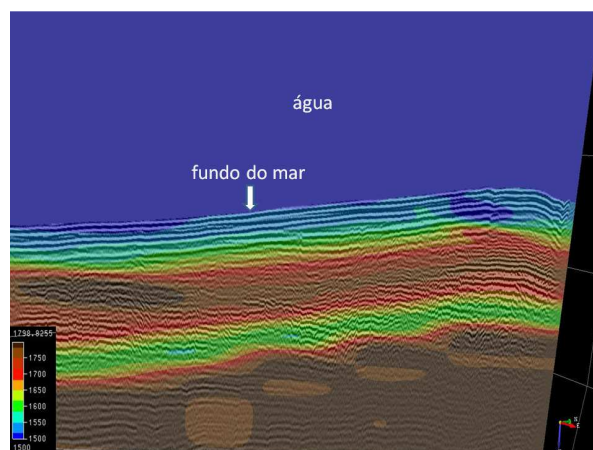


Figura LT-3: Sobreposição da seção sísmica e as propriedades estimadas. A escala de cores indica a velocidade de ondas P (entre 1500 e 1800 m/s). Ao longo da Figura indicam-se a camada de água e o fundo do mar, abaixo do qual jaz a pilha de sedimentos. Note a variação de velocidade ao longo da pilha de sedimentos



ARTE DA TERRA: Elbasandsteingebirge



As estranhas formações escarpadas de rochas das Elbasandsteingebirge se erguem sobre a Saxônia, no leste da Alemanha, e sobre a Boêmia, no leste da República Tcheca. São algumas das mais singulares e chamativas formações geológicas da Europa Central. O nome pode ser traduzido como “as montanhas de arenito do Elba”, mas na verdade são bizarros cumes formados por milênios de erosão do vento e hídrica que desgastaram o arenito amarelo-esverdeado. Formam uma série de promontórios peculiares que se projetam sobre as florestas e margeiam o rio Elba. A região ocupa uma área de 20 x 30 Km e predominantemente composta por arenitos marinhos de idade Cretácea.

Referências

BP statistical report 2013 (<http://www.bp.com/statisticalreview>).

Bright, M., 2009 - 1001 Natural wonders you must see before you die.