

ESCOLA TÉCNICA CURSO NOBRE



ENGENHARIA DO PETRÓLEO

www.cursonobre.com.br

INTRODUÇÃO À ENGENHARIA DE PETRÓLEO

CAPÍTULO I – O PETRÓLEO

O petróleo foi um dos primeiros recursos naturais que nossos antepassados aprenderam a usar, sua participação remota a tempos bíblicos. No entanto, sua utilização mais intensa se deu, realmente, em torno de 1847, quando um comerciante de Pittsburg, na Pensilvânia, EUA, começou a engarrafar e vender petróleo de vazamentos naturais, *oil seeps*, para ser utilizado como lubrificante. Cinco anos depois, em 1852, um químico canadense descobriu que o aquecimento e a destilação do petróleo produzia querosene, um líquido que podia ser utilizado em lâmpadas. Essa descoberta condenou as velas e as lâmpadas de óleo de baleia. Em 27 de agosto de 1859, em Titusville, Pensilvânia foi perfurado o primeiro poço de petróleo, com profundidade de apenas 21,2 metros, do qual se obteve 2 m³ por dia de óleo. O petróleo foi rapidamente descoberto em outros locais dos EUA, como West Virginia (1860), Colorado (1862), Texas (1866) e Califórnia (1875).

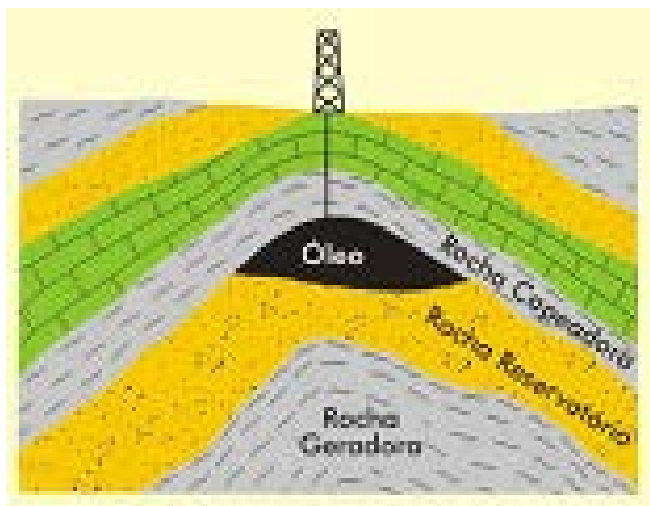
O Petróleo e sua Origem

Do latim *petra* (pedra) e *oleum* (óleo), o petróleo no estado líquido é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e cor variando entre o negro e o castanho-claro. O termo *petróleo* é utilizado para designar tanto o óleo quanto o gás natural.

O petróleo é um combustível fóssil, originado da decomposição não-oxidante de matéria orgânica armazenada em sedimentos, que migra através de aquíferos e fica aprisionado em reservatórios. A interação dos fatores – matéria orgânica, sedimento e condições termoquímicas apropriadas – é fundamental para o início da cadeia de processos que leva à formação do petróleo. A matéria orgânica proveniente de vegetais superiores também pode dar origem ao petróleo, todavia sua preservação torna-se mais difícil em função do meio oxidante onde vivem.

O tipo de hidrocarboneto gerado, óleo ou gás, é determinado pela constituição da matéria orgânica original e pela intensidade do processo térmico atuante sobre ela. A matéria orgânica proveniente do fitoplâncton, quando submetida a condições térmicas adequadas, pode gerar hidrocarboneto líquido. O processo atuante sobre a matéria orgânica vegetal lenhosa poderá ter como consequência a geração de hidrocarbonetos gasosos.

Acumulações de Petróleo



A existência de acumulações de petróleo depende das características e do arranjo de certos tipos de rochas sedimentares no subsolo. Basicamente, é preciso que existam rochas geradoras que conttenham a matéria-prima que se transforma em petróleo e rochas-reservatório, ou seja, aquelas que possuem espaços vazios, chamados poros, capazes de armazenar o petróleo. Essas rochas são

envolvidas em armadilhas chamadas *trapas*, compartimentos isolados no subsolo onde não tem condições de escapar.

A ausência de qualquer um desses elementos impossibilita a existência de uma acumulação petrolífera. Logo, a existência de uma bacia sedimentar não garante, por si só, a presença de jazidas de petróleo.

As *rochas geradoras* são assim chamadas por tratar-se de um mineral formado principalmente pelo acúmulo de fragmentos de outros minerais e detritos orgânicos, e que, quando se encontra num ambiente de pouca permeabilidade – o que inibe a ação de água circulante e diminui a quantidade de oxigênio existente – cria as condições necessárias para a formação do petróleo.

Após o processo de formação do petróleo, para que o mesmo se acumule, formando posteriormente um reservatório, é necessário que após a geração ocorra a migração do petróleo, e que no percurso desta migração exista alguma armadilha geológica que permita a acumulação do óleo. Esta “migração” ainda é um assunto que gera certa polêmica entre os geólogos; no entanto, o

que se percebe é que o petróleo é expulso da rocha onde foi gerado, talvez pelo microfraturamento já observado nas rochas geradoras ou devido às altas pressões de compactação existentes.

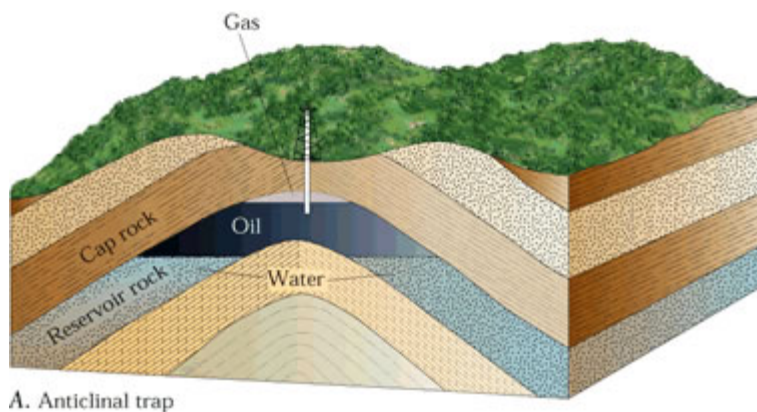
Assim, o petróleo migra da rocha geradora para outra rocha, porosa e permeável, chamada *Rocha Reservatório*, e continua seu fluxo no interior da mesma, até ser contido por uma armadilha, isto é, uma estrutura geológica compreendida dentro de uma rocha selante (impermeável), que permita que o óleo ali se confine.

Detalhe – rocha reservatório

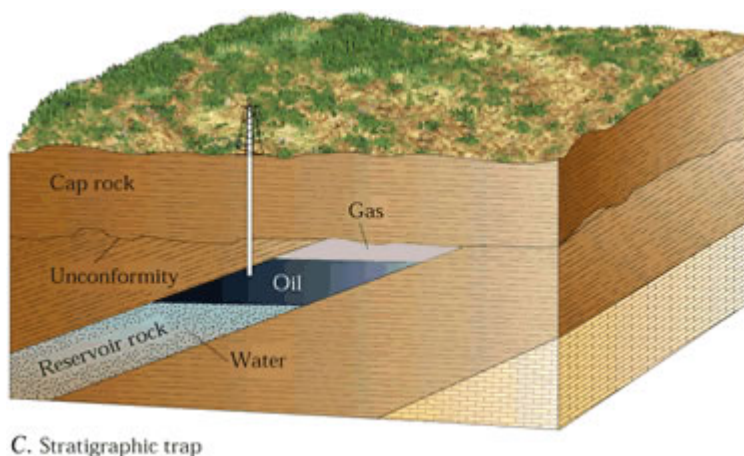


Não havendo a presença de uma rocha selante e de uma armadilha (trapa), o petróleo não se acumularia, e continuaria seu fluxo rumo a áreas de menor pressão, culminando em exsudações ou perda por degradação bacteriana e oxidação.

Armadilha estrutural. É a forma mais comum de acumulação de petróleo. Ocorre em regiões em que a crosta esteve sujeita a compressão horizontal.



Armadilha estratigráfica. Essas armadilhas ocorrem em regiões em que a crosta esteve sujeita a compressão vertical



O Petróleo e seus Constituintes

O petróleo é constituído, basicamente, por uma mistura de compostos químicos orgânicos: hidrocarbonetos parafínicos, isoparafínicos, naftênicos e aromáticos. Além dos hidrocarbonetos mencionados, o petróleo apresenta outros constituintes em menor percentual, compostos orgânicos contendo elementos químicos como nitrogênio, enxofre, oxigênio (chamados genericamente de compostos NSO) e metais, principalmente níquel e vanádio. Tais constituintes são considerados nocivos aos produtos, equipamentos e ao meio ambiente, sendo por isso considerados impurezas, devendo ser removidos em processos de tratamento específicos. Juntamente com o petróleo são também encontradas outras impurezas, como a água, sais e sedimentos.

A presença destes contaminantes irá implicar numa maior ou menor qualidade do petróleo. Quanto mais contaminantes, orgânicos ou inorgânicos, pior será sua qualidade. O quadro abaixo mostra alguns prejuízos a constituição dos produtos derivados dos hidrocarbonetos:

CONTAMINANTE:	ELEMENTO QUÍMICO PRESENTE:	PREJUÍZO:
Compostos Orgânicos Sulfurados	Enxofre (S)	Corrosão, Toxidez, Poluição.
Compostos Orgânicos Nitrogenados	Nitrogênio (N)	Retenção de água emulsionada, Contaminação de catalisadores, Alteração da coloração de produtos finais.
Compostos Orgânicos Oxigenados	Oxigênio (O)	Acidez, Corrosividade, formação de gomas, odor.
Compostos Orgânicos Metálicos	Metais (principalmente Ni e V)	Agressão a materiais, Contaminação de catalisadores.

Quando a mistura contém uma maior porcentagem de moléculas pequenas seu estado físico é gasoso e quando a mistura contém moléculas maiores seu estado físico é líquido, nas condições normais de temperatura e pressão.

O petróleo contém centenas de compostos químicos, e separá-los em componentes puros ou misturas de composição conhecida é praticamente impossível. O petróleo é normalmente separado em frações de acordo com a faixa de ebulição dos compostos. A tabela a seguir mostra as frações típicas que são obtidas do petróleo.

Fração	Temperatura de Ebulição (°C)	Composição aproximada	Usos
Gás Residual	-	C1 – C2	Gás combustível
Gás liquefeito de petróleo – GLP	Até 40	C3 – C4	Gás combustível engarrafado, uso doméstico e industrial.
Gasolina	40 – 175	C5 – C10	Combustível de automóveis, solvente.
Querosene	175 – 235	C11 – C12	Iluminação, combustível de aviões a jato.
Gasóleo leve	235 – 305	C13 – C17	Diesel, fornos.
Gasóleo pesado	305 – 400	C18 – C25	Combustível, matéria-prima para lubrificantes.
Lubrificantes	400 – 510	C26 – C38	Óleos lubrificantes.
Resíduo	Acima de 510	C38+	Asfalto, piche, impermeabilizantes.

Os óleos obtidos de diferentes reservatórios de petróleo possuem características diferentes. Alguns são pretos, densos, viscosos, liberando pouco ou nenhum gás, enquanto que outros são castanhos ou bastante claros, com baixa viscosidade e densidade, liberando quantidade apreciável de gás. Outros reservatórios, ainda podem produzir somente gás.

A Classificação do Petróleo

Dependendo de sua densidade (*gravity*), os óleos são classificados pelo American Petroleum Institute – API – em vários graus (*specific gravity*), sendo que os com maior graduação são os melhores, ou seja, são petróleos mais leves. Como exemplo, um óleo de 17° API é muito pesado e um de 30° API é mais leve.

Alguns fatores podem afetar o °API dos óleos, tais como:

- A idade geológica: as rochas antigas tendem a ter maior graduação; mas, rochas terciárias podem ter cerca de 40° API, como as do Mar do Norte.
- Profundidade do reservatório: quanto maior a profundidade, maior a graduação.
- Tectonismo: altas graduações são mais comuns em regiões com muitas tensões nas camadas geológicas.
- Salinidade: os reservatórios de origem marinha tendem a ter maiores graduações do que os de origem de ambientes com água salobra ou fresca.
- Teor de enxofre: este teor é alto em óleos de baixa graduação.

A classificação do petróleo, de acordo com seus constituintes, interessa desde os geoquímicos até os refinadores. Os primeiros visam caracterizar o óleo para relacioná-los à rocha-

mãe e medir o seu grau de degradação. Os refinadores querem saber a quantidade das diversas frações que podem ser obtidas, assim como sua composição e propriedades físicas.

Assim, os óleos parafínicos são excelentes para a produção de querosene de aviação (QAV), diesel, lubrificante e parafinas. Os óleos naftalênicos produzem frações significativas de gasolina, nafta petroquímica, QAV e lubrificantes, enquanto que os óleos aromáticos são mais indicados para a produção de gasolina, solventes e asfalto.

FAMÍLIA	PRODUTO	CARACTERÍSTICA
Parafínicos	QAV	Combustão limpa
	Diesel	Facilidade ignição
	Lubrificantes	Constância da viscosidade com temperatura
	Parafinas	Facilidade na cristalização
Naftênicos	Gasolina	Solução de compromisso entre a qualidade e a quantidade do derivado.
	Nafta petroquímica	
	QAV	
	Lubrificantes	
Aromáticos	Gasolina	Ótima resistência à detonação
	Solventes	Solubilização
	Asfaltos	Agregados moleculares
	Coque	Elevado

- **CLASSE PARAFÍNICA (75% ou mais de parafinas)**

Nesta classe estão os óleos leves, fluidos ou de alto ponto de fluidez, com densidade inferior a 0,85. A maior parte dos petróleos produzidos no Nordeste brasileiro é classificada como parafínica.

Este tipo de petróleo produz subprodutos com as seguintes propriedades:

- Gasolina de baixo índice de octanagem.
- Querosene de alta qualidade.
- Óleo diesel com boas características de combustão.
- Óleos lubrificantes de alto índice de viscosidade, elevada estabilidade química e alto ponto de fluidez.
- Resíduos de refinação com elevada percentagem de parafina.

- **CLASSE PARAFÍNICO-NAFTÊNICA (50 – 70% parafinas, >20% de naftênicos)**

Os óleos desta classe são os que apresentam densidade e viscosidade maiores do que os parafínicos, mas ainda são moderados. A maioria dos petróleos produzidos na Bacia de Campos, RJ, é deste tipo.

- *CLASSE NAFTÊNICA (>70% de naftênicos)*

Nesta classe enquadra-se um número muito pequeno de óleos. Apresentam baixo teor de enxofre se originam da alteração bioquímica de óleos parafínicos e parafínico-naftênicos. Alguns óleos da América do Sul, da Rússia e do Mar do Norte pertencem a esta classe.

O petróleo do tipo naftênico produz subprodutos com as seguintes propriedades principais:

- Gasolina de alto índice de octonagem.
- Óleos lubrificantes de baixo resíduo de carbono.
- Resíduos asfálticos na refinação.

- *CLASSE AROMÁTICA INTERMEDIÁRIA (>50% de hidrocarbonetos a aromáticos)*

Compreende óleos freqüentemente pesados, contendo uma densidade usualmente é maior que 0,85. Alguns óleos do Oriente Médio (Arábia Saudita, Catar, Kuwait, Iraque, Síria e Turquia), África Ocidental, Venezuela, Califórnia e Mediterrâneo (Sicília, Espanha e Grécia) são desta classe.

- *CLASSE AROMÁTICO-NAFTÊNICA (>35% de naftênicos)*

Óleos deste grupo sofreram processo inicial de biodegradação, no qual foram removidas as parafinas. Eles são derivados dos óleos parafínicos e parafínico-naftênicos. Alguns óleos da África Ocidental são deste tipo.

- *CLASSE AROMÁTICO-ASFÁLTICA (>35% de asfaltenos e resinas)*

Estes óleos são oriundos de um processo de biodegradação avançada em que ocorreria a reunião de monocicloalcenos e oxidação. Podem também nela se enquadrar alguns poucos óleos verdadeiramente aromáticos não degradados da Venezuela e África Ocidental. Entretanto, ela compreende principalmente óleos pesados e viscosos, resultantes da alteração dos óleos aromáticos intermediários. Nesta classe encontra-se os óleos do Canadá ocidental, Venezuela e sul da França.

CAPÍTULO II – O HISTÓRICO DO PETRÓLEO NO MUNDO E NO BRASIL

A indústria do petróleo é um dos setores que mais tem registrado avanços tecnológicos nos últimos tempos, sobretudo no segmento *upstream*. Este segmento, relativo às atividades de exploração e produção, consiste em uma série de atividades complexas, que demandam vultosos investimentos e profissionais altamente qualificados para em prática seu objetivo: descobrir e produzir petróleo.

A partir da industrialização do petróleo, em 1859, o dinamismo experimentado pelo setor fez com que novas tecnologias evoluíssem. Hoje, as atividades de pesquisa têm início em satélites que captam dados geológicos e indicam a provável localização de bacias petrolíferas. Uma coisa, no entanto, não mudou: o espírito aventureiro daqueles que se dedicam a esta atividade. Embrenhar-se em matas ou em regiões inóspitas ainda é tarefa de técnicos, pesquisadores e geólogos, que têm de ir a campo realizar testes sísmicos e geológicos, delimitar a área e até perfurar poços para mensurar a qualidade e quantidade do reservatório. É com este mesmo espírito de aventura que as páginas seguintes deste capítulo convidam você a uma incursão neste apaixonante mundo da indústria do petróleo.

A História do Petróleo no Mundo

Existem relatos da existência e utilização do petróleo que remontam à antiguidade. Muitos povos utilizavam-se dos vazamentos naturais e os registros dão conta da utilização na Torre de Babel e na Arca de Noé, no embalsamento de mortos ilustres pelos egípcios, na pavimentação de estradas pelos Incas, como aglutinante de tijolos pelos Sumérios, para fins bélicos por gregos e romanos, entre outros.

Desde o século XVI, o principal motivo das expansões marítimas e das atividades econômicas européias, como é sabido, foi a busca do ouro. Reis, navegantes, soldados e mercadores de Portugal, da Espanha, da Holanda e da Inglaterra, cada um por si, lançaram-se na localização e

exploração do precioso mineral em qualquer parte do mundo. Entretanto, a partir do século XIX, um outro tipo de ouro vai atizar a cobiça humana.

Em torno de 1847, o petróleo começou a ser utilizado comercialmente, quando um comerciante de Pittsburg, na Pensilvânia, EUA, começou a engarrafar e vender petróleo de vazamentos naturais (*oil seeps*) para ser utilizado como lubrificante. Cinco anos depois, em 1852, um químico canadense descobriu que o aquecimento e a destilação do petróleo produzia querosene, um líquido que podia ser utilizado em lâmpadas.

As primeiras tentativas de perfuração de poços de petróleo aconteceram nos Estados Unidos, com Edwin L. Drake. Após meses de perfuração, Drake encontra petróleo, a 27 de agosto de 1859, em Titusville, Pensilvânia. O poço encontrado possuía uma profundidade de apenas 21,2 metros, do qual se obteve 2 m³ por dia de óleo. Passados cinco anos, achavam-se constituídas nos Estados Unidos, nada menos que 543 empresas entregues ao novo e rendoso ramo de atividades.

É fácil perceber o rápido avanço da indústria em função da enorme demanda. Para começar, as principais matérias-primas utilizadas na época eram o óleo de baleia para a iluminação, bem como velas de cera, carvão e alcatrão. O uso do querosene obtido com a destilação do petróleo, bem mais barato, revolucionou a sociedade da época. Com a posterior criação da indústria automobilística e do avião, somada à sua utilização nas guerras, o petróleo tornou-se o principal produto estratégico do mundo moderno, sedimentando-se de vez seu uso como matriz energética.

De 1908 a 1950, as companhias multinacionais formaram verdadeiros impérios monopolizando todas as zonas produtoras de petróleo espalhadas pelo mundo, mas concentradas basicamente no Oriente Médio. Vale ressaltar que a supremacia americana como maior produtor mundial de petróleo se deu, em parte, à atuação do empresário John Rockefeller (fundador da Standar Oil, em 1870) que, de modo bastante arrojado, conduziu seus negócios tendo sempre em vista a expansão de suas atividades, aperfeiçoando produtos, investindo em tecnologia, construindo novas refinarias e abrindo novos mercados. No período situado entre 1920 e 1930, Rockefeller viu sua Standard Oil (mais tarde Exxon) liderar o grupo que ficou conhecido no mundo como “as sete irmãs”: Exxon, Chevron, Móbil, Texaco, Gulf, British Petroleum e Shell.

Durante a Segunda Guerra Mundial a demanda por petróleo e derivados atingiu proporções gigantescas; afinal, as forças armadas necessitavam de combustíveis para movimentar suas

máquinas de guerra. Também no pós-guerra a procura se intensificou e, à medida que um novo quadro geopolítico se desenhava, alguns fatos pertinentes à indústria do petróleo se desenvolviam.

Em 1950 o Oriente Médio tem um desenvolvimento notável em sua produção, e outros resultados importantes foram registrados no Norte da África, no Canadá e na Nigéria. Não obstante, os Estados Unidos continuam detendo metade da produção mundial, condição francamente ameaçada pelos novos pólos surgentes. Em paralelo, começa também o maior incremento das atividades exploratórias e o advento de novas tecnologias, permitindo cada vez mais experiências no mar.

Neste período de franca expansão destas atividades, os países começaram a se preocupar com a regulação das mesmas, a fim de defender seus interesses e garantir a divisão dos lucros obtidos pelas companhias multinacionais. Alguns adotaram um sistema de concessão de áreas limitadas, como a Venezuela e Canadá, enquanto outros permitiram a exploração indiscriminada de seus recursos em troca de valores predeterminados, pagamento de royalties, emprego de mão-de-obra local, etc.

A maioria dos países em desenvolvimento seguiu a política adotada pela Venezuela, gradativamente as empresas foram vendo diminuir suas regalias sendo obrigadas a aceitar o pacto dos cinquenta mais cinquenta, que tornava os estados-nacionais sócios iguais delas.

A década de 60 é marcada por dois fatos principais, que terão reflexo futuro. O primeiro diz respeito ao consumo desenfreado do petróleo, em virtude do excesso na produção mundial e conseqüente diminuição dos preços do mercado. O segundo foi a fundação da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), por iniciativa da Venezuela, Arábia Saudita, Kuwait, Iraque e Irã, representando 80% da exportação mundial de petróleo.

Tais fatos contribuíram para a primeira crise do setor, quando, em 1972, o Clube de Cientistas de Roma alertou o mundo para um déficit que poderia ocorrer em uma década, em função da projeção produção x demanda, e do consumo sem critério, levando à estimativa de que o petróleo acabaria em 50 anos, caso tal situação permanecesse. Foi o suficiente para que a OPEP reduzisse sua produção, embargasse as exportações e triplicasse os preços do barril de petróleo (de U\$ 2,9 para U\$ 11,65). No plano político a justificativa aduzida foi em função do apoio que os americanos deram aos israelenses na guerra do Yom-Kippur contra os árabes, sendo a formação do cartel uma forma de represália. Essa crise assinala uma mudança substancial dos conflitos. Agora não se trata

mais de um enfrentamento entre estados-nacionais e companhias multinacionais, mas entre países produtores e consumidores.

Mais a diante, em 1979, outra crise mundial abalou o mercado, ficando conhecida como o segundo grande choque do petróleo: foi a revolução Islâmica no Irã, um dos maiores exportadores de petróleo. Este momento foi marcado por interesses políticos, cujos objetivos, além de depor do poder o Xá Reza Phalevi (aliado do Ocidente no mundo árabe) e promover o aiatolá Khomeini, eram de duplicar o preço do barril de petróleo.

A crise do Golfo

Depois de ter-se envolvido numa desgastante guerra de fronteiras com o Irã, o ditador iraquiano Saddam Hussein resolveu atacar, em 1990, o emirado do Kuwait, um dos maiores produtores de petróleo do mundo. Saddam o transformou na 19ª província da República Iraquiana. Tinha início mais uma crise do petróleo do após-Guerra. O Kuwait era considerado fornecedor estratégico pelos Estados Unidos, fazendo com que os americanos temessem que Saddam Hussein pudesse açambarcar o controle de metade do fornecimento do petróleo na região. Igualmente receavam que ele pudesse alastrar-se para a Arábia Saudita.

Em 1991, com o apoio da ONU, liderando uma força multinacional (composta por ingleses, franceses, italianos e outros países árabes), os Estados Unidos reconquistaram o emirado e expulsou as tropas iraquianas de volta para suas fronteiras. Ao bater em retirada os iraquianos incendiaram todos os poços de extração provocando uma das maiores catástrofes ecológicas do mundo, fazendo com que grande parte da vida animal do Golfo Pérsico fosse destruída.

As principais crises do petróleo - todas elas depois da 2ª Guerra Mundial - que abalaram de algum modo a economia mundial por terem interrompido o fluxo do seu fornecimento, mostraram um cruzamento de conflitos. Podemos dividi-los em dois tipos:

- 1) Os primeiros conflitos que ocorreram entre os estados-nacionais em formação no mundo árabe e as grandes empresas multinacionais euro-americanas visando diretamente o controle do processo produtivo e distributivo. Tratou-se de uma luta em torno do dinheiro e do poder.*
- 2) As crises de segundo tipo deram-se numa etapa posterior, envolvendo os países produtores e os países consumidores.*

A história do petróleo no Brasil começa em 1858, onde o decreto nº 2266 assinado pelo Marquês de Olinda, concede a José Barros Pimentel o direito de extrair mineral betuminoso para fabricação de querosene de iluminação, em terrenos situados nas margens do Rio Marau, na Província da Bahia.

Contudo, as primeiras notícias sobre pesquisas diretamente relacionadas ao petróleo ocorrem em Alagoas a partir de 1891, em função da existência de sedimentos betuminosos no litoral. Em 1897, o fazendeiro Eugênio Ferreira de Camargo perfurou, na região de Bofete (SP), o que foi considerado o primeiro poço petrolífero do país, muito embora a iniciativa não foi coroada de êxito, visto que o poço produziu apenas algo em torno de dois barris, além de água sulfurosa.

Além das iniciativas particulares, em 1919 foi criado o Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, que perfura, sem sucesso, 63 poços nos estados do Pará, Alagoas, Bahia, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Em 1938, já sob a jurisdição do recém-criado Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), inicia-se a perfuração do poço DNPM-163, em Lobato, Bahia. O poço foi perfurado com uma sonda rotativa e encontrou petróleo a uma profundidade de 210 metros. Apesar de não ser considerado economicamente viável, os resultados do poço foram de fundamental importância para o desenvolvimento das atividades petrolíferas no país.

O êxito obtido em Lobato reforçou a necessidade do país diminuir a dependência em relação às importações de petróleo. Conseqüentemente, em 1939 o governo de Getúlio Vargas instala o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), com a primeira Lei do Petróleo do país, para estruturar e regularizar as atividades envolvidas, desde o processo de exploração de jazidas, importação, exportação, transporte, distribuição e comércio de petróleo e derivados. Este decreto tornou o recurso patrimônio da União.

A descoberta de petróleo em Lobato (1939) incentivou o CNP a continuar as pesquisas naquela região do Recôncavo Baiano, resultando na descoberta da primeira acumulação comercial de petróleo do país, o Campo de Candeias, em 1941.

Face ao aumento crescente da demanda por petróleo e derivados no país, começam a surgir, nos anos 50, conflitos de interesses quanto à melhor política a ser adotada para regular a exploração do petróleo. Alguns grupos políticos defendiam a liberdade da iniciativa privada, enquanto outros

eram favoráveis a um regime de monopólio estatal. Muitas campanhas e debates foram realizados por ambas as partes, devido à importância do assunto.

Os partidos políticos de esquerda que defendiam o monopólio estatal viram seus anseios acolhidos, quando, após intensa campanha democrática, Getúlio Vargas, em seu segundo governo, agora presidente eleito pelo povo, assina a Lei nº 2004, de 3 de outubro de 1953, que instituiu a Petróleo Brasileiro S/A (Petrobras) como monopólio estatal de pesquisa e lavra, refino e transporte do petróleo e seus derivados.

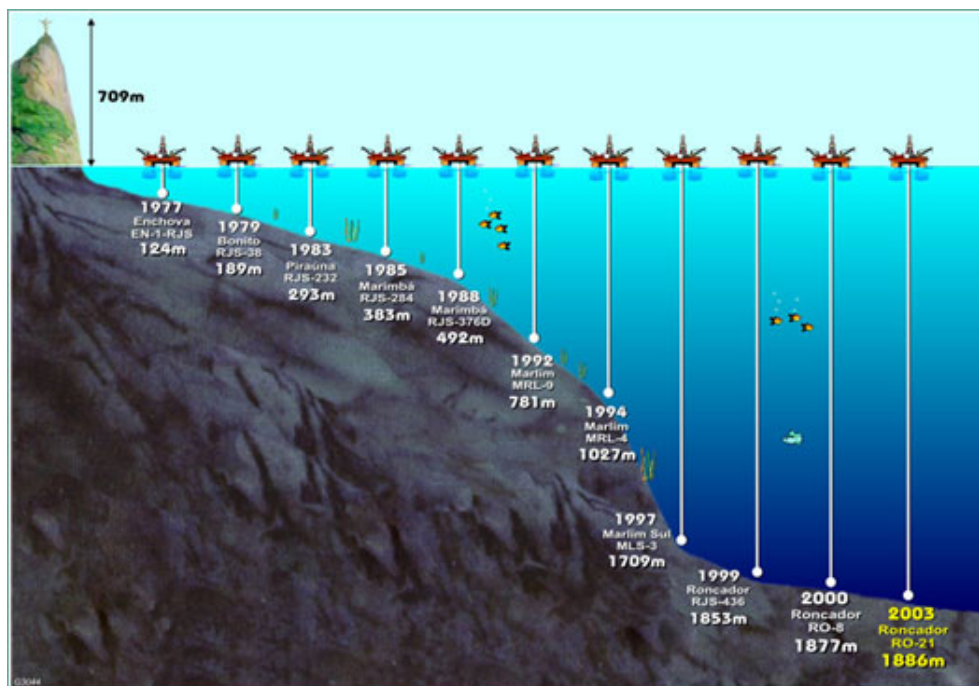
A partir deste momento a Petrobras avança na descoberta de novas reservas, passando a formar e capacitar seu quadro técnico, além de investir na ampliação do parque de refino, visando reduzir os custos com a importação de derivados. Cabe registrar os significativos avanços na exploração em águas profundas da bacia de Campos – RJ, datados de meados da década de 80, cujas pesquisas confirmaram como uma das maiores bacias produtoras do mundo.

Com o passar do tempo a ideia da manutenção do monopólio não resistiu às pressões dos grandes capitais externos, que, fazendo-se valer dos princípios do livre comércio de uma economia cada vez mais globalizada, acabou por levar os governantes da época à opção de abrir o mercado de exploração das reservas de petróleo.

Neste sentido, a Lei do Petróleo, de 1997, inicia uma nova fase na indústria petrolífera brasileira. Entre as mudanças está a criação da Agência Nacional do Petróleo (ANP), que substituiu a Petrobras nas responsabilidades de ser o órgão executor do gerenciamento do petróleo no país, e na nova tentativa de internacionalização do petróleo no Brasil. Esta Lei permitiu a formação de parcerias com empresas interessadas em participar do processo de abertura do setor, numa tentativa de trazer novos investimentos para o país.

Entre as mais de 20 bacias petrolíferas conhecidas no país, a produção ultrapassa 1,5 milhão de barris ao dia. Atualmente, a Petrobras detém o recorde mundial de perfuração exploratória no mar, com um poço em lâmina d'água de 2.777 metros. Ela exporta a tecnologia de exploração nesses ambientes para vários países.

A Petrobras tem cerca de 65% da área de seus blocos exploratórios offshore em profundidades de água de mais de 400 m. Em consequência, nos últimos anos, a empresa tem aumentado suas atividades de perfuração exploratória em águas cada vez mais profundas.



Em resumo, podemos dizer que a história do petróleo brasileiro encontra-se dividida em quatro fases distintas:

- 1ª fase: Até 1938, com as explorações sob o regime da livre iniciativa. Neste período, a primeira sondagem profunda foi realizada entre 1892 e 1896, no Município de Bofete, Estado de São Paulo, por Eugênio Ferreira Camargo.
- 2ª fase: Nacionalização das riquezas do nosso subsolo, pelo Governo e a criação do Conselho Nacional do Petróleo (CNP), em 1938.
- 3ª fase: Estabelecimento do monopólio estatal, durante o Governo do Presidente Getúlio Vargas que, a 3 de outubro de 1953, promulgou a Lei nº 2004, criando a Petrobrás. Foi uma fase marcante na história do nosso petróleo, pelo fato da Petrobrás ter nascido do debate democrático, atendendo aos anseios do povo brasileiro e defendida por diversos partidos políticos.
- 4ª fase: A partir da queda do monopólio da Petrobrás, através da Lei do Petróleo, de 1997, que revoga a 2004 e também cria a Agência Nacional do Petróleo.

CAPÍTULO III – A INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

A localização, produção, transporte, processamento e distribuição dos hidrocarbonetos existentes nos poros e canais de uma rocha reservatório, que pertence a um determinado campo petrolífero, estabelecem os cinco segmentos básicos da indústria do petróleo:

Exploração: A reconstrução da história geológica de uma área, através da observação de rochas e formações rochosas, determina a probabilidade da ocorrência de rochas reservatório. A utilização de medições gravimétricas, magnéticas e sísmicas permitem o mapeamento das estruturas rochosas e composições do subsolo. A definição do local com maior probabilidade de um acúmulo de óleo e gás é baseada na sinergia entre a Geologia, a Geofísica e a Geoquímica, destacando-se a área de Geo-Engenharia de Reservatórios.

Exploração: A fase exploratória do campo petrolífero engloba as técnicas de desenvolvimento e produção da reserva comprovada de petróleo de um campo petrolífero.

Exploração e Exploração

O termo exploração, em geologia, relaciona-se à fase de prospecção: busca e reconhecimento da ocorrência dos recursos naturais, e estudos para determinar se os depósitos têm valor econômico. A exploração é a retirada do recurso com máquinas adequadas, para fins de beneficiamento, transformação e utilização.

Transporte: Pelo fato dos campos petrolíferos não serem localizados, necessariamente, próximos dos terminais e refinaria de óleo e gás, é necessário o transporte da produção através de embarcações, caminhões, vagões, ou tubulações (oleodutos e gasodutos).

Processamento e Refino: Apesar da separação da água, óleo, gás e sólidos produzidos, ocorrer em estações ou na própria unidade de produção, é necessário o processamento e refino da mistura de hidrocarbonetos proveniente da rocha reservatório, para a obtenção dos componentes que serão utilizados nas mais diversas aplicações (combustíveis, lubrificantes, plásticos, fertilizantes, medicamentos, tintas, tecidos...)

Distribuição: Os produtos finais das estações e refinarias (gás natural, gás residual, GLP, gasolina, nafta, querosene, lubrificantes, resíduos pesados e outros destilados) são comercializados com as distribuidoras, que se encarregarão de oferecê-los, na sua forma original ou aditivada, ao consumidor final.

A Engenharia de Petróleo

A Engenharia de Petróleo envolve o desenvolvimento das acumulações de óleo e gás descobertas durante a fase de exploração de um campo petrolífero, sendo associada, primordialmente, à área de *exploração*. Apesar de sua característica marcante, a *multidisciplinaridade*, a Engenharia de Petróleo pode ser dividida em quatro áreas básicas de atuação:

Reservatórios

Engloba as seguintes atividades:

- Determinação das propriedades petrofísica das rochas reservatório e das propriedades dos fluidos da formação produtora de óleo e gás;
- Estimativa da reserva;
- Acompanhamento, planejamento e desenvolvimento de campos;
- Interpretação de resultados de testes de pressão;
- Simulação e previsão de comportamento de reservatórios de óleo e gás;
- Métodos de recuperação.

Perfuração

Contempla as atividades relacionadas ao projeto e perfuração propriamente dita do poço que faz a comunicação do reservatório com a superfície. O projeto do poço determina as várias fases de perfuração, envolvendo a seleção da técnica apropriada (para a perfuração, cimentação e revestimento do poço), do tipo de sonda, da unidade de perfuração, dos vários equipamentos (brocas, colunas de perfuração e revestimento, ferramentas de monitoração e controle de trajetória do poço, ferramentas de perfilagem...) e dos fluidos de perfuração. No projeto e execução do poço são considerados os fatores econômicos e, principalmente, os aspectos de segurança inerentes à operação.

Completação

Trata da preparação do poço para a produção, envolvendo técnicas de isolamento das zonas produtoras e testes de vazão e pressão do poço. Dependendo-se do potencial produtor do reservatório, vinculado às propriedades petrofísicas da rocha e das propriedades dos fluidos do reservatório, há necessidade da utilização de técnicas de estimação química (acidificação), mecânica (fraturamento hidráulico) ou químico-mecânica, para se aumentar a produtividade do poço.

Produção

Envolve o projeto, monitoração e garantia do fluxo de óleo/gás, do reservatório até a superfície, na planta de superfície, e o envio para os sistemas externos de transporte, ou armazenagem. Na linha de produção, são estudadas as propriedades de fluidos e comportamento de fases, fluxo de óleo e/ou gás no reservatório, escoamento multifásico no poço e nos dutos de produção, instalações de produção terrestres e marítimas, separação de óleo, gás e água, métodos de elevação artificial (bombeio de petróleo no caso de poços sem surgência natural), automação e controle de processos, sistemática de projeto de desenvolvimento de campo e gestão de produção.

CAPÍTULO VI – A PROSPECÇÃO DO PETRÓLEO

A Geologia busca, através de estudos que obedecem às Leis fundamentais da natureza relacionadas com a física, a química e a matemática, entender a história da Terra e a origem do seu relevo complexo. As observações feitas pelos geólogos podem ser diretas, nos locais que permitem

acesso, ou indiretas, através de perfurações de poços ou de instrumentos de medidas indiretas de fenômenos que ocorrem no interior da Terra.

Histórico

Na década de 1930, descobriu-se que os cascalhos originados na perfuração de poços podiam fornecer dados sobre as formações atravessadas, dependendo de sua profundidade, assim como trouxe o desenvolvimento dos métodos de determinação do tipo de petróleo e gás encontrado nas formações perfuradas.

As previsões feitas através destes métodos eram muito elementares e variadas, pois os mesmos não davam informações mais precisas. Mas, a partir destes cascalhos, dos dados da perfuração e das características das rochas encontradas, iniciou-se o desenvolvimento da tecnologia da análise, da interpretação e da correlação das rochas, que possibilitaram a descoberta de muitos campos de petróleo. Isto pode ser feito pela correlação entre poços perfurados numa mesma área, identificando-se as rochas atravessadas e comparando-se com as dos poços vizinhos.

Hoje em dia, modernos métodos de avaliação, seja de perfis elétricos (uma espécie de eletrocardiograma do poço), seja através de testes de formação (que podem obter os tipos de fluidos existentes nas formações) e dos registros da perfuração, permitem avaliar com maior precisão o tipo, quantidade e características do óleo/gás encontrado.

A identificação de uma área favorável à acumulação de petróleo é realizada através de métodos geológicos e geofísicos, que, atuando em conjunto, conseguem indicar o local mais propício para a perfuração. Todo o programa desenvolvido durante a fase de prospecção fornece uma quantidade muito grande de informações técnicas, com um investimento relativamente pequeno quando comparado ao custo de perfuração de um único poço exploratório.

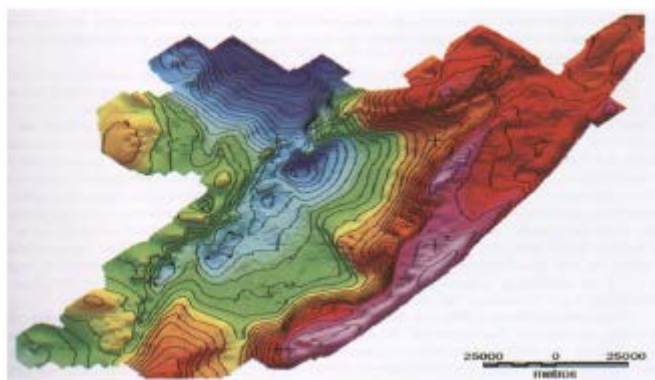
Métodos Potenciais

A gravimetria e a magnetometria, também chamadas métodos potenciais, foram muito importantes no início da exploração de petróleo por métodos indiretos, permitindo o reconhecimento e mapeamento da grandes estruturas geológicas que não apareciam na superfície.

Gravimetria:

Atualmente sabe-se que o campo gravitacional depende de cinco fatores: Latitude, elevação, topografia, marés e variações de densidade em subsuperfície. As variações de densidade em subsuperfície são, na verdade, o único item de interesse na exploração gravimétrica para petróleo, pois permite fazer estimativas de espessura de sedimentos em uma bacia sedimentar, presença de rochas com densidades anômalas como as rochas ígneas e domos de sal, e prever a existência de altos e baixos estruturais pela distribuição lateral desigual de densidades em subsuperfície.

O mapa gravimétrico obtido é denominado mapa Bouguer, em homenagem ao matemático francês Pierre Bouguer (1698-1758). A interpretação do mapa Bouguer é ambígua, pois diferentes situações geológicas podem produzir perfis gravimétricos semelhantes. Portanto, a utilização individual do método não consegue diagnosticar com confiabilidade a real estrutura do interior da Terra, apesar de mostrar a existência de algum tipo de anomalia.



Mapa Bouguer, da bacia do Recôncavo, BA. As cores vermelha, verde e azul indicam embasamento progressivamente mais profundo.

Magnetometria:

A prospecção magnética para petróleo tem como objetivo medir pequenas variações na intensidade do campo magnético terrestre, consequência da distribuição irregular de rochas magnetizadas em subsuperfície.

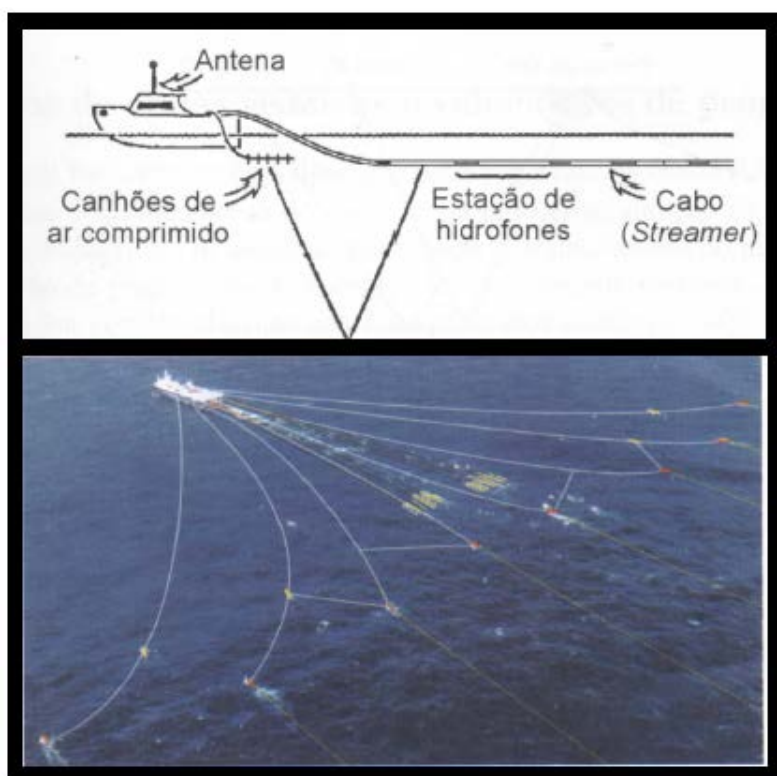
Nos levantamentos aeromagnéticos as medidas obtidas pelos magnetômetros dependem de vários fatores, dos quais se destacam: latitude, altitude de vôo ou elevação, direção de vôo, variações diurnas e presença localizada de rochas com diferentes susceptibilidades magnéticas. As rochas sedimentares apresentam, em geral, valores de susceptibilidade magnética muito baixos.

Da mesma forma como os mapas Bouguer, os mapas magnéticos obtidos após as devidas correções das medidas de campo podem apresentar interpretações ambíguas e devem ser utilizados em conjunto com outros métodos. O exame cuidadoso destes mapas pode fornecer estimativas da profundidade do embasamento e presença de rochas reservatórios.

Métodos Sísmicos

Sísmica de refração:

O **método sísmico de refração** registra somente ondas refratadas com ângulo crítico e tem



grande aplicação na área de sismologia*. Foi através deste método que a estrutura interior da Terra foi desvendada. Na área de petróleo sua aplicação é bastante restrita atualmente, muito embora este método tenha sido largamente utilizado na década de 1950 como apoio e refinamento dos resultados obtidos pelos métodos potenciais.

*Parte da geologia e da geofísica que se dedica a estudar e prever os terremotos e as ondas sísmicas artificiais e, associadamente,

determinar a estrutura da Terra.

Sísmica de reflexão:

O **método sísmico de reflexão** é o método de exploração mais utilizado atualmente na indústria do petróleo, destaca-se pelo alto grau de eficiência, a um custo relativamente baixo. Mais de 90% dos investimentos em prospecção são aplicados em sísmica de reflexão. Por este método obtém-se excelente definição da formação geológica da subsuperfície, permitindo a análise da probabilidade do acúmulo de hidrocarbonetos.

O levantamento sísmico baseia-se nas reflexões de ondas elásticas geradas artificialmente, por exemplo, por explosões de cargas de dinamite ou de ar comprimido que se propagam pelo interior da Terra, onde são refletidas pelas interfaces das diversas formações rochosas. As reflexões são captadas por equipamentos especiais denominados *geofones* (para registros em terra) ou *hidrofones* (para registros no mar), os quais convertem as vibrações mecânicas em oscilações elétricas que são transmitidas e registradas nos sismógrafos.

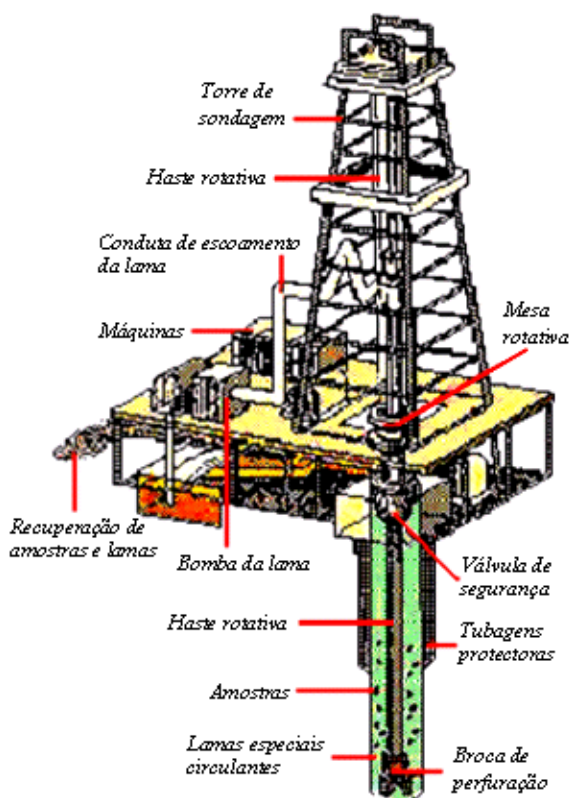
A sísmica convencional é chamada 2D (duas dimensões). Já a sísmica tridimensional, 3D,

permite uma melhor definição, pois determina a imagem tridimensional das feições geológicas de subsuperfície.

O avanço tecnológico já permite a utilização de sísmica 4D, em que a quarta dimensão é representada pelo fator tempo. Trata-se da repetição da sísmica 3D em intervalos periódicos (entre 6 a 12 meses), com o objetivo de monitorar a movimentação de fluidos (extração, injeção de água, etc.) num campo de petróleo, sendo por isso mais empregada num campo em produção, onde a extração continuada acaba por acarretar queda de pressão no reservatório.

CAPÍTULO VII – A PERFURAÇÃO DOS POÇOS DE PETRÓLEO

A perfuração de um poço de petróleo, em terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*), é um trabalho contínuo e que só se conclui ao ser atingida a profundidade final programada pelos estudos geológicos. A perfuração é feita utilizando-se uma estrutura metálica, torre ou mastro, de 30 a 40 metros de altura, assim como de seus equipamentos auxiliares, tais como: bombas de lama; colunas de tubos e comandos; tanques de lama, de diesel, de cimento, etc; e outros mais.



Esquema simplificado de uma sonda.

A torre ou mastro tem a finalidade de sustentar a tubulação vertical, em cuja extremidade é colocada uma broca, a qual irá perfurar as rochas da subsuperfície, através de rotação e peso sobre elas.

A fim de evitar a entrada de fluidos de formações, desmoronamentos e para trazer o material perfurado (cascalho) do fundo do poço para a superfície, são utilizados fluidos especiais, chamados, vulgarmente, **de lama de perfuração**.

Assim que os cascalhos perfurados atingem a superfície, arrastados pela lama de perfuração eles são analisados por um geólogo, para identificar as formações geológicas atravessadas pela broca e, com isto, identificar se há ou não a ocorrência de petróleo. Mesmo que não ocorram estes indícios, os poços sempre fornecem maiores conhecimentos sobre a região explorada, possibilitando novas interpretações geológicas da área.

Classificação dos Poços

1. Quanto à Finalidade

1.1. Exploração

- Pioneiro – descobrir jazida com base em dados geológicos ou geofísicos
- Estratigráfico – obter dados geológicos
- Extensão – ampliar limites conhecidos da jazida
- Pioneiro Adjacente – extensão que descobre novo campo
- Jazida mais Rasa – dentro dos limites do campo para descobrir
- Jazida mais Profunda – similar ao anterior

Os poços exploratórios trazem um grau de incerteza elevado, dado que sua execução se dá em área onde se possui pequeno conhecimento no que se refere às rochas e ao reservatório. Os principais desafios se relacionam à pressões anormais, a perdas de circulação devido a formações com baixa resistência. Estes aspectos podem levar à perda de equipamentos e do próprio poço. Normalmente problemas de logística também ocorrem (áreas remotas) e, principalmente, o poço pode ser “seco”. Habitualmente, porém, são poços verticais. Há distintas estratégias para a execução deste tipo de poço, que vão desde seu abandono até seu aproveitamento como poço produtor, caso a reserva seja extraída. Estas alternativas levam a tempos e custos diferentes.

1.2. Exploração

- Desenvolvimento – drenar racionalmente HC
- Injeção – de fluidos no reservatório para aumentar recuperação
- Especial – sem o objetivo de procurar ou produzir HC

Os poços exploratórios são aqueles dedicados ao desenvolvimento da produção. Sua locação já é planejada com a certeza de se encontrar o HC. Atualmente, na Bacia de Campos, estes poços são sempre horizontais, devido ao domínio tecnológico para sua execução e por serem de maior produtividade – atravessam o reservatório garantindo maior área de drenagem.

2. Quanto à Profundidade Final

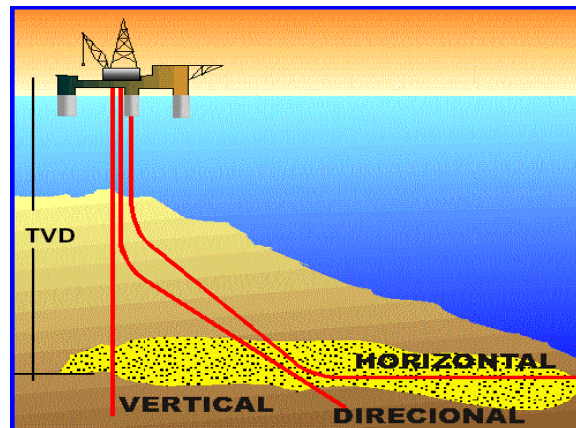
- Rasos (< 1500 m)
- Médios (entre 1500 m e 2500 m)

- Profundos (> 2500 m)

No Brasil encontram-se em perfuração poços com até 7000 m de profundidade (Bacia de Santos, poços exploratórios).

3. Quanto à Geometria

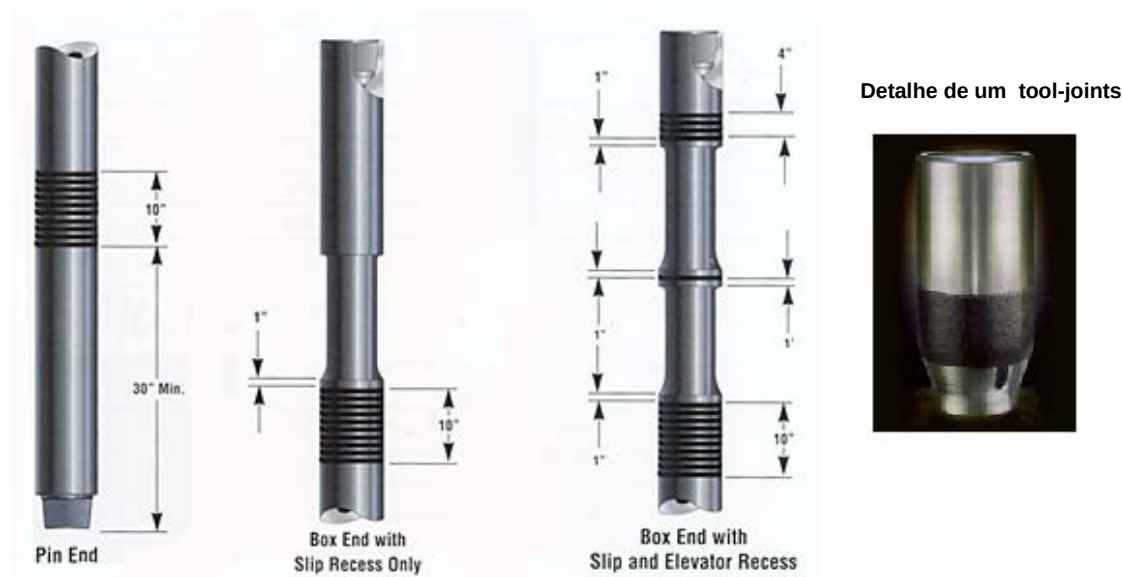
- Vertical
- Direcional
- Horizontal



A Coluna de Perfuração

Esta é constituída de tubos de aço, tendo em uma de suas extremidades (tool-joints) uma caixa e na outra um pino rosqueado, que permitem que sejam conectados uns aos outros, constituindo assim a coluna de perfuração.

Abaixo destes tubos são colocados os **Comandos**, também conhecidos em inglês por *drill collars*, que são tubos de aço de peso elevado e que têm por finalidade dar peso sobre a broca de perfuração. Entre os tubos e os comandos são empregados pequenos tubos para fazer a transmissão entre os tubos e os comandos, face terem diferentes tipos de roscas, são chamados *subs*.



Nas colunas de perfuração ainda são empregados outros tipos de tubos menores e que dependem do tipo de perfuração e das necessidades do poço, a saber:

- Estabilizadores: são tubos que possuem em seu corpo lâminas de tungstênio soldadas, ou camisas acopladas, para evitar o contato dos comandos com a parede do poço, ou para evitarem que este incline durante a perfuração;
- Amortecedores de choque: são tubos especiais que minimizam as vibrações e impactos sobre a broca e coluna;
- Percussores: que são utilizados para dar pancadas na coluna de perfuração, quando ocorrem prisões da coluna;
- Tubos de perfuração pesados (*hevi-wate drill pipes*): que são tubos de perfuração mais pesados que os normais, mas menos pesados que os comandos.

As Brocas de Perfuração

Há uma grande variedade de brocas de perfuração e de seus fabricantes. Elas são manufaturadas para cada tipo de formação e para todos os diâmetros de poços. As brocas de perfuração são classificadas quanto à sua dureza e fabricadas para perfurar formações moles, médias, duras e para toda a variedade de formações intermediárias entre estas.





BROCAS COM INSERTOS (DENTES) DE AÇO OU TUNGSTÊNIO

O princípio fundamental do trabalho das brocas, para perfurar as formações, é o de raspagem ou de trituração do fundo do poço, e para isso são empregados lâminas ou dentes, que podem ser de aço ou de pastilhas de tungstênio. Além disso, elas possuem canais dentro de sua estrutura, ligados em peças de tungstênio, especialmente manufaturadas,

chamadas de jatos – para conduzir a lama de perfuração, que incidirá sobre o fundo do poço, com enorme impacto, o que auxiliará a perfuração e arrastará os cascalhos para a superfície, mantendo o fundo limpo.

Como as brocas de perfuração são um dos itens mais onerosos na perfuração de um poço de petróleo, torna-se necessário o estudo muito cuidadoso, para a otimização de sua utilização, a fim de serem empregadas em menor número possível e com máximo rendimento. Além disso, é calculada a melhor hidráulica para os jatos da broca, otimizando o seu impacto sobre as formações, bem como produzindo o melhor arraste dos cascalhos, com isto, varia-se o diâmetro destes jatos, para que sejam obtidos os melhores resultados possíveis.

Os Fluidos (Lama) de Perfuração

Os fluidos de perfuração são misturas complexas de sólidos, líquidos, produtos químicos e, por vezes, até gases. Do ponto de vista químico, eles podem assumir aspectos de suspensão, dispersão coloidal ou emulsão, dependendo do estado físico dos componentes.

Os fluidos de perfuração devem ser especificados de forma a garantir uma perfuração rápida e segura. Assim, é desejável que o fluido apresente as seguintes características:

- Ser estável quimicamente;
- Estabilizar as paredes do poço, mecânica e quimicamente;

- Facilitar a separação dos cascalhos na superfície;
- Manter os sólidos em suspensão quando estiver em repouso;
- Ser inerte em relação a danos às rochas produtoras;
- Aceitar qualquer tratamento, físico e químico;
- Ser bombeável;
- Apresentar baixo grau de corrosão e de abrasão em relação à coluna de perfuração e demais equipamentos do sistema de circulação;
- Facilitar as interpretações geológicas do material retirado do poço;e
- Apresentar custo compatível com a operação.

Os fluidos de perfuração possuem, basicamente, as seguintes funções:

- Limpar o fundo do poço dos cascalhos gerados pela broca e transportá-los até a superfície;
- Exercer pressão hidrostática sobre as formações, de modo a evitar o influxo de fluidos indesejáveis e estabilizar as paredes do poço;
- Resfriar e lubrificar a coluna de perfuração e a broca.

Sistemas Auxiliares

Preventor de Erupções: (Blowout preventer – B.O.P.): É um conjunto de válvulas utilizado para evitar que erupções de gás, óleo, água ou outros fluidos venham a chegar na superfície. Quando uma ameaça (kick) ou mesmo uma erupção (bowout) destes fluidos ocorre, estes equipamentos são acionados para fechar o poço e desviar estes fluxos para o tanque de lama. O conjunto é constituído por uma série de válvulas de alta pressão, colocadas uma em cima da outra e fixadas por parafusos.

As Operações de perfurações

Operações de Rotina

As operações normais que envolvem a atividade de perfuração são ditas de rotinas. A conexão dos tubos de perfuração é um exemplo bem típico de tais operações. Cumpre à equipe da sonda executa-las acrescentando seções de três tubos à coluna de perfuração, deste modo penetrando aos poucos as formações. Ao se perceber o término da vida útil da broca, necessária se faz sua substituição, operação conhecida como manobra da coluna.

Tal operação consiste em se retirar toda a coluna do poço, a fim de que uma broca nova seja instalada. Tanto na decida quanto na retirada da coluna, as seções de tubos, formadas por três unidades, são devidamente posicionada na torre, na posição vertical, de modo a permitir maior agilidade e racionalidade no manuseio das ferramentas.

Operações Específicas

São operações diferenciadas indispensáveis em casos específicos. Apresentam-se a seguir alguns exemplos:

1) Perfilagem

Uma vez perfurado o poço, são descidos em seu interior alguns equipamentos especiais cuja finalidade é mensurar algumas propriedades das formações que farão parte da caracterização e avaliação econômica do mesmo.

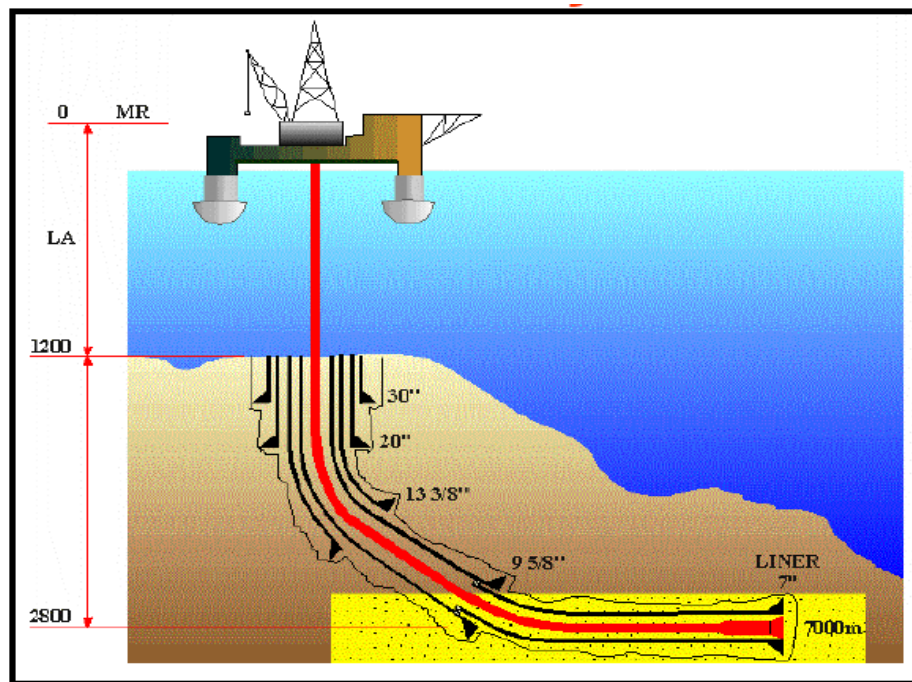
A operação consiste no levantamento de características e propriedades das rochas perfuradas, que são registradas, graficamente, em função da profundidade, mediante o deslocamento de um sensor dentro do poço. As principais características registradas são resistividade elétrica, radioatividade, potencial eletroquímico, velocidade sísmica etc.

Da análise dos perfis pode se identificar, por exemplo, as formações rochosas atravessadas, calcular suas espessuras e porosidades, e identificar os tipos de fluidos presentes nos poros das rochas.

Os princípios utilizados são muitos variáveis, como o potencial espontâneo das formações, raios gama, indução, reflexão sonora, entre outras.

2) Revestimento de poço

A principal necessidade de se revestir um poço total ou parcialmente é devida à proteção de suas paredes. Os riscos de desmoronamento são consideráveis, havendo também diversos outros motivos que prescindem do revestimento.

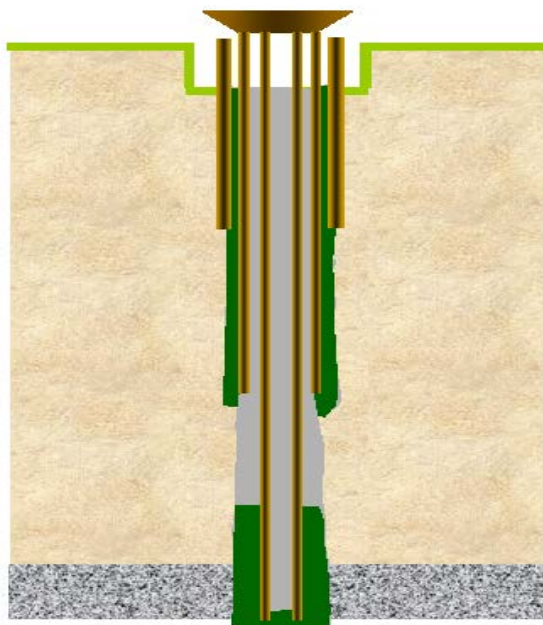


Sendo o poço perfurado em fases, vão sendo revestidos com tubos de aço especial, colocados uns por dentro dos outros, formando as colunas de revestimentos. No começo da operação, o tubo inicial tem pequena extensão, e diâmetro maior do que os posteriores, formando um ajuste tipo telescópio para formar a coluna de revestimento. À medida que o diâmetro diminuiu, o revestimento inicial, antes dito de superfície, passa a ser chamado de intermediário e, depois, de revestimento de produção.

Além da proteção das paredes, são estas as principais funções da coluna de revestimento:

- Não permitir a perda de fluido de perfuração para as formações.
- Permitir o retorno do fluido de perfuração à superfície, para o devido tratamento.
- Evitar a contaminação da água de possíveis lençóis freáticos.
- Dar suporte para os equipamentos de cabeça do poço etc.

3) Cimentação de Revestimento



Uma vez instalada a coluna de revestimento do poço, o espaço anular entre a coluna e a parede do poço é cimentado (preenchido com uma mistura cimento/água), visando uma melhor fixação da coluna e isolamento das zonas porosas e permeáveis atravessadas pelo poço. Esta operação é feita por tubos condutores auxiliares, sendo que no revestimento de superfície toda a extensão é cimentada e, nos demais, normalmente só a parte inferior, ou intervalos predefinidos.

4) Testemunhagem de Poço

A testemunhagem consiste na obtenção de uma amostra da formação rochosa de subsuperfície, o testemunho, cuja finalidade é analisar informações úteis e pertinentes à avaliação do poço, à equipe de engenharia de reservatórios, aos geólogos etc.

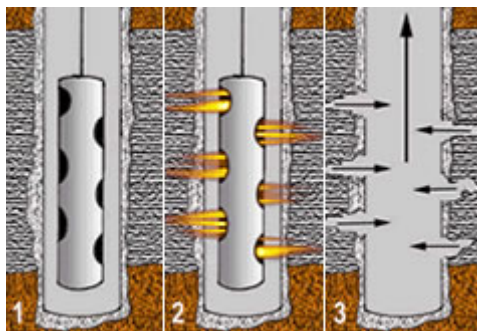
A operação é realizada com uma broca vazada e dois barriletes, um externo que gira com a coluna, e outro interno, que aloja o testemunho. À que a broca avança o cilindro, vai se alojando no interior no interior do barrilete interno durante a perfuração.

5) Completação de Poços e Petróleo

Após a perfuração de um poço vem a fase da completção, que consiste numa série de operações que têm por objetivo permitir a produção econômica e segura de hidrocarbonetos, bem como injetar fluidos no reservatório quando necessário. Entre as operações destacam-se a descida do revestimento de produção, com o posterior “canhoneio” (utilização de uma carga explosiva que rompe o revestimento e coloca o reservatório produtor em comunicação com o poço) e a instalação da cabeça de poço.

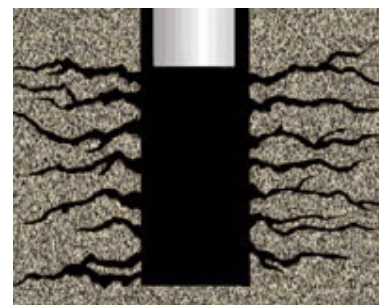
O Canhoneio

A última coluna de revestimento, a de produção, é *canhoneada*, isto é, perfurada horizontalmente, por certo tipo de cargas explosivas, bem em frente à formação produtora, de modo a permitir que o petróleo possa atravessar a pasta de cimento existente em volta do revestimento, assim como as suas paredes metálicas, e chegar ao interior do poço, para ser produzido.



A figura acima mostra o resultado de disparos para canhoneio da formação produtora. Na prática, vários disparos podem ser necessários e recomendáveis, com o fim de abranger toda a espessura produtora.

Por dentro do revestimento de produção se desce a coluna de produção, um tubo de pequeno diâmetro, da ordem de 3 polegadas, por onde se produz o petróleo. A produção pode ser natural ou artificial, isto é, bombeio ou injeção de gás no poço.

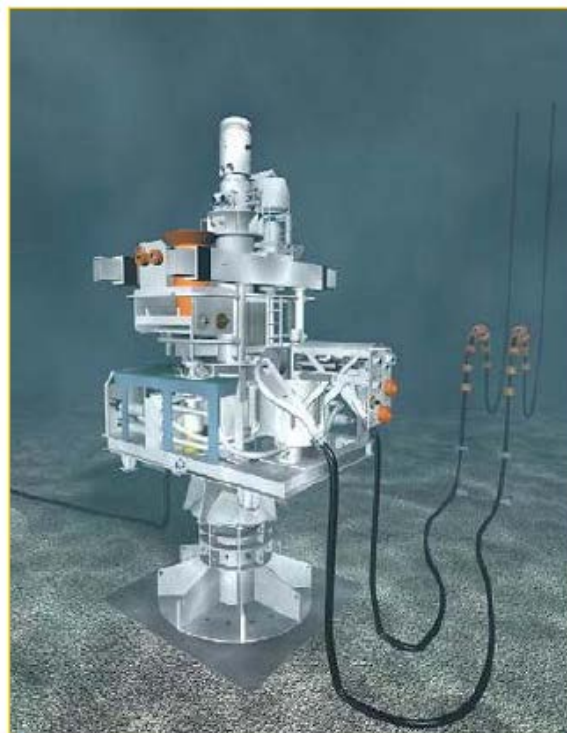


Os Equipamentos de Cabeça de Poço

Em sua parte superior, o poço recebe equipamento chamado cabeça de poço, com configurações diferentes, conforme se esteja perfurando ou produzindo através do poço. Este equipamento tem como função primordial a vedação das colunas de revestimento, bem como servir de ancoragem para as mesmas.

Durante a produção, instala-se sobre a cabeça de poço um conjunto de válvulas chamado de árvore de natal, com dispositivos de segurança e controle de produção, além de vários outros itens possíveis.

No caso de completção de poços em terra, a árvore de natal fica na superfície. No caso de completção de poço de mar, tais equipamentos são bem mais complexos, podendo estar alocados na superfície (na plataforma) ou na água (submarina); as submarinas podem ser do tipo árvore de natal seca, em cápsula, (protegida da água e da pressão atmosférica) ou molhada (exposta à água).



Esquema de uma Árvore de Natal Molhada

Segurança no Poço – Você já ouviu falar em Blowout?

*À ocorrência do fluxo indesejável de quaisquer fluidos para dentro do poço, determinando a perda de controle em sua operação, dá-se o nome de **Blowout**. Tal ocorrência pode acarretar sérias consequências, como acidentes pessoais, dano ao reservatório e aos equipamentos, agressão ao meio ambiente, etc.*

Um blowout pode lançar toneladas de petróleo no oceano, além de, quando associados a fogo, lançarem enormes to quantidades de poluição na atmosfera em um curto espaço de tempo.

O maior blowout de que se tem notícia ocorreu no México, em 1979, derramando mais de 1 milhão de toneladas de óleo cru no mar (estimativa moles –

CAPÍTULO VIII – A PRODUÇÃO OFFSHORE

Para se explorar petróleo no mar são utilizadas técnicas bem semelhantes às utilizadas em terra. As primeiras sondas para perfuração marítima eram as mesmas sondas terrestres adaptadas a uma estrutura que permitisse perfurar em águas rasas. No entanto, diante da necessidade de se

perfurar cada vez mais em águas profundas, novas técnicas forma surgindo, orientadas especificamente para o atendimento dessas necessidades.

As plataformas podem ser classificadas de várias formas, como, por exemplo, pela finalidade (perfuração de poços, produção de poços, sinalização, armazenamento, alojamento...), pela mobilidade (fixas ou móveis), pelo tipo de ancoragem etc.

Os Tipos de Plataformas

As plataformas têm sua utilização condicionada a alguns aspectos relevantes como a profundidade da lâmina d'água, relevo do solo submarino, a finalidade do poço e a melhor relação custo/benefício. Assim, temos os seguintes tipos de plataformas:

- ***Plataformas Fixas***

Em geral, são estruturas espaciais em aço, formadas por elementos tubulares e apoiadas no fundo do mar por meio de estacas cravadas no solo com o objetivo de permanecerem no local de operação por longo tempo.

Caracterizam-se por praticamente não apresentarem movimentos, e permitem a utilização de árvores de Natal na superfície (completação seca), bem como a perfuração e intervenção nos poços a partir de sonda instalada no seu convés.

As plataformas fixas foram as primeiras a serem utilizadas, mas têm como limitante a utilização em lâmina d'água em até 450 metros. Devido ao custo elevado, compreendido entre projeto, montagem e instalação, sua aplicação é restrita a campos que já tiveram sua exploração comercial comprovada.

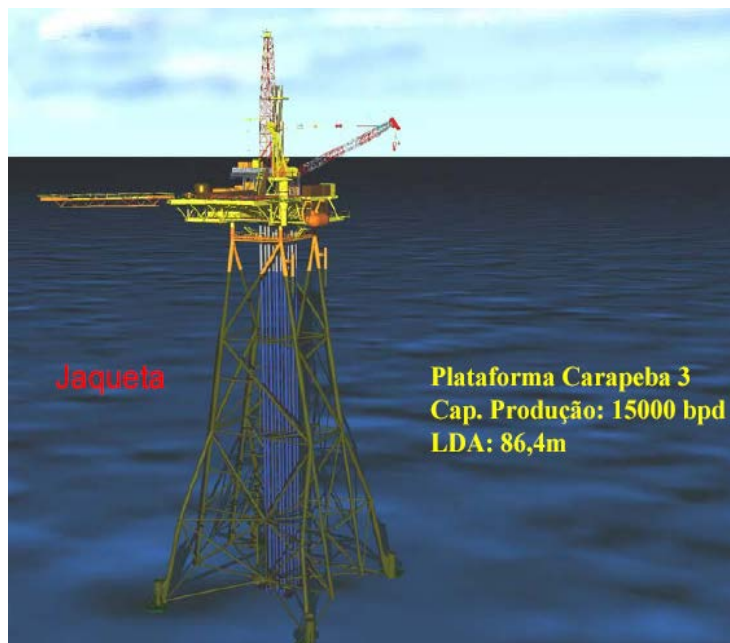
As plataformas fixas podem ser do tipo:

- Jaquetas;
- Estruturas de gravidade; ou
- Torres de Complacentes.

Torres Complacentes



Jaquetas



Estruturas de Gravidade



As plataformas fixas apresentam todas as utilidades necessárias ao seu bom funcionamento, como equipamentos para perfuração e produção, alojamento etc.

As Plataformas Fixas no Brasil:

Primeira Plataforma Fixa: PGA-1, Instalada em 1969 em SE – LDA 26 m

Atualmente existem 81 plataformas fixas de aço e 3 de concreto.

- ***Plataformas Submersíveis***

Neste tipo de plataforma, a estrutura e todos os equipamentos estão sobre um flutuador, que se desloca com auxílio de rebocadores. Ao chegar no local, a plataforma é lastreada até seu casco inferior se apoiar no fundo, em geral macio e pouco acidentado. A sua aplicação é restrita a águas rasas e calmas, pois sua limitação é justamente quanto à lâmina d'água, proporcional à altura do casco inferior.

- ***Plataformas Auto-Eleváveis***

As plataformas auto-eleváveis (PAs) são constituídas, basicamente, de um balsa equipada com estruturas de apoio, ou pernas, que acionadas mecânica ou hidráulicamente movimentam-se para baixo até atingirem o fundo do mar. Em seguida, inicia-se a elevação da plataforma acima do nível da água, a uma altura segura e fora da ação das ondas.



São plataformas móveis, sendo transportadas por rebocadores ou propulsão própria, destinadas à perfuração de poços exploratórios na plataforma continental, em lâmina d'água que variam de 5 a 130 metros.

Devido à estabilidade desta unidade, as porções de perfuração são semelhantes às realizadas em terra. Os revestimentos são assentados no fundo do mar e estendidos até a superfície, abaixo da subestrutura. Aí é conectado o equipamento de segurança e controle de poço (ESCP), que é similar ao utilizado em terra.

Estatisticamente, este é o tipo de unidade de perfuração marítima que tem sofrido maior número de acidentes. As operações de elevação e abaixamento são críticas e sofrem bastante influência das condições de tempo e mar. Nos deslocamentos apresentam dificuldades quanto ao reboque e, para grandes movimentações, devem ser retiradas seções das pernas para melhorar sua estabilidade.

- ***Plataformas Flutuantes***

As plataformas flutuantes podem ser *semi-submersíveis* ou *navios-sonda*. As primeiras são compostas, basicamente, de uma estrutura com um ou mais conveses, apoiada por colunas em flutuadores. Os navios-sonda foram inicialmente adaptados, mas hoje são projetados especialmente para a perfuração.



Semi-submersível



Navios-sonda (FPSO)

Uma unidade flutuante sofre movimentação devido à ação das ondas, correntes e ventos, com, possibilidade de danificar os equipamentos a serem descidos no poço. Assim é, necessário que ela fique posicionada na superfície do mar, dentro de um círculo a ser executada e lâmina d'água. Dois tipos de sistemas são responsáveis pelo posicionamento dinâmico.

O sistema de ancoramento é constituído por oito a 12 âncoras e cabos e/ou correntes atuando como molas que produzem esforços capazes de restaurar a posição do flutuante, modificada pela ação das ondas, ventos e correntezas.

No sistema de posicionamento dinâmico não existe ligação física da UPM com o fundo do mar, exceto a dos equipamentos de perfuração. Sensores de posição determinam a deriva e propulsores no casco acionados por computadores restauram a posição da plataforma.

Devido ao alto grau de liberdade dos movimentos da UPM durante as operações de perfuração, os revestimentos ficam apoiados no fundo do mar por intermédio de sistemas especiais de cabeça de poço, sendo que o retorno do fluido de perfuração à superfície é feita através



de uma coluna, chamada Riser, que se estende até a plataforma.

As plataformas flutuantes podem ter ou não propulsão própria. De qualquer forma, possuem grande mobilidade, sendo preferidas para a perfuração de poços exploratórios.

- ***Plataforma Tension Leg***

São plataformas usadas para desenvolvimento de campos. Sua estrutura é bastante similar a plataforma semi-submersível, sendo que suas pernas principais são ancoradas no fundo do mar por meio de cabos tubulares.

O grau de flutuação da plataforma possibilita que as pernas mantenham-se tracionadas, reduzindo severamente o movimento da plataforma. Assim, as operações de perfuração e de completação são iguais às das plataformas fixas.

