

Capítulo 7

Aspectos técnicos e ambientais da exploração de petróleo

Edmilson Moutinho dos Santos

PROFESSOR ASSOCIADO DO INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

Problematização

Levante ideias sobre eras geológicas. Em seguida, divida os participantes em dois grupos. Em um, incentive a elaboração de um cartaz com vantagens obtidas pela humanidade como resultado dos processos geológicos. Ao outro, peça que construa um cartaz com os danos que processos geológicos possam ter causado à humanidade. Finalizados os cartazes, cada grupo deve apresentar o que foi produzido. Ao final das apresentações, motive os alunos a discutirem sobre os impactos dos processos geológicos no planeta e conduza a discussão para a importância do petróleo nos dias atuais.

Objetivos do texto

1. Demonstrar a importância do petróleo e derivados, desde a Antiguidade até os dias atuais.
2. Apresentar a evolução da indústria do petróleo.
3. Apresentar etapas do processo de formação e da exploração do petróleo.

Petróleo – História de um bem energético estratégico para a humanidade

Petróleo significa literalmente óleo da pedra. Em alguns textos, quando se fala em petróleo também se inclui o gás natural. Referências ao petróleo ou às suas outras denominações (imprecisas), tais como betume, asfalto ou mesmo piche, podem ser encontradas em escritos que remontam à Antiguidade. Textos que efetivamente descrevem o resíduo pesado e viscoso que permanece quando o petróleo atinge a superfície da Terra e perde suas frações mais leves, como resultado da evaporação natural. Esse resíduo tem muitos usos, em particular a untura de navios.

Textos sugerem que o berço de Moisés tenha sido coberto de alcatrão para evitar que afundasse durante sua jornada pelo Nilo. Os jardins suspensos da Babilônia, localizados onde hoje é o Iraque, também teriam sido untados com betume. As atuais ilhas de Trinidad e Tobago, no Caribe, ainda apresentam, como importante ponto turístico, o chamado *Lago de Piche*. A região era um porto movimentado na época das descobertas das Américas, pois a disponibilidade de betume tornava-a propícia para operar como verdadeira *oficina de embarcações do Caribe*.

Ao longo dos séculos, o petróleo foi usado com dois outros importantes propósitos: remédio e instrumento de guerra. As doenças cujas curas eram atribuídas ao petróleo foram numerosas: escorbuto, gota, dor de dente, reumatismo e até mesmo unhas encravadas. Por outro lado, sendo inflamável, o petróleo revelou-se excelente combustível e, portanto, um instrumento de guerra: os gregos o conheciam como “fogo médico”, os romanos como “óleo incendiário”, os bizantinos como “fogo grego”.

O desenvolvimento moderno do petróleo é atribuído principalmente à invenção da lamparina pelo físico Argand. Ocorreu, assim, uma grande substituição tecnológica apreciada pelos seres humanos, que dependem enormemente da visão para compreender o mundo.

Antes do petróleo

Originalmente, as pessoas costumavam utilizar as velas e as tochas para iluminação. Entre 1750 e 1850, o óleo de baleia também passou a ser utilizado para garantir a iluminação.

A partir de 1850, com a Revolução Industrial, iniciou-se uma explosão exponencial da população, da riqueza e da urbanização. A demanda por ilu-

minação cresceu em proporções ainda maiores e colocou em perigo a sobrevivência das baleias. Os baleeiros não estavam mais aptos a atender as necessidades crescentes dos consumidores.

Na segunda metade do século XIX, nas principais cidades da Europa, na América do Norte e em alguns outros lugares do planeta, verificou-se a expansão da iluminação a gás, que era transportado através de canalizações urbanas, conhecido como “gás de rua” e produzido a partir da gaseificação do carvão.

Essa evolução histórica conduziu ao nascimento da indústria do gás. No Brasil, o período é marcado principalmente pela criação das companhias de gás do Rio de Janeiro, atual CEG, e São Paulo, atual Comgas.

Petróleo como solução

Porém, a infraestrutura do gás era complexa e de custo elevado, inviabilizando o uso universal da iluminação a gás. Assim, paralelamente, a demanda por petróleo também se acentuou.

O petróleo possibilitava uma fonte de energia abundante e de baixo custo, cuja logística de suprimento era muito simples, já que a forma líquida do combustível permite manipulação, armazenagem e transporte bem mais fáceis. Contudo, rapidamente, a produção natural de petróleo tornou-se insuficiente para atender a crescente demanda.

Tais benefícios incentivaram a exploração do subsolo para aumentar a produção de petróleo. Em 27 de agosto de 1859, o coronel Drake realizou a primeira perfuração em Titusville, Pensilvânia, nos Estados Unidos. Foi um grande sucesso. A uma profundidade de 23 metros, o fundo do poço encheu-se do precioso óleo. Essa passou a ser considerada a data de nascimento da indústria de petróleo.

O óleo bruto, na Antiguidade utilizado diretamente como combustível, foi substituído pela parafina ou pelo querosene, subprodutos da destilação do petróleo. As lamparinas a querosene variavam muito em tamanho e formato e forneciam uma claridade excepcional, popularizando-se rapidamente.

Ainda no século XIX, os métodos usados para a produção de querosene a partir do petróleo bruto eram rudimentares. As técnicas de destilação praticadas naquele tempo permitiam que pesadas frações fossem separadas e usadas como lubrificantes, mas parte do petróleo era deliberadamente descartada.



Coronel Edwin Laurentine Drake e o primeiro poço de petróleo (abaixo)

Fonte: http://www.tempusvitae.it/headlines/articolo_view.asp?ARTICOLO_ID=24537

As restrições ambientais ainda não eram o que se tornariam um século depois. O aumento do consumo de querosene levou a um rápido crescimento dos seus sistemas de distribuição e comercialização.

A primeira fase da *história da indústria do petróleo* estendeu-se até o final dos anos 1960 e é inseparável da história das grandes companhias de petróleo dos países ocidentais.

Petróleo e as petroleiras

A primeira companhia a se tornar muito grande no setor de petróleo pertenceu a John D. Rockefeller. Em 1870, ele criou a Standard Oil. O nome Standard, padrão em inglês, refletia o desejo de vender um produto cuja qualidade fosse elevada e constante. Rockefeller percebeu, antecipadamente, que, no mundo moderno industrial e com tecnologias cada vez mais sofisticadas, a energia precisava igualmente modernizar-se. O petróleo tornou-se, portanto, o símbolo máximo das energias modernas e comerciais do século XX.

Em um contexto de rápido crescimento na demanda global por iluminação, calefação, lubrificantes e graxas, a Standard Oil tornou-se a primeira empresa dita multinacional do planeta.

Outras empresas importantes também surgiram no interior e fora dos Estados Unidos. Destacaram-se a Royal Dutch Shell, Texaco, Gulf e Anglo-Perisian, que deu origem mais tarde à BP.

A Standard Oil foi obrigada a separar-se em mais de 30 empresas menores, sendo que muitas delas tornaram-se igualmente gigantes, como a Exxon, Mobil e Chevron. Surgiu, assim, um conjunto de corporações petroleiras, que passou a ser conhecido como as “Sete Irmãs”, cujo desenvolvimento está intimamente relacionado com a história da civilização ocidental do século XX.

Estatização das reservas

A partir dos anos 1970 e até meados dos anos 1980, a indústria do petróleo vivenciou a sua segunda fase histórica, marcada por questões geopolíticas exacerbadas. É a fase das nacionalizações das grandes reservas de petróleo situadas nos chamados países da OPEP, a Organização dos Países Exportadores de Petróleo.

Talvez tenha sido o maior processo de transferência de riqueza entre empresas e países jamais observado na história humana. Surgem, então, as grandes empresas estatais de países produtores, como as gigantes PDVSA, da Venezuela; a Saudi Aramco, da Arábia Saudita; a NIOC, do Irã; a NNPC, da Nigéria; e a Petromina, da Indonésia.

Ao mesmo tempo, com os chamados *primeiro e segundo choques do petróleo*, respectivamente, em 1973 e 1979, os preços do óleo mudaram de patamar, saltando de 3 para 30 US\$/barril. Assim, a lógica de formação de preço do petróleo foi definitivamente alterada. Desde então, nunca mais o produto foi vendido em função de seu custo. Prevaleceu o conceito de preço de mercado, isto é, o máximo que a sociedade está disposta a pagar pelo produto.

O aumento dos preços e o rápido desenvolvimento tecnológico dos anos 1980, principalmente na computação e no aparecimento de novos materiais e processos, permitiram que os esforços de exploração de petróleo se globalizassem.

Surgiram as novas províncias de produção em lugares cada vez mais difíceis e até improváveis, como o Alaska, o Mar do Norte e os litorais da África e do Brasil. Consolidaram-se novas empresas, frequentemente associadas a governos de países emergentes, como a Petrobras. A indústria do petróleo tornou-se o primeiro verdadeiro negócio global da humanidade, com empresas operando em escala planetária, corporações dominantes situadas em diferentes países, obedecendo a diferentes lógicas de negócio, envoltas por todas as relações complexas entre as forças políticas e as de mercado.

Desde 1985, os preços do petróleo estão sujeitos a grandes flutuações, com altas e recaídas drásticas, afetando todos os agentes do mercado, com alegrias e tristezas distribuídas sucessivamente e de maneira antagônica, entre consumidores e produtores.

Nenhum agente consegue, isoladamente, exercer controle efetivo sobre a evolução dos preços. Durante os últimos 25 anos, os preços do petróleo caíram em diversas ocasiões, atingindo pisos de cerca de 10 US\$/barril. Mas voltaram a se fortalecer em outros tempos, atingindo máximos inimagináveis de cerca de 140 US\$/barril.

Notavelmente, pequenas variações no equilíbrio entre a oferta e a demanda produzem grandes oscilações de preço. Adicionalmente, a ação dos grandes produtores, principalmente através da coordenação da Opep, apresenta grande influência, ainda que não definitiva e isoladamente na evolução dos preços. Os riscos econômicos associados à indústria do petróleo aumentaram, pois

as empresas, os consumidores e os governos precisam investir e tomar suas decisões de longo prazo a partir de cenários de grande incerteza. Para cada produtor, que precisa olhar um ciclo de vida do seu negócio de 20 a 30 anos, há sempre o risco de precisar conviver com longos períodos de potencial superprodução e preços deprimidos.

Consumidores, por outro lado, precisam enfrentar o paradoxo do petróleo, isto é, seus investimentos em fontes alternativas de energia, quase sempre a custos mais elevados, tornam-se menos atrativos justamente quando a demanda e o preço do petróleo decaem.

Todas essas contradições, em um negócio fortemente politizado, que opera em escala planetária – além das novas variáveis, como o eventual esgotamento das reservas petrolíferas mundiais e o aquecimento do planeta –, geram instabilidades que se tornaram a própria essência da indústria do petróleo.

A transformação tecnológica no uso do petróleo

Na virada do século XIX para o século XX, as lamparinas a óleo e a iluminação urbana a gás foram progressivamente substituídas pela lâmpada elétrica. O consumo de querosene de iluminação começou a declinar. Porém, esse declínio foi compensado pela crescente demanda por gasolina e, mais tarde, por óleo diesel, a fim de atender a expansão da frota de veículos automotores. Pode-se afirmar que esse foi o maior casamento tecnológico da história da humanidade.

Os automóveis necessitavam de uma fonte de energia flexível, fácil transporte e armazenamento, relativamente leve e com grande densidade energética, que pudesse garantir autonomia aos usuários. Além disso, o combustível precisava ser suficientemente seguro e em conformidade com as rápidas transformações nas tecnologias dos motores.

Por outro lado, a expansão da indústria automobilística revolucionou a indústria de refino do petróleo, permitindo a extração de centenas de subprodutos a partir do petróleo bruto. A indústria do petróleo tornou-se a primeira grande indústria multiproduto e isso estimulou a adoção dos combustíveis líquidos de origem fóssil em diferentes usos.

Até a Segunda Guerra Mundial, o consumo de petróleo permaneceu limitado fora dos Estados Unidos. Mundialmente, o carvão mineral ainda era a fonte dominante de energia. Porém, após o término da guerra, em 1945, com a destruição do coração produtivo e logístico da indústria carvoeira mundial, o petróleo tornou-se a energia de referência para a humanidade. O crescimen-

to do consumo de petróleo em todo o planeta foi explosivo a partir de 1945. O petróleo viabilizou a bonança econômica e social do pós-guerra.

A partir dos anos 1960, pela primeira vez na história da humanidade, os países mais desenvolvidos e dominantes tornaram-se dependentes da importação de energia. Países com potencial exportador de petróleo tornaram-se estratégicos para o desenvolvimento econômico do planeta. Por isso, desde meados do século XX, o mundo tem convivido com realidades energéticas fortemente influenciadas por questões geopolíticas, e esse quadro não deverá se alterar enquanto novas tecnologias e novas fontes de energia não se tornem dominantes.

O petróleo é uma mercadoria estratégica para a sobrevivência e a prosperidade do homem. É possível ficar sem alguns metais ou certos produtos agroindustriais por um período razoavelmente longo. No entanto, a vida atual, com as tecnologias existentes, é inconcebível sem o petróleo. O óleo e derivados são de importância vital às nações em tempos de paz, assim como em tempos de guerra. O petróleo é indispensável como fonte de calor, eletricidade ou matéria-prima. No entanto, é no setor de transportes que o casamento entre tecnologias e petróleo continua mais fiel.

Atualmente, cerca de 60% a 70% do petróleo consumido no planeta é utilizado para movimentar os meios de transporte rodoviários, ferroviários, aquáticos ou aéreos. O petróleo mantém seu papel de produto vital para o setor de transporte e vice-versa. Para garantir a mobilidade das pessoas, a hegemonia do petróleo permanece virtualmente indisputável. Somente em casos excepcionais é que outros energéticos puderam fazer alguma incursão significativa no mercado de combustíveis automotivos, como no caso do etanol, no Brasil, ou do gás, na Argentina.

No futuro, a única alternativa energética que poderá aparentemente rivalizar com o petróleo no papel de propulsor da mobilidade humana será a eletricidade. Contudo, os desafios tecnológicos e econômicos indicam que, provavelmente, ainda se levará muitos anos, ou até mesmo décadas, antes que a eletricidade progrida de forma significativa no mercado de combustíveis automotivos.

Além disso, o processo de globalização econômica e tecnológica não é necessariamente homogêneo. Enquanto áreas mais modernas e mais bem supridas por infraestrutura elétrica poderão assistir a uma rápida penetração dos veículos elétricos, não se pode descartar o cenário de manutenção dos veículos a combustão interna, tradicionais em zonas emergentes ou menos desenvolvidas.

Em outras palavras, pode-se adotar como plausível o cenário no qual o petróleo e a eletricidade encontrarão uma longa história de convivência no mer-

cado de combustíveis automotivos. Deve-se observar ainda que, mesmo com a eletricidade se tornando um forte concorrente ao uso veicular direto do petróleo, ainda será necessário gerar a energia elétrica. O petróleo e o gás natural poderão transformar-se em fontes de energia para geração de eletricidade em usinas termelétricas ou em células de combustível.

Hegemonia petrolífera

No momento, não há perspectiva de substituição ampla e absoluta dos produtos do petróleo. É provável que o consumo de praticamente todos os produtos derivados do petróleo continue a crescer, enfatizando-se, especialmente, as frações que são utilizadas como insumos em processos petroquímicos. No longo prazo, pode-se sugerir que o valor do petróleo tenderá a aumentar e o crescimento da demanda global permanecerá durante várias décadas entre 1% a 1,5% ao ano.

Há, sim, um reconhecimento crescente dos vários impactos sociais e ambientais associados à produção e à utilização do petróleo. Existem, portanto, desafios enormes para as futuras gerações, as quais deverão traçar os novos rumos, inclusive tecnológicos, dessa indústria.

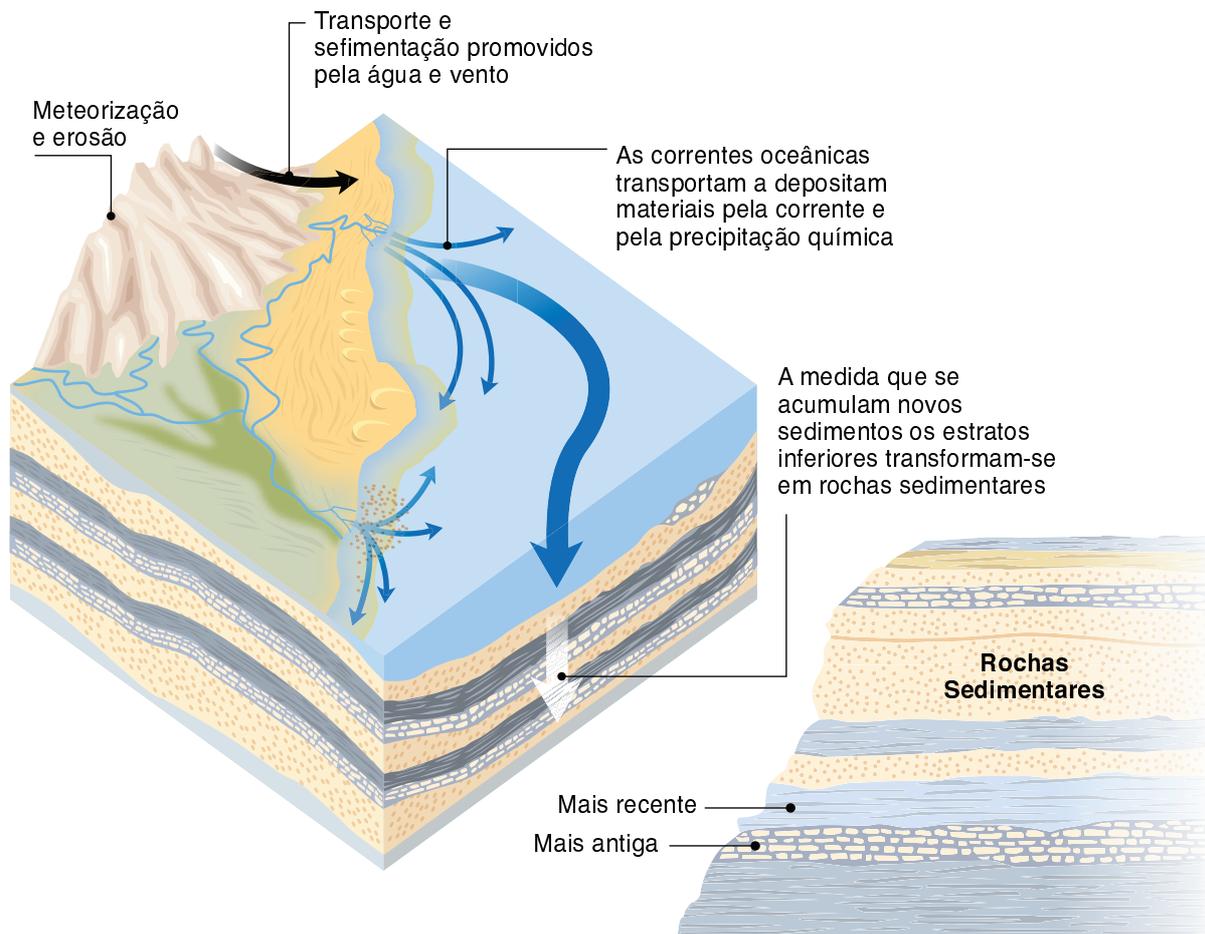
Com relação ao Brasil, em particular, a dimensão da indústria do petróleo deverá expandir a escalas jamais experimentadas pelo país, com todos os benefícios e malefícios que isso poderá acarretar.

Como se forma o petróleo?

É necessário entrar no mundo dos geólogos para se compreender como são formados os hidrocarbonetos em ditas bacias sedimentares. Os depósitos de hidrocarbonetos consistem em acumulações de petróleo e/ou gás natural nos poros de rochas sedimentares, formando os reservatórios.

Bacias sedimentares são depressões geológicas preenchidas com sedimentos há milhões de anos. Tais sedimentos podem ser produzidos por erosão e pelo desgaste das rochas próximas dessas depressões, gerando argilas e areias; também por intermédio da atividade biológica, originando rochas calcárias ou da evaporação de lagoas, depositando sal e gesso.

Os sedimentos depositados formam camadas que se sobrepõem ao longo de milhões de anos. As camadas mais antigas são enterradas pelas camadas mais recentes de forma sucessiva. À medida que essas camadas são enterradas, elas são comprimidas, a água é expulsa e a densidade aumenta, de acordo com o fenômeno da compactação.

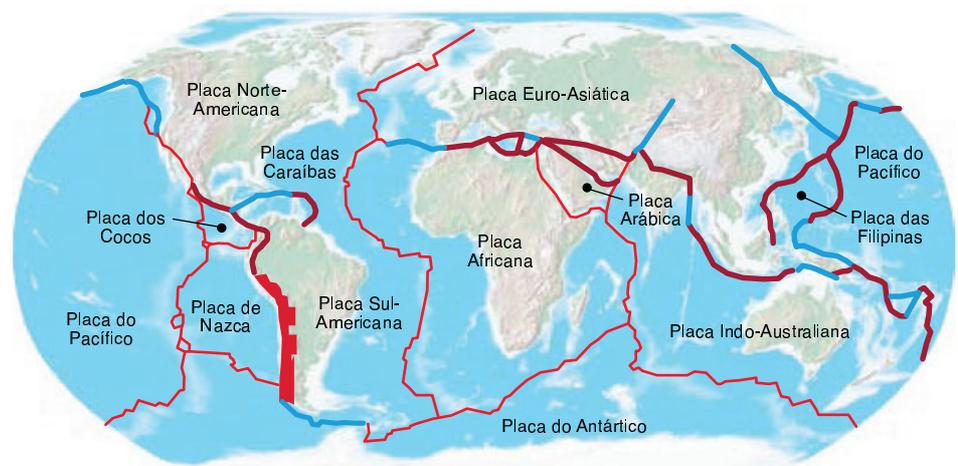


A espessura das camadas diminui ao longo do tempo e há um adensamento natural da rocha. Além disso, variações da pressão, temperatura e equilíbrio iônico, devido ao processo de sedimentação, dão origem à precipitação dos sais minerais dissolvidos na água, levando à formação de um cimento. O efeito cumulativo da compactação e da cimentação resulta em uma transformação: os sedimentos inicialmente soltos tornam-se rochas sólidas.

Esquema das camadas de uma bacia sedimentar.

Fonte:
<http://fossil.uc.pt/pags/sedime.dwt>

A princípio, as rochas sedimentares assentam-se em camadas horizontais conhecidas como estratos, mas podem ser deformadas por processos geológicos relacionados à tectônica, isto é, movimentos na crosta terrestre. O maior movimento desse tipo é a deriva continental, que move as placas tectônicas. O movimento de deslocamento dessas grandes plataformas produz dobras, as quais podem levar à formação de cadeias de montanhas e às principais depressões oceânicas. Além disso, a movimentação das placas pode levar à formação de anticlínios (domos), sinclinais (bacias) e falhas (fraturas), se o estrato for quebradiço.



Placas tectônicas em que se divide a crosta terrestre da Terra.

Fonte: <http://dorareviewschool.pbworks.com/w/page/18104192/Placas%20Tect%C3%B4nicas>

	Crosta continental		Zonas de subducção		Zonas de colisão de continentes
	Crosta oceânica		Dorsais oceânicas		Limites de placas não confirmados

Quando animais e plantas morrem, geram um resíduo composto de carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio. A maior parte desse material é decomposta por bactérias. Outra parte é depositada em ambientes aquáticos com baixa oxigenação – sob os leitos dos mares continentais, lagoas, lagos ou deltas dos rios – e, portanto, protegida da ação de bactérias aeróbicas.

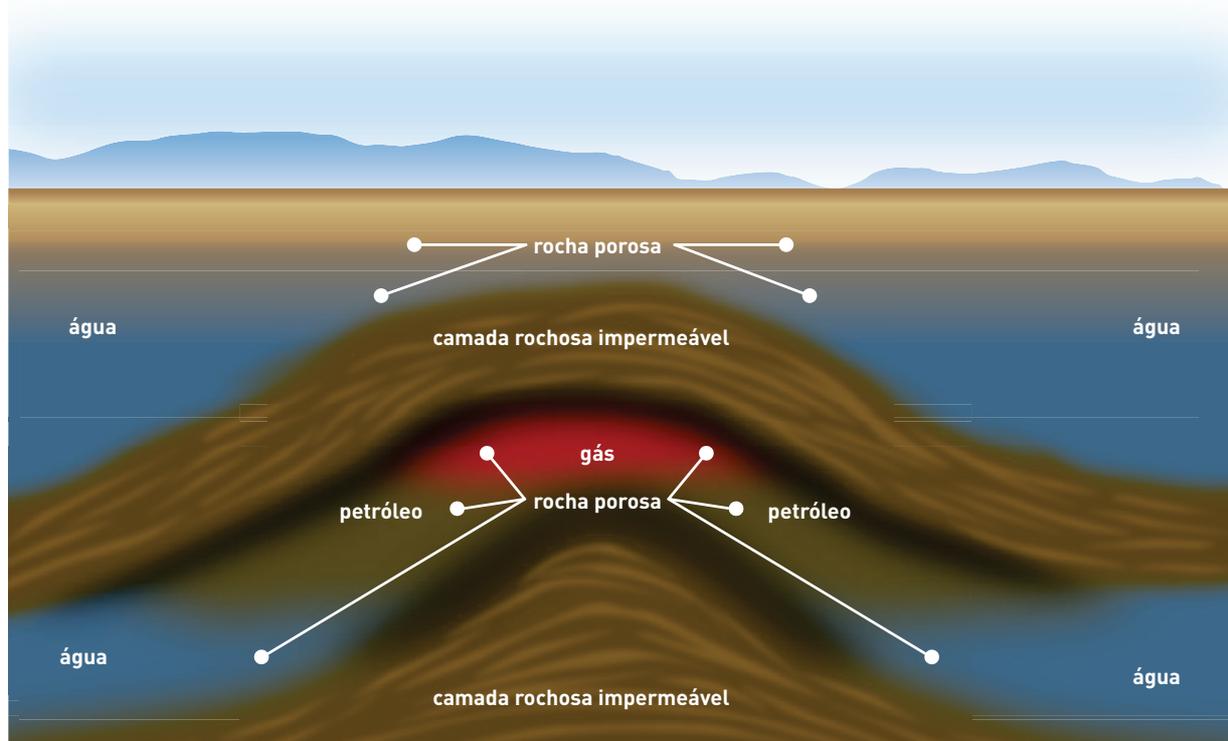
Os resíduos são misturados com sedimentos acumulados (areia, argila, sal etc.). São comprimidos e sofrem uma primeira transformação sob a ação de micro-organismos anaeróbicos. Esse primeiro estágio na decomposição da matéria orgânica dá origem ao querogênio, isto é, moléculas aprisionadas dentro de uma rocha argilosa, conhecida como rocha matriz. O mecanismo de assentamento ocasiona o aprisionamento dos sedimentos a grandes profundidades, onde são expostos a altas temperaturas e grandes pressões.

O querogênio é, então, transformado em hidrocarboneto pela destilação térmica fracionada: as longas cadeias de moléculas são quebradas, expelindo o oxigênio e o nitrogênio e deixando somente moléculas compostas de carbono e hidrogênio.

Petróleo e gás

Quando as temperaturas excedem 50°C, 70°C, o querogênio é transformado principalmente em petróleo, mas também pode dar origem ao gás natural, associado ao petróleo.

TÍPICA RESERVA DE PETRÓLEO E GÁS



Na faixa dos 120°C aos 150°C, o petróleo também é fracionado, resultando principalmente no chamado gás úmido, ou seja, uma predominância de moléculas mais curtas, como metano, etano, butano e propano, que formam a base do gás natural e do GLP, adicionadas a moléculas mais longas que formam líquidos leves conhecidos como condensados, líquidos de gás natural ou gasolina natural.

Esquema de um reservatório de petróleo, com as camadas de gás, óleo e água.

Fonte: <http://www.planetseed.com/pt-br/node/15884>

Quanto mais elevada for a temperatura e quanto mais tempo ela for mantida, mais curtas serão as moléculas resultantes e mais leves serão os hidrocarbonetos formados. Em alguns casos, todos os hidrocarbonetos são decompostos em seu componente mais leve: o metano, formando, então, os reservatórios de gás não associado ao petróleo.

Devido, principalmente, ao efeito da pressão, o petróleo e o gás, gerados a partir do querogênio, são expelidos da granulação fina da rocha matriz, na qual foram formados. Mais leves do que a água, eles tendem a elevar-se rumo à superfície da Terra, fazendo seu caminho ascendente ao longo dos condutos e fraturas, processos denominados de migração primária e secundária.

A não ser que sejam retidos, petróleo e gás escapam e infiltram-se na superfície ou perdem seus componentes voláteis e se solidificam em betume. Se, no

trajeto, eles encontrarem uma camada impermeável, citada como uma rocha selante, eles não poderão migrar adiante. Os hidrocarbonetos ficarão aprisionados nos poros e fissuras de um reservatório rochoso, conhecido também como trapas ou armadilhas, onde eles podem se acumular para formar os depósitos.

Dentro dos reservatórios, os fluidos por si mesmos se dispõem em camadas, do mais leve ao mais pesado: o gás se posiciona acima do óleo, que se posiciona sobre a água.

Procurando petróleo

A exploração é o primeiro estágio para se descobrir depósitos de hidrocarbonetos, os quais serão explorados se as condições técnico-econômicas e ambientais assim o permitirem. Esta fase está sujeita a grandes incertezas. Objetiva-se descobrir as acumulações de hidrocarbonetos situadas a milhares de metros abaixo da terra, indiscerníveis visualmente ou de outra maneira. Um programa de exploração envolve a formulação de certo número de hipóteses, as quais tanto podem ser confirmadas rapidamente quanto podem ser rejeitadas. Em uma mesma área geográfica, empresas podem ter hipóteses geológicas distintas e obter resultados completamente diferentes em sua atividade de exploração. A sorte, como verificada pela Petrobras na descoberta do pré-sal em 2006, desempenha um papel não desprezível.

Prospecção

Exploração Comercial

Em toda atividade mineral, inclusive na exploração do petróleo, nem toda descoberta de nova jazida se revela comercial nas condições tecnológicas, econômicas e financeiras existentes. Muitas descobertas precisam esperar anos até que surjam condições favoráveis para seu desenvolvimento.

A perfuração ainda é a única forma de se confirmar definitivamente a presença ou ausência de hidrocarbonetos em uma dada formação do subsolo. Além disso, ela permite que a pressão do reservatório seja medida e que amostras das rochas sejam trazidas à superfície para serem analisadas.

Devido ao alto custo de perfuração, é essencial que estudos geológicos, geoquímicos e geofísicos sejam realizados antecipadamente. A tarefa dos geólogos é identificar as áreas que, provavelmente, escondem as acumulações de hidrocarbonetos. Eles trabalham com geofísicos que estudam as propriedades físicas do subsolo, em particular com a ajuda de reflexão sísmica.

Nesse estágio, a presença de um depósito ainda é incerta e o termo prospectar é usado. Avalia-se uma prospecção e, se apropriada, a decisão de perfu-

rar um poço é tomada. Sendo ou não bem-sucedida, essa perfuração fornece valiosas informações ao geólogo, com dados obtidos de dentro do poço.

Os prospectores procuram identificar com precisão as estruturas no subsolo que podem conter quantidades economicamente viáveis de hidrocarbonetos. A exploração é um processo repetitivo, de alto risco econômico e que requer recursos humanos bem treinados. A cada rodada, os resultados obtidos permitem que seja conduzida uma nova exploração mais centrada.

Se a perfuração de exploração produzir resultados positivos, a próxima tarefa é delinear o reservatório descoberto e avaliá-lo. Inicia-se a fase de avaliação. Aqui, os riscos geológicos ainda são importantes e os riscos econômicos são elevados. O estágio de avaliação envolve, essencialmente, a realização das seguintes tarefas:

- 1)** mapeamento dos reservatórios, usando-se os dados sísmicos e as informações obtidas dos poços de exploração, fazendo-se uma avaliação mais exata do tamanho e da posição;
- 2)** simulação de reservatório, por meio de modelos computacionais, mas também com base em Testes de Longa Duração, em que o poço permanece em produção por um ou dois anos;
- 3)** perfuração de poços adicionais, a várias centenas ou milhares de metros distantes, para se obter mais dados.

Quando a fase de *avaliação* é terminada, deverão ser tomadas decisões estratégicas fundamentais, baseadas nas informações disponíveis. O campo é comercial? Deverá ser desenvolvido? Caso afirmativo, qual deverá ser o esquema de desenvolvimento? Responder a todas essas perguntas envolve pesquisas realizadas por equipes multidisciplinares, abrangendo geólogos, geofísicos, engenheiros de petróleo, sondadores, produtores e engenheiros de reservatórios.

Quando o campo estiver delineado, deverá haver dados disponíveis, tais como:

- 1)** a espessura do reservatório e sua porosidade na região dos poços;
- 2)** a quantidade de petróleo e gás disponíveis nos poros;
- 3)** a composição e a pressão do reservatório;
- 4)** também é necessário levar em consideração a opinião dos economistas, pois um investimento poderá levar alguns anos antes de gerar suas primeiras receitas.

É importante saber quando se deve pôr fim a essa fase. As equipes formam um quadro detalhado do tamanho do reservatório, das características e dos recursos que estão presentes. Isso permite a criação de vários cenários de

desenvolvimento a serem considerados e testados com a ajuda de modelos de simulação, e seu valor em termos econômicos avaliados. A partir desses cenários, os decisores da empresa deverão escolher entre desenvolver o campo e pô-lo para produzir, ou fechá-lo até que prospecções econômicas se tornem mais favoráveis.

Produção de petróleo

As *instalações de produção* incluem as unidades de processamento dos líquidos produzidos, que, na maioria das vezes, são misturas trifásicas de petróleo, gás e água; podendo também conter areias, argilas, sais minerais, produtos de corrosão e, às vezes, dióxido de carbono, em proporções variadas. A água do poço e outras impurezas devem ser removidas antes de os hidrocarbonetos serem armazenados, transportados e vendidos. Nas produções *offshore*, as instalações têm que ser localizadas em plataformas com uma área de superfície restrita.

A produção é constituída, entre outras, das seguintes atividades:

- 1)** processo de separação das três fases de fluidos – petróleo, água e gás;
- 2)** tratamentos do petróleo, da água e dos gases – dessulfurização e desidratação;
- 3)** perfuração e completação de novos poços – perfuradores ou injetores de gás ou água;
- 4)** testes constantes de produtividade de poços;
- 5) métodos de estimulação;
- 6)** métodos de ativação, quando um campo petrolífero não contém energia suficiente para impelir o petróleo até as instalações de tratamento na superfície;
- 7)** intervenções nos poços para manutenção e/ou recondicionamento. Além disso, a produção requer toda uma logística de escoamento e armazenagem dos produtos, antes que eles possam ser encaminhados para os mercados.

Saúde, segurança, meio ambiente e ética na indústria do petróleo

O petróleo, frequentemente, é visto pela sociedade como um produto perigoso e poluidor. Essa visão está tradicionalmente vinculada às operações percebidas como as mais críticas em sua exploração e produção, tais como a perfuração e o transporte, seja por navios ou dutos.

A sociedade, geralmente, associa essas atividades a acidentes graves, tais como explosões de poços de petróleo e “marés negras”, resultantes de der-

Prevenção de acidentes

Existem aspectos fundamentais para a prevenção de acidentes. Alguns estão associados à rapidez de resposta ao acidente, evitando o alastramento ou impactos em zonas mais sensíveis.

Recursos técnicos adequados e treinamento das pessoas são essenciais. Todas as equipes de operação de plataforma das grandes empresas realizam exercícios frequentes de simulação de acidentes e são certificadas internacionalmente.

Além disso, na gestão das crises decorrentes de um grande vazamento de petróleo, empresas especializadas são acionadas, pois dispõem de recursos, experiência e tecnologia específicas para tais eventos.

A capacidade de atuar de forma organizada entre os agentes envolvidos é questão-chave. Em países como os Estados Unidos, a guarda costeira possui grande capacidade de atuação e de interlocução com os agentes.

Por fim, há de se considerar aspectos legais, pois, passadas as crises, permanecem anos de discussão para estabelecer as responsabilidades e definir quem pagará os custos de remediação, bem como multas e outras penalidades.

ramamentos significativos de óleo nos mares. Além disso, há muitas circunstâncias em que operações rotineiras, envolvendo instalações que deveriam operar adequadamente, provaram ser fonte de perigo.

Os eventos do mar do Norte, tais como o naufrágio da plataforma petrolífera *Alexander Kielland*, na Noruega, e o incêndio da plataforma de *Piper Alpha*, no Reino Unido, foram os mais graves e conduziram a grandes questionamentos nos anos 1980 e 1990.

Mais recentemente, o acidente com a plataforma *Deepwater Horizon*, nas águas do Golfo do México dos EUA, ampliou o debate acerca dos riscos ambientais relacionados às atividades petrolíferas.

No Brasil, ocorreram dois acidentes graves. O primeiro, em 2001, com a maior plataforma de produção de petróleo do mundo, antes do afundamento naquele mesmo ano. Passados dez anos, a Bacia de Campos voltou a presenciar um acidente importante no Campo de Frade, quando apresentou um vazamento de petróleo a partir de um poço em atividade que saiu do controle.

De fato, os efeitos negativos das atividades de exploração e produção podem ser amplificados pelo ambiente de trabalho, o qual, em geral, exige o desenvolvimento de atividades complexas, em espaços confinados e em localizações remotas, sendo particularmente severo em ambientes *offshore*.

Além dos problemas que podem ocorrer durante as operações, geralmente associados a eventuais erros humanos, há outras causas importantes de possíveis perdas de controle nas instalações, incluindo-se falhas no projeto, na construção ou nos materiais das estruturas e sistemas de controle.

A fim de se evitar calamidades, a indústria tem desenvolvido processos de prevenção de acidentes, que incluem, entre outros, a avaliação de risco e sistemas de gestão de segurança, os quais se encontram completamente integrados ao desenvolvimento do projeto, desde sua concepção inicial e ao longo de todos os demais estágios de engenharia.

No entanto, deve-se reconhecer que a exploração e a produção de petróleo sempre envolverão riscos imprevisíveis, gerando eventuais perdas para a sociedade. Constantemente, esses riscos devem ser ponderados e comparados com os benefícios que a sociedade espera obter com a produção do petróleo e do gás natural.

Nenhum outro setor de atividade econômica produz e transporta volumes tão grandes de matéria-prima potencialmente perigosa, visto que é inflamável e até mesmo explosivo sob certas condições. Além do mais, é uma matéria-prima que pode degradar o meio ambiente, gerando impactos na terra, no mar ou no ar. A indústria do petróleo, portanto, faz interface direta com valores preciosos da sociedade. Eis por que a opinião pública é tão sensível aos assuntos ligados às atividades das companhias petrolíferas.

Mas não é apenas nas áreas de segurança e ambiente que a indústria petrolífera causa impactos na sociedade. Trata-se de uma indústria que tem grande importância econômica em muitos países produtores e nos países consumidores, o que significa que ela desempenha um papel-chave no desenvolvimento econômico e social. O papel econômico vital do petróleo e do gás tem como consequência uma relação complexa e potencialmente difícil com a sociedade. A aceitabilidade pública é pré-requisito fundamental para qualquer companhia de petróleo. Qualquer empresa somente poderá atrair e manter os acionistas, empregados, cientistas e gerentes de alta qualidade, se o público entender sua contribuição para o desenvolvimento e acreditar que essa contribuição seja valiosa, bem administrada e aceitável a respeito do que possa ser chamado de "ético".

Ao longo da história, a indústria do petróleo conseguiu a rara façanha de projetar uma imagem negativa tanto para os países ricos, desenvolvidos e consumidores de petróleo, quanto para os países produtores, frequentemente pobres e subdesenvolvidos. Essa imagem, duplamente desfavorável, é pri-

Países produtores

Tendo como fonte o *BP Statistical Review of World Energy 2011* – disponível gratuitamente na página eletrônica da empresa BP –, a produção mundial de petróleo em 2010 foi de 82,1 milhões de barris por dia (MB/d).

Essa produção foi realizada em dois blocos de países: 42% nos países membros da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) – visite a página eletrônica da OPEP para conhecer a história e os países membro. Os demais países, ditos não OPEP, foram responsáveis por 58% da produção mundial.

Em 2010, foram mais de 100 os países produtores. No entanto, o clube de 21 países que produzem mais de 1 MB/d é bem mais seleto. Os dois maiores produtores são a Rússia e a Arábia Saudita, com pouco mais de 10 MB/d cada; seguidos de Estados Unidos, Irã e China.

O Brasil participa de um clube ainda menor de 13 países que produzem mais de 2 MB/d. Porém, com o desenvolvimento das reservas do pré-sal, estima-se que a produção brasileira poderá alcançar cerca de 4 MB/d, até 2015, e 6 MB/d, até 2020, colocando o país entre os grandes produtores.

mordialmente devida ao fato de que os consumidores acusam a indústria do petróleo de ser responsável pelos preços considerados excessivos.

Nas áreas de produção, as empresas são muitas vezes percebidas como “Estados dentro do Estado”, explorando as riquezas naturais do país, causando poluição, desequilíbrios econômicos e sociais, ou mesmo desestabilizando governos e sistemas políticos.

As companhias petrolíferas têm procurado dar maior transparência e estabelecer “cartas éticas” e “orientações de conduta”. A definição de qualquer comportamento ético é sempre muito difícil, mas um elemento extremamente crítico a ele relacionado está na transparência com a qual os grupos de interesse partilharão a renda petroleira e utilizarão as riquezas geradas. Nesse sentido, a atuação dos governos mediante órgãos de fiscalização e regulação, como a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP⁵), é muito importante.

⁵A ANP foi criada em 14 de janeiro de 1998, pelo então presidente da República Fernando Henrique Cardoso. A agência tem por finalidade, conforme expressa o Artigo 2º do Capítulo 1 do decreto que institucionalizou o órgão, “[...] promover a regulação, a contratação e a fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo, de acordo com o estabelecido na legislação, nas diretrizes emanadas do Conselho Nacional de Política Energética –CNPE e em conformidade com os interesses do País”.

Fonte: <http://www.anp.gov.br/?id=268>



Sugestão de atividade complementar

Apresente o episódio 7, Transporte, da série *Vida de República*, 15 minutos. Questione sobre as fontes energéticas utilizadas na matriz brasileira de transportes e instigue o grupo a observar qual é a parcela dos combustíveis à base de petróleo neste conjunto. Que outras fontes de energia podem ser utilizadas em nossa malha de transportes?

Peça aos alunos que pesquisem em que outros setores, além dos combustíveis automotivos, o petróleo é utilizado como matéria-prima.

Sugestão de filme

Ouro negro, 2008.

Duração: 115 minutos.

Baseado em fatos reais, o filme retrata a saga do petróleo no Brasil, no início do século XX.