

O APRENDIZADO TECNOLÓGICO BRASILEIRO NAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO E EXPLOTAÇÃO DE PETRÓLEO

THE BRAZILIAN TECHNOLOGICAL LEARNING PROCESS IN THE AREAS OF EXPLORATION AND EXPLOITATION OF OIL

Alberto Carlos Ferreira de Almeida ⁽¹⁾

RESUMO — O processo do aprendizado tecnológico dos países em desenvolvimento se inicia pela operação das tecnologias importadas e evolui lentamente, podendo chegar ao aprendizado avançado, de inovação tecnológica. Na PETROBRÁS, como não poderia deixar de ser, o aprendizado das equipes de exploração e exploração do petróleo se iniciou pela operação de tecnologias importadas; daí, evoluindo com firmeza através dos vários estágios do aprendizado tecnológico por que passam as equipes técnicas dos países em desenvolvimento, estando hoje no limiar do aprendizado avançado, que é o aprendizado que predomina nos países desenvolvidos.

(Originais recebidos em 21.12.89.)

ABSTRACT — *The technological learning process in developing countries begins with the operation of imported technologies and develops gradually, sometimes attaining the level of advanced and technologically innovative apprenticeship. The technological learning process of the teams responsible for exploration and exploitation at PETROBRÁS began, as could be expected, through the operation of imported technologies. It then evolved, in a firm and stable manner, through all the stages of technological learning process which technical teams in developed countries undergo. Today it is on the threshold of the advanced apprenticeship practiced in those countries.*

(Expanded abstract available at the end of the paper.)

1 — INTRODUÇÃO

As atividades de exploração de petróleo no Brasil se iniciaram no século passado alcançando o seu primeiro sucesso em 1939, com a descoberta da ocorrência de Lobato, na Bacia do Recôncavo Baiano. Em 1940, foi descoberta a primeira acumulação comercial — o Campo de Candeias — seguindo-se então uma série de descobertas e o início das atividades de exploração.

Com a criação da PETROBRÁS, em 1953, as atividades de exploração e de exploração de petróleo foram grandemente ampliadas, assumindo um caráter realmente industrial.

A partir dessa época, a par do prodigioso desenvolvimento industrial da PETROBRÁS, e contribuindo de forma efetiva para o mesmo, ocorreu um processo de aprendizado tecnológico em todos os seus segmentos de atividades industriais, desde a prospecção do pe-

tróleo, sua produção e refinação, até as atividades finais de petroquímica e química fina.

Muitos autores têm analisado e proposto modelos para o processo de desenvolvimento industrial e do aprendizado tecnológico dos países em desenvolvimento. Esses modelos, em geral, são relativos às indústrias de processos de fabricação e transformação e à indústria eletrônica, e se aplicam muito bem ao caso brasileiro. Com base num dos modelos apresentados propõe-se, aqui, um modelo generalizado, aplicável a todos os tipos de tecnologias.

Por razões históricas, o termo tecnologia ficou muito ligado aos processos de fabricação e transformação, mais concretos e materiais, como os processos mecânicos, físicos e químicos, os chamados "processos industriais", o domínio da engenharia. Assim, passou a existir uma nítida correlação entre a engenharia e a tecnologia. Entretanto, de acordo com

1 - Gabinete do Diretor Renato Silveira (GDRS), Av. República do Chile, 65, Centro, CEP 20035, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

a moderna conceituação de tecnologia, ela existe em praticamente todas as atividades produtivas do homem.

A indústria do petróleo tem suas fundações nas atividades de exploração e exploração. Ela é completamente dependente da contínua descoberta de novas jazidas, e da extensão das antigas, para manter o seu suprimento de hidrocarbonetos. Por outro lado, estas etapas industriais — exploração e exploração — vão se tornando cada vez mais complexas e sofisticadas à medida que as reservas mais acessíveis vão se esgotando. O “óleo fácil” já foi descoberto e até produzido. Procura-se agora o “óleo difícil”, difícil de descobrir, difícil de produzir.

Este trabalho procura contribuir para uma melhor compreensão das tecnologias de exploração e de exploração e dos processos que tiveram lugar na implantação e no desenvolvimento dessas tecnologias na PETROBRÁS.

Acredita-se que a consciência plena e clara sobre os caminhos percorridos e os estágios alcançados seja de grande importância para a definição de objetivos futuros e para o planejamento a médio e longo prazos.

2 — HISTÓRICOS DA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO

2.1 — No Mundo

Tornou-se clássico considerar o poço perfurado pelo Cel. Edwin Drake, em 1859, em Titusville, Pennsylvania, E.U.A., marco inicial da indústria do petróleo no mundo. A descoberta de petróleo, em quantidade significativa e em plena época de eclosão da revolução industrial, fez com que este rapidamente se transformasse em mais um importante fator econômico a comandar o comércio internacional. De início, o seu principal uso foi como óleo de iluminação, substituindo com vantagens os óleos animais e vegetais até então utilizados. Foi a idade do querosene — *The kerosene age* — de 1858 a 1900. Apenas

na virada do século começou a ser usado como combustível para veículos automotores, dando origem à “era do petróleo”.

Após a Primeira Guerra Mundial, o petróleo passou a assumir papel preponderante na soberania dos povos: a autêntica soberania nacional passou a depender da disponibilidade de suprimento petrolífero. Esta situação perdura ainda hoje, e com boas perspectivas de se prolongar pelo menos até o primeiro quartel do próximo século.

No primeiro período da indústria do petróleo — 1859 a 1900 — não existiam técnicas desenvolvidas de exploração e produção. Na escolha de áreas e locais para a perfuração pioneira usavam-se métodos empíricos e regras práticas — *rule of thumbs* — sem fundamentos científicos, tais como perfurar nas margens de córregos, nas vizinhanças de exsudações (ocorrências na superfície), e muitas outras. A localização dos poços pioneiros era aleatória e as técnicas de perfuração e produção incipientes. Comumente ocorria erupção nos poços — *blow-out* — e as jazidas eram depredadas por produção descontrolada. A perfuração, com pouca segurança, atingia somente pequenas profundidades, muito aquém, como posteriormente foi verificado, das profundidades de maior ocorrência das acumulações comerciais.

No período que se seguiu — 1900 a 1920 — as técnicas de exploração e exploração foram paulatinamente sendo desenvolvidas e aperfeiçoadas. A exploração passou a usar com mais eficiência o mapeamento geológico de superfície, conjugando-o, muitas vezes, à observação de exsudações. A “teoria dos anticlinais”, concebida e já aplicada no período anterior, entrou em grande voga, com ótimos resultados. A perfuração tomou um grande impulso com a adoção da técnica de perfuração rotativa *rotary drilling*, aumentando o controle e a segurança, e permitindo com rapidez alcançar maiores profundidades. Isto proporcionou maior presteza aos testes de áreas pioneiras e ao desenvolvimento dos campos recém-descobertos.

A partir de 1920, com a consolidação da indústria do petróleo, houve um grande surto de desenvolvimento das tecnologias que lhe davam suporte. A geologia do petróleo desenvolvia-se, então, com base em fundamentos científicos genuínos, passando a contar com os métodos geofísicos, que lhe ampliaram tremendamente o poder de investigar a crosta terrestre. A sísmica de reflexão progredia rapidamente, passando logo a ser a principal ferramenta de uso do exploracionista do petróleo. A exploração das jazidas aos poucos abandonou o empirismo e passou a racionalizar os seus processos com base na aplicação de conhecimentos científicos. O estudo da rocha-reservatório e dos fluidos nela contidos ganhou grande importância, transformando-se cedo em uma das ferramentas fundamentais da exploração: a Engenharia de Reservatórios. A tecnologia de perfuração progrediu grandemente com o aperfeiçoamento das técnicas de perfuração rotativa e com a grande melhoria dos equipamentos, tornando acessíveis e econômicas muitas acumulações profundas.

Nas décadas de 60 e 70, deu-se o grande desenvolvimento das técnicas de exploração e exploração costa-afora. A sísmica passou por uma verdadeira revolução, na década de 60, com a introdução de novas técnicas de levantamento e uso do registro digital e do processamento eletrônico dos dados. Este fato abriu novas possibilidades à exploração e permitiu que a mesma se estendesse às margens continentais sob quaisquer lâminas d'água. A tecnologia de perfuração costa-afora desenvolveu-se a ponto de tornar possível a perfuração de poços em águas profundas (> 500 m). A tecnologia de exploração batalha atualmente para tornar técnica e economicamente viável a produção de jazidas situadas sob estas lâminas d'água.

2.2 — No Brasil

A história do petróleo no Brasil, se comparada à da maioria dos países produtores de petróleo, é singular. Primeiro houve um período da “busca do petróleo”, em que o problema era a existência ou não de petróleo em nosso subso-

lo. Em seguida veio o período de sua industrialização.

Nas nações que cedo se tornaram petrolíferas, a existência do petróleo já era conhecida há muito tempo, desde os primeiros habitantes daquelas regiões, através das ocorrências superficiais "vivas" como exsudações, fontes, vulcões e fluxos de lama, que denunciavam sua ocorrência no subsolo. No Brasil, as poucas evidências de superfícies eram, na sua maioria, ocorrências "mortas", impregnações, areias asfálticas e xisto betuminoso. A exsudação de Lobato, uma das poucas ocorrências superficiais "vivas", foi, na realidade, uma exsudação induzida pela abertura de uma cacimba, motivada por evidências indiretas: cheiro e gosto de querosene nas águas da redondeza. O seu realizador, engenheiro Manuel Ignácio Bastos, é considerado o descobridor do petróleo no Brasil; pois, de fato, a localização desta exsudação levou à primeira descoberta de óleo em subsuperfície. Conheceram-se outras ocorrências superficiais "vivas", como as de Pedras, no Recôncavo, e Riacho Doce, em Alagoas, mas pouco significativas.

No que concerne ao ambiente tecnológico nas áreas de atividade de exploração e exploração, pode-se reconhecer, na história do petróleo no Brasil, as seguintes fases:

- 1858 a 1919 – fase aventureira;
- 1920 a 1939 – fase pioneira;
- 1940 a 1953 – fase pré-industrial;
- 1954 ao presente – fase industrial.

As primeiras fases compreendem o período da "Busca do Petróleo", e, as duas últimas, o período da "implantação industrial".

2.2.1 – 1858 a 1919 – Fase Aventureira

A primeira concessão para a exploração do petróleo no Brasil data de 1858 (Moura & Carneiro, 1976). Após a descoberta do Cel. Drake, nos E.U.A., o número de pedidos de concessões aumentou consideravelmente. Durante esta fase, que vem desde o período imperial e se prolongou por três décadas

do período republicano, o problema da exploração do petróleo estava inteiramente delegado à iniciativa privada. O Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil (SGMB) tinha finalidade marcadamente científica (Oliveira, 1938), e executava levantamentos geológicos com o objetivo de ampliar os conhecimentos da geologia no País. A iniciativa privada, nesta época, era caracteristicamente aventureira, com pouco capital e quase nenhuma técnica, com esperança de uma fácil e espetacular descoberta, como vinha ocorrendo em outros países, principalmente nos E.U.A. Alguns poucos empreendedores atuaram racionalmente, contratando técnicos estrangeiros capazes e executando estudos prévios para a seleção de áreas e a escolha do local para uma perfuração pioneira.

A nossa "geologia madrastra", no dizer do Dr. Pedro de Moura, entretanto, castigou a uns e a outros (Moura & Carneiro, 1976).

2.2.2 – 1920 a 1939 – Fase Pioneira

Ao findar a Primeira Guerra Mundial, com o petróleo alçado a elemento altamente estratégico e diante do fracasso da exploração no Brasil nas mãos da iniciativa privada, o Governo Federal resolveu enfrentar o problema e participar efetivamente desta atividade. De início, entregou ao SGMB a missão de realizar reconhecimentos geológicos e executar as primeiras sondagens. A atenção voltou-se, inicialmente, para a Bacia do Paraná e, posteriormente, para as bacias do Amazonas e da faixa costeira do Nordeste.

Em 1933 foi criado o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), em substituição ao SGMB. Este Departamento, no período em que assumiu as atividades governamentais na exploração do petróleo – 1933 a 1938 –, empreendeu criteriosa seleção de áreas, baseada no precioso acervo de dados já existente, assim como adotou medidas para o aperfeiçoamento de seu corpo técnico e para a renovação dos equipamentos de perfuração (Moura & Carneiro, 1976). Em 1938, o Governo Federal criou o

Conselho Nacional do Petróleo (CNP), órgão diretamente subordinado à Presidência da República, e lhe atribuiu os trabalhos oficiais de pesquisa, lavra e industrialização do petróleo. Tais atividades continuaram, entretanto, abertas aos empreendedores particulares.

Em janeiro de 1939 foi descoberta, em Lobato, a primeira acumulação de óleo em subsuperfície no território brasileiro. Apesar de ser uma acumulação subcomercial, encerrou, positivamente, o período da "busca do petróleo".

Nesta fase pioneira, que esteve a cargo do SGMB e DNPM, encerrando-se com o início das atividades do CNP, apesar da limitação dos recursos e dos óbices burocráticos, foram perfurados 71 poços e realizados substanciais trabalhos de geologia e de geofísica. O geólogo-cientista iniciava o seu aprendizado como exploracionista.

2.2.3 – 1940 a 1953 – Fase Pré-Industrial

O CNP, gozando de autonomia e dispondo de maiores recursos, iniciou este novo período da luta brasileira pelo petróleo, cuidando de, racionalmente, assentar as bases da indústria petrolífera nacional. Desde o início deu grande atenção ao problema da tecnologia. Contratou firmas consultoras e operadoras de renome internacional bem como técnicos estrangeiros especializados. Tratou da formação do quadro de técnicos nacionais enviando pessoal para cursos no exterior e organizando programas de treinamento junto aos especialistas estrangeiros.

A descoberta de petróleo em Lobato, apesar de subcomercial, forneceu elementos suficientes (evidências da capacidade de geração e acumulação) para dar suporte à execução de ambicioso programa de exploração na Bacia do Recôncavo. Este programa logo obteve êxito com a descoberta, em 1941, do Campo de Candeias, o primeiro campo comercial do Brasil, e a ele seguiram-se várias e importantes descobertas, como: Aratu, Itaparica, Pitanga, D. João, Água Grande e outras.

Quando criada a PETROBRÁS, em 1953, o CNP passou-lhe um acervo de 10 campos petrolíferos, uma refinaria (Mataripe) com capacidade para processar 2 500 barris diários, o início da construção de uma refinaria na Baixada Santista (Cubatão), oleodutos e petroleiros, e um quadro razoável de pessoal especializado, incluindo engenheiros, geólogos, geofísicos e operários habilitados.

Estava iniciada a implantação da indústria petrolífera no Brasil.

2.2.4 – 1954 ao Presente – Fase Industrial

A PETROBRÁS foi criada em 1953, como uma sociedade de ações (capital aberto), de economia mista, para exercer o monopólio estatal do petróleo em exploração, produção, refinação e transporte, bem como executar quaisquer outras atividades correlatas e afins de seu interesse.

O precioso acervo recebido do CNP era a chama inicial: uma miniatura de indústria. À PETROBRÁS cabia se estabelecer em escala industrial, como uma empresa do porte e da categoria das grandes companhias petrolíferas, em consonância com as necessidades, possibilidades e perspectivas do País. Isto exigia uma mudança de escala e de valores, com repercussão em toda a estrutura industrial e tecnológica do País.

Passados trinta e seis anos, a PETROBRÁS é hoje a maior empresa da América Latina e a 28ª do mundo, capaz de atuar em igualdade de condições com as grandes empresas internacionais, inclusive explorando petróleo em outros países e exportando serviços e tecnologia. Para tanto, foi necessário assimilar a tecnologia importada e formar um corpo técnico altamente capaz.

3 – CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E EXPLOTAÇÃO DE PETRÓLEO

A espinha dorsal da indústria do petróleo é formada de quatro grandes fases tecnológicas: exploração, exploração, re-

finação e petroquímica/química fina.

A exploração e a exploração são duas fases da indústria de mineração, com marcantes características próprias e bem distintas das demais fases industriais subseqüentes que englobam o processamento e a fabricação, geralmente compreendidas como fases da industrialização ou da engenharia. Estas duas últimas fases são de tecnologias com caráter nitidamente determinístico, enquanto aquelas, a exploração e a exploração, são de conteúdo probabilístico.

A exploração de petróleo tem por objeto de sua atuação uma bacia sedimentar ou parte da mesma, por processo a sua reconstituição geológica e por produto a localização de jazidas. Comprovada a existência da jazida (acumulação com valor econômico), esta passa a ser o objeto da exploração, que tem por processo a reconstituição geológica e física do reservatório, a extração, a elevação e movimentação e o tratamento. O petróleo (óleo, condensado ou gás) é o seu produto que é o objeto da próxima fase, a refinação. Esta utiliza os processos de tratamento, destilação, reforma, craqueamento e outros, para produzir uma

extensa gama de derivados leves, médios e pesados. A petroquímica/química fina parte dos derivados leves e através de processos como polimerização, síntese e muitos outros, produz toda linha de polímeros e produtos químicos, inclusive os farmacêuticos.

O quadro I ilustra a seqüência e o relacionamento dessas fases.

Em torno dessa grande espinha dorsal da indústria do petróleo — exploração, exploração, refinação e petroquímica/química fina — desenvolve-se, em seu apoio ou derivando de seus produtos, um sem número de indústrias e de atividades de serviços, com repercussão em toda a estrutura tecnológica do País, — seu parque industrial e seu sistema educacional.

As inúmeras atividades exercidas em cada fase tecnológica podem ser grupadas em duas grandes etapas: a das atividades executivas e a das atividades pré-executivas. As atividades executivas são as que diretamente levam ao objetivo ou produto de cada fase e as pré-executivas são aquelas desempenhadas em uma etapa anterior e que

QUADRO I/CHART I

FASES TECNOLÓGICAS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

Fases Tecnológicas	Objeto	Processo	Produto
Exploração	Bacia sedimentar	Reconstituição geológica	Jazida
Exploração	Jazida	Reconstituição geológica e física do reservatório, extração, elevação e movimentação, tratamento	Petróleo
Refinação	Petróleo	Tratamento, destilação, reforma, craqueamento, etc.	Derivados
Petroquímica/Química fina	Derivados	Polimerização, síntese, etc.	Polímeros, produtos químicos

ESQUEMA I

CLASSIFICAÇÃO DAS ATIVIDADES TECNOLÓGICAS

viabilizam as primeiras. As atividades executivas são aquelas relativas à implantação, manutenção e operação dos elementos tecnológicos desenvolvidos, selecionados e viabilizados pelas atividades pré-executivas de pesquisa e desenvolvimento, estudo técnico-econômico, planejamento e projeto. Essas duas etapas são apresentadas no esquema I.

Nos quadros II, III e IV apresenta-se, de maneira resumida e generalizada, a classificação das principais atividades refe-

rentes às fases tecnológicas da exploração, exploração, refinação e petroquímica/química fina. As duas últimas fases são apresentadas em um único quadro em virtude de suas semelhanças.

3.1 – A Atividade de Exploração

Explorar ou prospectar petróleo reúne os métodos e as técnicas empregadas para localizar e calcular o valor econô-

Atividades executivas	Operação	Produção de bens e/ou serviços
	Implantação e manutenção	Construção, implementação: viabilização material
Atividades pré-executivas	Estudo, planejamento e projeto	Sistematização e ordenação: viabilização técnico-econômica
	Pesquisa e desenvolvimento	Criação de soluções técnicas e tecnológicas: viabilização de idéias

QUADRO II/CHART II

Atividades Tecnológicas da Exploração

Atividades Executivas		Atividades Pré-executivas	
Operação	Implantação (montagem, programação e teste) e manutenção	Estudo, planejamento e projeto	Pesquisa e desenvolvimento
<ul style="list-style-type: none"> – Aquisição de dados – Processamento – Interpretação – Geração de prospecto – Teste de prospecto – Delimitação e avaliação de jazidas 	<ul style="list-style-type: none"> – Implantação e manutenção de métodos, técnicas, programas e modelos 	<ul style="list-style-type: none"> – Planejamento exploratório – Estudos regionais – Síntese de bacias – Avaliação de áreas 	<ul style="list-style-type: none"> – Estudos geológicos e geofísicos básicos – Análise geológica – Desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos, técnicas e modelos – Estudo e solução de problemas

QUADRO III/CHART III

Atividades Tecnológicas da Exploração

Atividades Executivas		Atividades Pré-executivas	
Operação	Implantação (montagem, programação e teste) e manutenção	Estudo, planejamento e projeto	Pesquisa e desenvolvimento
<ul style="list-style-type: none"> – Extração – Movimentação – Separação – Tratamento – Tancagem – Transporte 	<ul style="list-style-type: none"> – Desenvolvimento de jazidas – Instalação e manutenção de sistemas de produção – Implantação e manutenção de técnicas e programas de estudo de reservatórios – Implantação de sistemas de melhoria da recuperação 	<ul style="list-style-type: none"> – Estudos geológicos e físicos dos reservatórios – Planejamento da exploração – Projetos básicos de sistemas de produção e de equipamentos especiais – Projetos de sistemas e instalações de produção 	<ul style="list-style-type: none"> – Estudos básicos de reservatórios – Desenvolvimento de modelos e programas – Desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos e técnicas de produção e de recuperação – Estudo e solução de problemas

QUADRO IV/CHART IV

Atividades Tecnológicas da Refinação – Petroquímica/Química Fina

Atividades Execucionais		Atividades Pré-execucionais	
Operação	Implantação (montagem, programação e teste) e manutenção	Estudo, planejamento e projeto	Pesquisa e desenvolvimento
<ul style="list-style-type: none"> – Refino – Petroquímica – Química-fina – (Destilação, reforma, craqueamento, polimerização, síntese, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> – Construção – Instalação – Montagem – Teste – Manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> – Planejamento industrial – Projetos básicos de sistemas e processos industriais – Projetos de instalações industriais 	<ul style="list-style-type: none"> – Estudos básicos de processos – Desenvolvimento e aperfeiçoamento de métodos, técnicas, processos e equipamentos – Estudo e solução de problemas em escalas de bancada e de planta-piloto

mico das jazidas. Existem, portanto, duas fases bem nítidas na exploração do petróleo: a da procura e descoberta da ocorrência e a de sua avaliação.

A fase da procura e descoberta do petróleo é a mais crucial, cheia de problemas e riscos, chegando a ser um tanto misteriosa para os leigos. Toda a indústria do petróleo depende inteiramente dessas fases: se não houver novas descobertas, as reservas serão consumidas em poucos anos.

No passado, muitas acumulações de óleo e gás foram descobertas sem o auxílio da tecnologia de exploração. Pela própria natureza da ocorrência do petróleo, se um número estatisticamente razoável de poços forem perfurados em áreas prospectáveis, com muita probabilidade ocorrerão descobertas. Em áreas muito prolíficas não seria necessário um grande número de poços. Assim, descobertas de petróleo foram realizadas também por leigos (aventureiros minerais), por práticos (com regras práticas tais como perfurar nas margens de córregos, nas curvas dos rios e outras), por radioestesistas tremulando varas misteriosas, barbatanas de baleia, etc., e por inventores visionários, com caixas pretas mágicas e instrumentos, e processos sem fundamentos científicos.

A indústria do petróleo, entretanto, de há muito ultrapassou a fase do empirismo e da improvisação. É hoje em dia uma indústria altamente técnica e das mais importantes para a civilização moderna. Neste contexto, cabe à exploração apropriar reservas na escala requerida pela indústria e com o máximo de

eficiência.

As descobertas de petróleo geralmente seguem caminhos mais ou menos semelhantes. O projeto de exploração, composto das fases de aquisição de dados, processamento e interpretação, culmina com o "prospecto" que é analisado, dos pontos de vista técnico e econômico, e aprovado no caso de ser julgado merecedor de teste: daí resulta a locação do poço pioneiro. Em seguida, o poço é perfurado, visando a um reservatório com uma possível acumulação. O que faz um prospecto merecer, ou não, uma perfuração é a combinação de fatores geológicos e econômicos junto com atitudes pessoais, fornecendo, segundo Levorsen (1956), "um número praticamente infinito de combinações e variações".

Cada prospecto exploratório é único: não existem dois iguais. Em cada prospecto praticamente se realiza uma inovação tecnológica. Nesse respeito, o exploracionista é um "inventor". Sua faina objetiva um bom prospecto, e cada prospecto é uma "invenção" que pode ou não vir a se confirmar em "inovação": o modelo geológico de uma jazida.

A imaginação criativa é fundamental para o exploracionista. Se existisse um robô exploracionista, ele certamente teria por sensor a geofísica, por ferramenta a perfuração e por *software* a geologia do petróleo. Mas não encontraria petróleo: faltar-lhe-ia a imaginação, que é necessária em toda atividade criativa. Como diz Parke A. Dickey, "*oil is found with ideas*", ou no dizer de Wallace E. Pratt, "*oil is first found in the*

mind of men".

Assim, podemos dizer que em suas funções mais qualificadas, o exploracionista é um pesquisador, e o pesquisador de exploração é um cientista. Na tecnologia de exploração prevalece o conteúdo de ciência aplicada, sendo primordial para a sua evolução o desenvolvimento científico. A atividade de pesquisa em exploração visa à obtenção de novos conhecimentos científicos, além do desenvolvimento de métodos e técnicas em auxílio das atividades de exploração. Cabe aqui citar a seguinte observação feita pelo grande geólogo John Casper Branner: "Na Geologia, tanto quanto nas outras matérias, a ciência mesma tem de preceder a aplicação da ciência; e, se o desenvolvimento dos recursos minerais do País não for baseado no conhecimento científico da Geologia, inevitavelmente daí resultarão perda de esforços, perda de dinheiro, e o atraso do progresso nacional, inseparável de métodos fortuitos".

Por outro lado, as informações provenientes do processo exploratório são de grande importância para o desenvolvimento da ciência. As ciências geológicas devem muito do seu recente progresso aos conhecimentos obtidos da exploração do petróleo.

3.2 – A Atividade de Exploração

Entende-se por exploração, ou lavra, o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração das substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas.

Na indústria do petróleo esta fase chega a ser extremamente complexa, envolvendo um sem número de tecnologias e técnicas que vai desde o minucioso estudo da rocha reservatório, sua interação, com os fluidos nela contidos ou injetados, o poço, sua perfuração, suas instalações e seu entorno, a movimentação dos fluidos, as instalações da superfície, as estruturas e instalações marítimas, o tratamento dos fluidos, o armazenamento e transporte até sua entrega no ponto a ser despachado para as plantas de processamento. A tecnologia de exploração, assim, envolve várias áreas tecnológicas, sendo as principais a Geologia do Petróleo, a Engenharia de Reservatórios, a Engenharia de Perfuração e Completação de Poços, a Engenharia de Produção, a Engenharia de Materiais e Equipamentos, a Engenharia Oceânica e a Engenharia de Processamento de Petróleo.

As atividades de exploração têm por objeto a jazida; por processos, a reconstrução geológica e física do reservatório, a extração, a movimentação, a separação e tratamento; e, por produto, o óleo e/ou gás. Existe uma peculiaridade que as distinguem das tecnologias de processos industriais: o seu objeto, a jazida, é apenas parcialmente conhecido, podendo-se mesmo dizer que, normalmente, no início da produção, é ainda pobremente conhecido. Assim, faz parte do processo de exploração a investigação para aumentar os conhecimentos sobre a jazida, isto é, sobre a rocha-reservatório e os fluidos nela contidos e a interação destes com a rocha.

O fato da jazida ser, parcialmente conhecida faz com que o sistema de exploração seja implantado em um processo progressivo, em que o mesmo se modifica e evolui com a ampliação dos conhecimentos decorrente da progressiva perfuração e testes dos poços de produção e de operações especiais e do histórico da produção do campo. Cada reservatório é objeto de um estudo fundamental na Geologia e Engenharia de Reservatórios e na análise econômica, visando a racionalizar a sua produção e maximizar a recuperação do óleo contido. É um estudo que se repete e evolui ao longo da vida produtiva do reservatório,

sendo de fundamental importância quando da aplicação dos métodos de recuperação melhorada.

A necessidade de se pôr em produção uma jazida o mais breve possível, após a sua descoberta, corrobora ainda mais para que a exploração seja iniciada com base em conhecimentos ainda precários.

Os motivos acima apresentados fazem com que os empreendimentos de exploração não sigam os mesmos caminhos de um empreendimento industrial da área de processos.

A tendência atual, entretanto, principalmente nas áreas mais remotas como as das regiões marinhas, é de se obter o máximo de informações na fase de avaliação exploratória da acumulação, através de realização de cobertura sísmica tridimensional (3-D), em detalhe, e da perfuração de poços exploratórios de extensão estrategicamente localizados, para fundamentar a elaboração de um projeto integrado de exploração.

Dessa maneira, o empreendimento de exploração teria uma fase de estudos e projetos conceituais (estudos de reservatórios, esquema básico de produção, instalação e facilidades, projetos básicos de equipamentos especiais e estruturas marítimas, etc.) seguido do detalhamento, construção, instalação e operação. Seria, assim, bastante semelhante ao empreendimento de uma unidade industrial clássica, entretanto mais sujeito a grandes modificações ou mudanças de tendências, em virtude da possibilidade do progresso de conhecimento da jazida conduzir a situações não previstas. Por outro lado, as tecnologias de recuperação melhorada estão passando por um processo de desenvolvimento substancial e, como normalmente são aplicadas somente numa fase adiantada da vida produtiva da jazida, dificilmente o projeto original contemplaria essas áreas com a precisão desejada.

A utilização dos sistemas de produção antecipada (SPA), principalmente nos campos marítimos, proporciona uma fase de obtenção de conhecimentos da jazida que é de fundamental importância

para o projeto integrado do sistema definitivo. Esta, inclusive, deve ser sua principal finalidade.

A fase de estudos e projetos conceituais, que se inicia pelos projetos integrados de Geologia e Engenharia de Reservatórios, faz a interface entre as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P & D), o empreendimento e a operação. Uma grande parte das atividades de P & D, em exploração, é dirigida às tecnologias periféricas, tais como, as relativas a materiais, equipamentos especiais, estruturas marítimas, robótica e ao apoio à operação através de serviços técnicos e solução de pequenos problemas (*troubleshooting*).

3.3 — Comentários

Como vimos anteriormente, na fase tecnológica da exploração de petróleo, pode-se reconhecer, com bastante clareza, as tarefas executacionais e as pré-execucionais. O profissional de exploração, o exploracionista, no processo para apropriar novas reservas, isto é, a aplicação da tecnologia de exploração, desempenha diferentes papéis através dessa ampla gama de tarefas, desde a coleta de dados a partir das operações de campo, o processamento, a interpretação, a geração de prospecto, seu teste e avaliação, até a concepção de novos modelos geológicos. Desempenha papéis exercendo tarefas executacionais e pré-execucionais. A tecnologia de exploração é uma "tecnologia de investigação", se assim podemos qualificá-la, e não uma tecnologia de processo de produção industrial.

As atividades de P & D em exploração visam a melhorar os métodos e técnicas de coleta de dados, processamento e interpretação, assim como obter novos conhecimentos relativos à geologia, origem, migração e trapeamento dos hidrocarbonetos e conceber novos modelos.

Na atividade de exploração a tarefa pré-execucional de projetos básicos é bem caracterizada e marcante quando se trata de um projeto integrado de um sistema definitivo de produção. Quando o sistema é implantado progressivamente,

como acontece normalmente com os campos terrestres, esta fase fica um tanto dispersa, perdendo em parte sua importância marcante.

O profissional de exploração exerce também tarefas pré-execucionais, principalmente as relativas aos estudos geológicos e físicos do reservatório.

A tecnologia de exploração é um misto de tecnologia de investigação e de tecnologia de processo. Talvez tenha origem nesta ambigüidade a questão levantada nos primórdios da indústria do petróleo: a produção é uma extensão da exploração ou a continuação das atividades de perfuração? O engenheiro de produção deve ter suas origens na geologia ou na engenharia de perfuração?

Levorsen afirmava: "The discovery and production of oil is a geological enter-

prise" (Levorsen, 1956). Em contraposição, outros afirmavam: perfurar poços e colocá-los em produção, é tarefa da Engenharia de Petróleo.

Entretanto, quem produz não é o poço, na realidade apenas o conduto de escoamento, mas o reservatório, e para fazê-lo produzir racionalmente é necessário conhecê-lo. Daí o caráter misto da tecnologia de exploração que é, na realidade, uma característica da formação do Engenheiro de Minas, um verdadeiro geo-engenheiro.

As atividades de P & D em exploração visam a melhorar os métodos e técnicas de estudo da jazida e otimizar as técnicas de recuperação, extração, movimentação, separação e tratamento dos fluidos produzidos, assim como atuar na melhoria e desenvolvimento das técnicas e tecnologias periféricas. As operações de ex-

ploração demandam muitas atividades de serviços de apoio técnico e solução de pequenos problemas (*troubleshooting*), que devem ser supridos pelo pessoal da P & D.

4 - O APRENDIZADO TECNOLÓGICO NOS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

Ultimamente, muito se tem escrito e debatido sobre a problemática da gestão da ciência e da tecnologia nos países em desenvolvimento e, em especial, sobre o processo do aprendizado tecnológico nas sociedades dependentes.

Nos países desenvolvidos, o processo de industrialização encontrou um embasamento cultural e científico apropriado para o desenvolvimento tecnológico, assim como para a pronta absorção das tecnologias desenvolvidas no exterior. A

S LALL (ÍNDIA)	L KIM (COREIA)	D. LEITÃO (REFIN. BRASIL)	ATUAÇÃO		
			OPERAÇÃO	ENGENHARIA	P & D
APRENDIZADO F. ELEMENTAR	APRENDER FAZENDO APRENDER ADAPTANDO	OPERACIONAL	DOMÍNIO A NÍVEL OPERACIONAL	* * *	*
APRENDIZADO INTERMEDIÁRIO	APRENDER PROJETANDO APRENDER PROJETANDO COM MELHORIA	CÓPIA	DESEMPACOTAMENTO CÓPIA DA TECNOLOGIA IMPORTADA	* *	* * *
APRENDIZADO AVANÇADO	APRENDER POR CONCEPÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO COMPLETOS APRENDER POR INOVAÇÃO	CRIAÇÃO	ADAPTAÇÃO OU MODIFICAÇÃO NOVAS CONCEPÇÕES TECNOLÓGICAS		* * *

* Quantidade de asteriscos indica nível de atuação.

Fig. 1 - Modelos do processo de aprendizado tecnológico nos países em desenvolvimento (Leitão, 1985).
Fig. 1 - Models of apprenticeship processes in developing countries (Leitão, 1985).

motivação para o progresso tecnológico, nestes países, veio da necessidade de lançar novos produtos e de reduzir custos para manter seus mercados ou expandí-los. Já nos países em desenvolvimento, a motivação para o início do processo de industrialização veio da necessidade de minorar a dependência através do processo de substituir importação de manufaturados. Fábricas completas foram adquiridas e importadas no sistema *turnkey*, sem que houvesse qualquer transferência de tecnologia. O processo de aprendizado tecnológico se iniciou, assim, pela operação dessas fábricas, através da lenta absorção das técnicas e tecnologias em nível puramente operacional, seguindo caminho completamente diferente daquele trilhado pelos países desenvolvidos.

Kim (1980) estudou o assunto para o caso da Coréia do Sul, analisando em nível de firmas industriais do setor de eletrônica, quando e por que essas firmas adquirem tecnologia estrangeira e como essa tecnologia é assimilada e melhorada. Kim sugere um modelo em três estágios — implementação, assimilação e melhoramento — de quando e como essas indústrias importam e implementam, assimilam e melhoram as tecnologias estrangeiras em resposta a um ambiente mutável e altamente competitivo (fig. 1).

Lall (1980) estuda a situação da Índia, comparando-a com a dos principais países em desenvolvimento. Este autor reconhece que os países em desenvolvimento são imitadores e adaptadores de tecnologia e não inovadores, mas que sofreram um progresso tecnológico passando por vários tipos de processos de aprendizado. Estes tipos de processos Lall grupa em três estágios; o elementar, o intermediário e o avançado, cada um com duas subcategorias (fig. 1).

Leitão (1985) estuda o caso da refinação de petróleo no Brasil, reconhecendo que o processo do aprendizado passou pelas seguintes fases:

- Operacional, quando se dá o domínio da tecnologia importada em nível operacional e o seu desempacotamento;
- Cópia, quando se dá a cópia da tec-

		ATUAÇÃO			
		OPERAÇÃO	INSTALAÇÃO, IMPLANTAÇÃO E MANUTENÇÃO	ESTUDO, PLANEJAMENTO E PROJETO	P & D
APRENDIZADO ELEMENTAR (REPETIÇÃO)	APRENDIZADO NA OPERAÇÃO	* * *			
	APRENDIZADO POR MELHORIA DA QUALIDADE OPERACIONAL	* *	*		
APRENDIZADO INTERMEDIÁRIO (IMITAÇÃO)	APRENDIZADO POR IMITAÇÃO (CONCEPCIONAL)		* * *	*	
	APRENDIZADO POR ADAPTAÇÃO E MELHORIA CONCEPCIONAL			* *	*
APRENDIZADO AVANÇADO (CRIAÇÃO)	APRENDIZADO POR CONCEPÇÃO DE MODELOS E SISTEMAS			* * *	* *
	APRENDIZADO POR INOVAÇÃO			* *	* * *

* Quantidade de asteriscos indica nível de atuação.

Fig. 2 - Modelo generalizado do processo de aprendizado tecnológico nos países em desenvolvimento.

Fig. 2 - Generalized model of the technological apprenticeship process in developed countries.

nologia importada tornada possível pelo desempacotamento;

- Criação, com os estágios da adaptação ou modificação da tecnologia importada para fins diferentes do seu projeto original e o de novas concepções tecnológicas (fig. 1).

Os modelos acima referidos são bastante semelhantes, praticamente idênticos em suas bases. Todos, entretanto, foram formulados para os setores da indústria relacionados com o que comumente se entende por engenharia, indústrias de processos, sejam: físicos, químicos ou mecânicos. Em todos eles é ressaltada a função engenharia (projetos de engenharia, do básico ao detalhe) de suma importância na interface entre a operação industrial e a P & D. Na realidade, essa função é uma tarefa pré-execucional que faz a interfície entre a P & D e as tarefas

execucionais (implantação, manutenção e operação). Em alguns segmentos da indústria essas tarefas são exercidas, aparentemente, como tarefas execucionais ao longo da própria aplicação da tecnologia, num contínuo processo de correção de curso, em etapas distintas, mas não com características de uma verdadeira função.

A figura 2 ilustra a nossa sugestão de um modelo generalizado de aprendizado tecnológico nos países em desenvolvimento com base no modelo proposto por Lall. A dimensão, atuação ou áreas de atuação (operação, engenharia e P & D), característica das tecnologias de processos, é generalizada em termos de atuação através das tarefas execucionais e pré-execucionais, aplicável a qualquer ramo técnico. Dessa maneira o modelo generalizado pode ser aplicado a

praticamente qualquer tipo de tecnologia.

O aprendizado tecnológico ocorre em resposta a uma motivação econômica ou fator de demanda, e evolui com a progressiva mudança dessa motivação. O aprendizado elementar ou inicial se dá em resposta a demanda criada pela política de substituição de importação de manufaturados. Ainda sob o domínio dessa motivação é possível que o aprendizado progrida por sua etapa intermediária, mas com forte tendência à estagnação.

Após a fase de substituição de importação vem a fase de exportação de manufaturados. De início essa exportação somente se torna possível para manufaturados com forte agregado de mão-de-obra barata. Essa fase pouco motiva a evolução do aprendizado. Entretanto, para a ampliação desse mercado torna-se necessária melhoria da qualidade dos manufaturados e maior eficiência e produtividade. Em resposta a essa demanda, o aprendizado evolui em sua etapa intermediária, através da adaptação e melhoria das tecnologias absorvidas, visando a produção de manufaturados de melhores qualidades, em consonância com as condições locais. Isso conduz ao início da exportação de serviços e de tecnologias melhoradas.

A motivação para se atingir a última etapa do aprendizado tecnológico — aprendizado avançado — é a mesma dos países desenvolvidos: ganhar e manter mercados com base em inovação, qualidade, eficiência e produtividade, isto é, exportar produtos e serviços intensivos em tecnologia. Pode-se mesmo considerá-la como a fase de exportação de tecnologia, implícita ou explícita.

Evidentemente o aprendizado tecnológico em um país em desenvolvimento não é um processo que evolui continuamente e que, inexoravelmente, venha a atingir os estágios mais avançados. Na realidade, os países em desenvolvimento dificilmente ultrapassam a etapa intermediária permanecendo, como reconhece Lall, imitadores e adaptadores de tecnologia. Para transpor essa etapa e chegar

ao aprendizado avançado esses países devem alcançar condições econômicas que lhes permitam adotar e manter posturas estratégicas no campo da educação e da ciência e tecnologia.

As fases de política econômico-industrial mencionadas acima compõem a terceira dimensão (dimensão motivação) do processo de aprendizado tecnológico dos países em desenvolvimento. Normalmente, no nosso entendimento, essas fases são:

- I — Substituição de importação;
- II — Exportação de manufaturados (com base em mão-de-obra barata);
- III — Exportação de manufaturados e serviços (com base em tecnologia adaptada e melhorada: melhor qualidade, maior eficiência e produtividade);
- IV — Exportação de tecnologia (Tecnologia, implícita e explícita. Alta qualidade, alta tecnologia e tecnologia de ponta, gerência moderna eficiente e eficaz).

Os fatores de motivação e o aprendizado evoluem *pari passu*: a motivação impulsiona o aprendizado e a evolução deste viabiliza novas fases de motivação.

5 — O APRENDIZADO TECNOLÓGICO EM EXPLORAÇÃO E EXPLOTAÇÃO DE PETRÓLEO

5.1 — A Formação do Pessoal

Quando a PETROBRÁS foi criada, em 1953, recebeu do CNP um valioso grupo de profissionais, geólogos, geofísicos e engenheiros, entretanto, incipiente para a escala da missão que lhe era atribuída.

Não existiam no País, com exceção do curso da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, criada em 1934, cursos regulares de geologia. Os primeiros profissionais da área de geologia e geofísica eram engenheiros de minas, formados, principalmente, na Escola de Minas de Ouro Preto. O problema era de âmbito nacional e interessava a muitos setores de atividades.

Para a PETROBRÁS, o problema era crítico, pois necessitava de centenas de

geólogos e dispunha somente de poucas dezenas. Isto obrigou a PETROBRÁS a criar, em 1957, o curso de Geologia de Petróleo, junto ao Centro de Aperfeiçoamento e Pesquisas de Petróleo (CENAP). Foi um curso muito bem organizado, contando com alguns ótimos profissionais estrangeiros contratados e com pessoal de alto nível de seu próprio quadro técnico-científico. Para este curso foram recrutados, principalmente, engenheiros civis e agrônomos.

Em 1957, o Ministério da Educação e Cultura instituiu a Campanha da Formação de Geólogos (CAGE), que contou com todo incentivo e apoio da PETROBRÁS, e que com recursos federais criou cursos regulares de geologia em Ouro Preto, São Paulo, Porto Alegre, Rio de Janeiro e Recife.

O bom nível dos cursos instalados pela CAGE, assim como a grande demanda de bons profissionais de geologia por parte dos órgãos governamentais e companhias estatais e particulares do País, fizeram com que essa campanha redundasse em um grande sucesso. Cedo outros cursos foram instalados, seguindo o exemplo da CAGE, nas Universidades da Bahia, Brasília, Pará e Ceará.

Na área de perfuração e produção, o CNP iniciou o desenvolvimento de profissionais, na década de 40, enviando pessoal, ainda em número modesto, para cursos e treinamento no exterior. Em 1951 foi criado, junto à Escola Politécnica da Universidade da Bahia, o Curso Especial de Petróleo, para formar engenheiros de perfuração e produção. Em 1957, o CENAP começou a cuidar do aperfeiçoamento de técnicos em perfuração e produção, tendo sido dado um curso prévio, de 2 meses de duração, com o fim de transmitir os conhecimentos teóricos indispensáveis a um bom rendimento no estágio de campo. Este curso foi subvencionado pelo CENAP, instalado e administrado pela Região de Produção da Bahia (RPBA). Os programas das disciplinas que constituíram este curso foram baseados nos do Curso Especial de Petróleo.

Em fins de 1957, foi iniciada, pelo

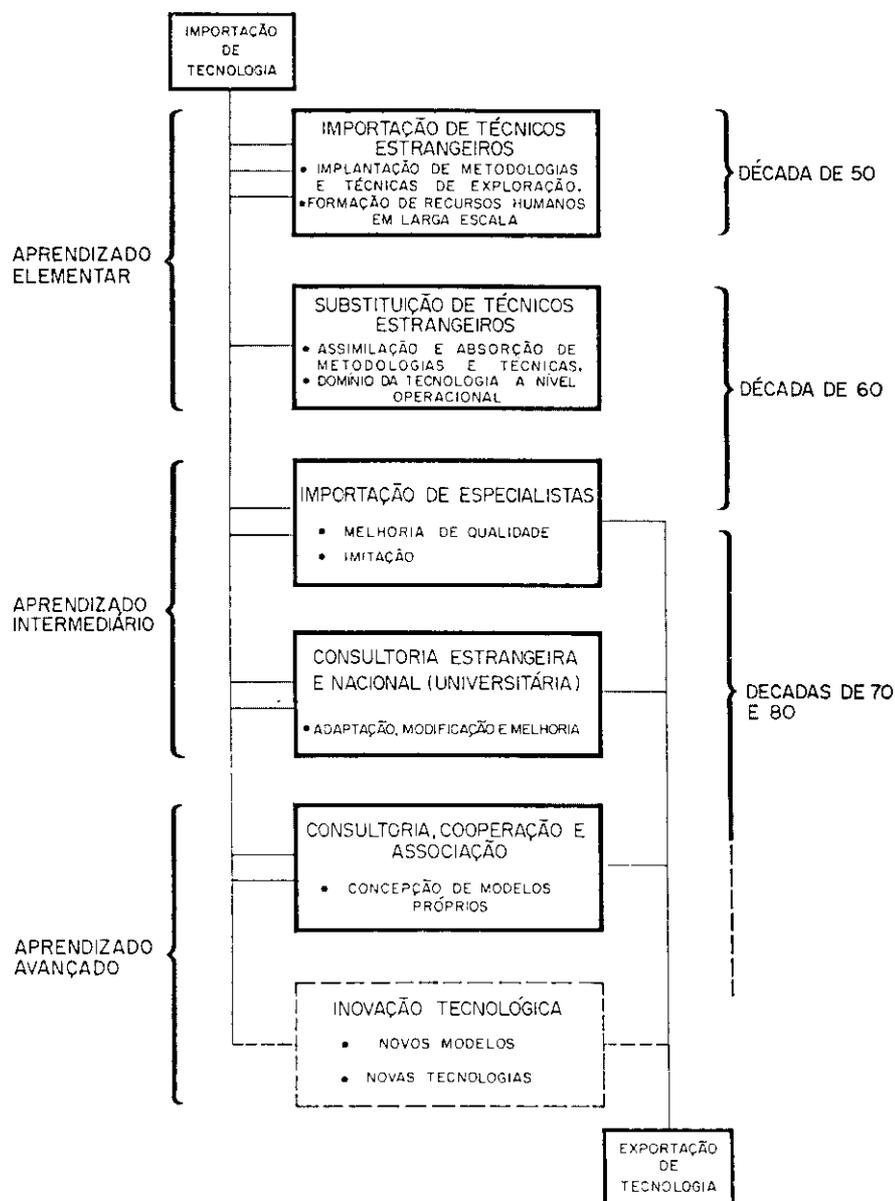


Fig. 3 - Evolução do aprendizado tecnológico na área de exploração do petróleo.
Fig. 3 - Evolution of technological apprenticeship in the field of oil exploration.

CENAP, a organização do Curso de Perfuração e Produção, com duração de um ano e segundo padrões vigentes em centros de ensino estrangeiros.

Ainda na mesma época (1958), o CENAP criava o Curso de Manutenção de Equipamentos em colaboração com o Centro de Tecnologia Aeronáutica e ministrado pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA).

A Companhia também propiciou aos seus empregados estágios em organizações industriais no País e no exterior e cursos de pós-graduação em Universidades estrangeiras e, em menor número,

cursos de formação universitária.

5.2 - O Aprendizado Tecnológico em Exploração

O processo utilizado pela tecnologia de exploração é o da reconstituição geológica da porção da crosta terrestre (uma bacia sedimentar ou parte dela) julgada de interesse. De forma semelhante à P & D, a maquinaria executora do processo é o cérebro humano, utilizando conhecimentos existentes e métodos, técnicas e equipamentos especiais para a obtenção de dados e informações.

A tecnologia de exploração não pode ser

adquirida através da compra de pacotes em um processo *turnkey*, pois os detentores da tecnologia são os próprios executores da operação de exploração.

Para implantar as atividades de exploração em uma escala industrial, a PETROBRÁS contratou o experiente geólogo de petróleo Dr. Waiter Link, que logo providenciou a vinda de toda uma equipe de exploração, geólogos de superfície, geólogos de poço, geólogos intérpretes, geofísicos e equipes de geofísica. Os poucos profissionais brasileiros existentes foram enviados ao exterior para a realização de cursos de pós-graduação e, à medida que regressavam, passavam a ocupar posições auxiliares de assistentes de equipes e auxiliares de grupos técnicos.

Data desta época, segunda metade da década de 1950, o início do curso de Geologia do Petróleo no CENAP, e dos cursos regulares de Geologia nas Universidades do País.

A adoção de uma política agressiva de recrutamento e aperfeiçoamento de pessoal para a exploração permitiu à Companhia cedo dispor de uma equipe quantitativa e qualitativamente adequada para realizar o processo de *aprendizado na operação*, que chegou à sua plenitude quando da substituição dos profissionais estrangeiros pelos nacionais, já na época da gestão do Dr. Pedro de Moura no Departamento de Exploração.

A boa formação técnico-científica dos profissionais brasileiros, fundamental na atividade de exploração, foi obtida nos cursos de pós-graduação no exterior e no Curso de Geologia de Petróleo do CENAP, organizado e executado de acordo com padrões internacionais. Da equipe Link foi de grande importância o aprendizado e a absorção de todo um sistema de organização e de procedimentos técnico-administrativo, envolvendo desde a sistemática de programação das campanhas de exploração, e sua execução, aos sistemas de proposição, análise e seleção de prospectos, de acompanhamento geológico, registro e relato da perfuração de poços, até os sistemas de organização, supervisão e controle das

equipes de campo.

Após a equipe nacional ter assumido o domínio da tecnologia de exploração em nível operacional, desencadeou-se um grande esforço no sentido do aperfeiçoamento e de *melhoria da qualidade da operação*. Os sistemas de procedimentos técnico-administrativos foram ampliados e aperfeiçoados e parte deles consolidados em manuais que ainda hoje são utilizados, inclusive por outras companhias e órgãos do Governo.

Novos métodos e técnicas foram implantados com assistência de especialistas estrangeiros contratados para esta finalidade e também por companhias especializadas.

Em pouco tempo, o grupo de exploração passou a dominar perfeitamente, em nível de execução, as tecnologias até então implantadas. Daí por diante, predominou o *aprendizado por imitação*.

Grande esforço foi dirigido para se acompanhar o que estava sendo feito lá fora. Procurava-se adotar tudo o que estava em uso, com bons resultados, pelas grandes companhias petrolíferas, desde métodos e técnicas a modelos geológicos desenvolvidos para as condições onde essas companhias operavam. Nesta época, houve um grande estímulo à realização de contatos com técnicos estrangeiros através da participação em encontros técnicos (congressos, simpósios, etc.), estágios e cursos no exterior.

Talvez o aprendizado em exploração tivesse permanecido nesta fase se os resultados exploratórios tivessem sido melhores, de forma a dar condições de reservas de petróleo que permitissem a auto-suficiência em produção. Entretanto, as bacias sedimentares brasileiras, apesar de aos poucos virem se revelando petrolíferas, demonstraram não ser das mais prolíficas, escondendo as suas acumulações em situações geológicas às mais sutis, demandando um esforço e uma competência redobrada para sua exploração.

Este desafio motivou um grande empenho pelo aumento da qualificação dos profissionais da exploração e a abertura

do direcionamento rumo aos caminhos da *adaptação e melhoria concepcional*.

Pode-se dizer que, na atualidade, no que diz respeito à tecnologia medular (a que diretamente leva ao prospecto) e a algumas das periféricas, predomina o aprendizado por *adaptação e melhoria*, com algumas realizações características do aprendizado avançado por *concepções de modelos e sistemas*.

No capítulo anterior nos referimos à dimensão, motivação e de como ela interage com o aprendizado. Aqui cabe indagar sobre qual a motivação para a evolução do aprendizado tecnológico na exploração do petróleo no Brasil. Cabe, também, fazer algumas considerações sobre os desafios técnicos que muito contribuíram para o aprendizado.

Aparentemente, desde o início das atividades de exploração, a motivação está estreitamente ligada à fase inicial de substituição de importações. Alcançar a auto-suficiência na produção de petróleo é um modo de expressar essa substituição de importação e tem sido o fator motivador de investimentos na exploração e na exploração e no seu aprendizado.

A motivação econômica induz os investimentos e os desafios técnicos, estimulam os profissionais e os executivos técnicos a se dedicarem com afinco às suas tarefas. A motivação movimenta o capital, os desafios acendem o entusiasmo: um tem caráter racional, de causa e efeito, o outro tem caráter emocional. Estes, por si só, não são capazes de impedir avanços que conduzam e mantenham um novo *status*.

No desenvolver da exploração em nosso País podemos constatar sucessões de desafios que podem ser identificados em diferentes escalas. Relacionamos a seguir alguns macrodesafios enfrentados desde o início das atividades: descobrir petróleo no território nacional; desenvolver capacitação nacional e substituir os técnicos estrangeiros; descobrir petróleo fora da Bacia do Recôncavo; descobrir petróleo nas bacias paleozóicas; descobrir petróleo na Plataforma Continental; des-

cobrir petróleo no Talude e Sopé Continental; descobrir novos *plays*; descobrir petróleo em bacias no estrangeiro; descobrir petróleo em áreas de alto risco (volta ao paleozóico).

Alguns desafios persistem e outros por certo surgirão, mas é possível que em breve a busca de condições de reserva de petróleo, para alcançar a auto-suficiência, não seja mais razão suficiente para motivar investimento no desenvolvimento do aprendizado tecnológico em exploração.

Para alcançar um novo patamar, acreditamos que será necessária uma motivação econômica mais forte, uma real demanda de novas tecnologias que justifique volumosos investimentos em formação de pessoal e em P & D, e que gere novos desafios. Mirando-nos no exemplo dos países desenvolvidos, esta seria a disputa de mercado no campo da tecnologia, implícita e explícita, através da busca de oportunidades no exterior para as atividades a montante e a jusante *upstream* e *downstream*, venda de serviços e comercialização de capacitação e tecnologia.

5.3 — O Aprendizado Tecnológico na Exploração de Petróleo

A aquisição de tecnologia para as atividades de exploração se deu por caminhos diferentes dos adotados pela área industrial (compra de pacotes tecnológicos em processo *turnkey*) e também pela área de exploração (importação de uma equipe detentora da tecnologia).

Pela própria natureza da atividade de exploração não seria viável a aquisição de tecnologia pela compra de pacotes de sistemas de exploração de jazidas. A contratação de uma equipe estrangeira teria sido possível e talvez tivesse apresado o processo de absorção e transferência da tecnologia. Entretanto, esta solução não foi adotada, possivelmente devido às injunções políticas internas, originadas das dúvidas e insegurança provenientes do precário conhecimento das jazidas descobertas até a época.

Optou-se por seguir o difícil caminho do

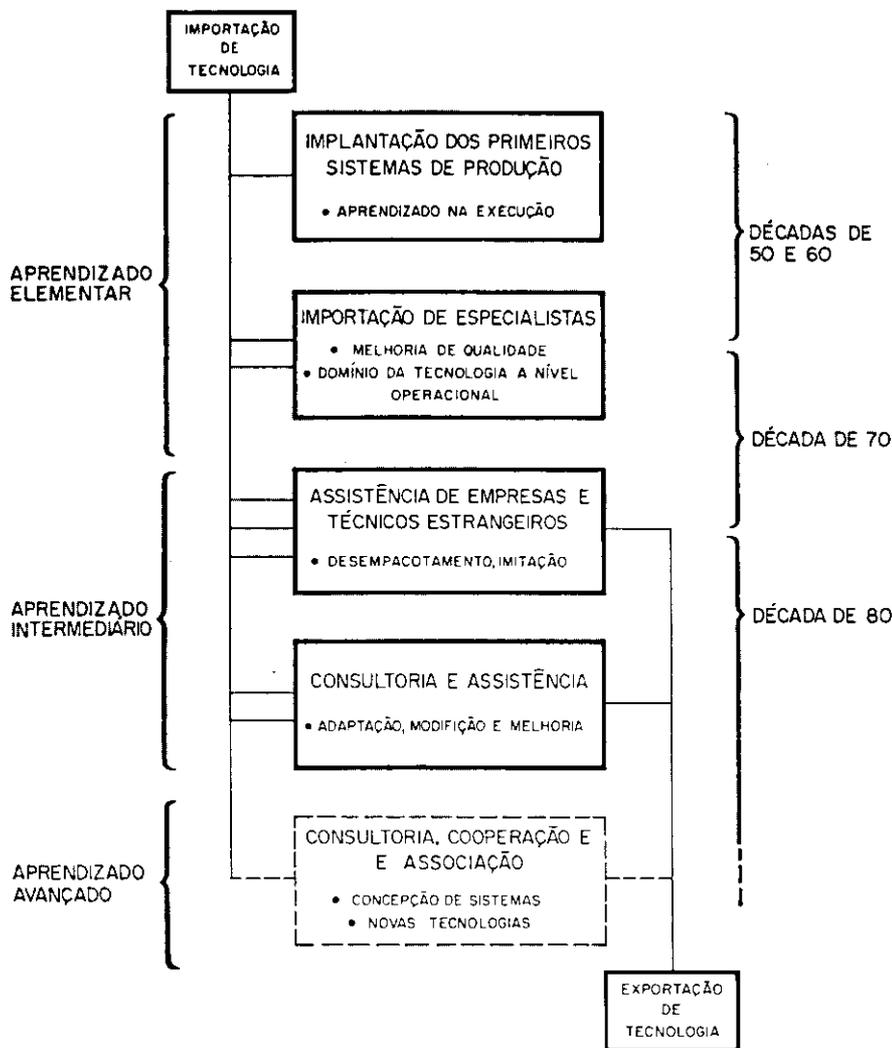


Fig. 4 - Evolução do aprendizado tecnológico na área de exploração do petróleo.
Fig. 4 - Evolution of technological apprenticeship in the field of oil exploitation.

“aprender fazendo”, tentando e improvisando, mas utilizando, sempre que necessária, a importação de tecnologia através da consultoria e da assistência de técnicos estrangeiros e empresas especializadas. Tarefas e operações especiais eram executadas, como ainda hoje em parte são, por companhias de serviços estrangeiras de reputação internacional. O caráter progressivo da implantação dos sistemas de produção dos campos terrestres permitia a adoção dessa solução.

A PETROBRÁS recebeu do CNP, aproximadamente, uma dezena de campos petrolíferos na Bacia do Recôncavo (Bahia), com os sistemas de produção iniciados, mas, ainda, incipientes. Somente os campos de Candeias e Aratu, e logo a seguir D. João, produziam regu-

larmente para suprir a Refinaria de Martiaripe, situada nas vizinhanças desses campos, e uma fábrica de cimento em Aratú, que consumia gás em seus fornos.

Os primeiros engenheiros de produção foram provenientes das atividades de perfuração e enviados para cursos e treinamento em engenharia de produção no exterior. No início da década de 50, como já mencionado, foi criado o Curso Especial de Petróleo na Escola Politécnica da Bahia e, em 1957, o Curso de Perfuração e Produção, no CENAP. Em 1959, foi iniciado o Curso de Engenharia de Reservatórios executado por uma companhia estrangeira especializada. Daí por diante a formação de pessoal prosseguiu com intensidade e com franca melhoria da qualidade, principalmente nos campos da Engenharia de Reser-

vatórios e da Avaliação de Formações.

Na década de 60 a produção se tornou mais técnica, havendo um grande progresso na melhoria da qualidade, tanto em termos de projetos, como de instalações e operações. A Engenharia de Reservatórios progrediu sobremaneira, permitindo um grande progresso na racionalização da produção e na melhoria dos métodos de recuperação.

Ao final da década de 60, com a descoberta do campo de Guaricema, a primeira jazida na plataforma continental, teve início a produção costa-a-fora. Os custos da perfuração e das instalações marítimas não permitiam a implantação de sistemas de produção da maneira progressiva como se fazia para os campos terrestres. Tornou-se necessária a obtenção prévia do máximo de conhecimentos sobre a jazida para que se pudesse projetar seu sistema de exploração. Isto conduziu a uma maior aproximação entre o exploracionista e o engenheiro de reservatórios em busca de maiores conhecimentos sobre a rocha-reservatório.

Os conhecimentos obtidos da jazida na fase exploratória de delimitação da acumulação não eram suficientes: necessitava-se da realização de testes de longa duração, ou de colocar o campo em produção em caráter precário. Isto veio ao encontro da grande necessidade de aumento da produção, motivando, assim, a implantação dos sistemas de produção antecipada.

Por outro lado, os campos terrestres da Bacia do Recôncavo chegavam a um estágio maduro de sua vida produtiva, necessitando de um estudo mais detalhado de seus reservatórios para melhorar a produção e permitir a aplicação dos métodos de recuperação melhorada.

Nesta fase passou a predominar o aprendizado por imitação e por adaptação e melhoria, já com significativa participação das atividades de P & D.

Atualmente, a área de exploração se defronta com o grande desafio de por em produção acumulações descobertas em águas profundas. Nestas regiões os siste-

mas de exploração devem ser planejados, projetados e implantados de forma integrada, dando lugar a um grande empreendimento industrial. Como para esse empreendimento ainda não existe tecnologia comprovada, será necessário o seu desenvolvimento, o que demandará uma grande parcela de participação das atividades de P & D e de estudo, planejamento e projeto básico.

Esta é a oportunidade de se entrar na fase do aprendizado avançado, através da concepção e desenvolvimento de modelos e sistemas e da inovação tecnológica.

Para, realmente, atingir esta etapa e sustentá-la será necessária uma motivação econômica que suporte os altos investimentos no desenvolvimento de novas tecnologias. Esta será necessariamente a exportação de tecnologia, implícita e explícita.

6 – A PESQUISA TECNOLÓGICA

O Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES) da PETROBRÁS, passou a existir, institucionalmente, a partir de janeiro de 1966, sucedendo ao Setor de Pesquisas do CENAP, o primitivo CENAP-4, restrito às atividades da área industrial de refinação de petróleo e industrialização do xisto.

A Divisão de Exploração e Produção (DEPRO) do CENPES foi criada em 1968, iniciando daí a formação de seu quadro de pessoal, através de admissões e transferências de profissionais do DEXPRO. Em 1970, quando da elaboração do primeiro Plano Global de Pesquisas (PGP-1), essa divisão era formada de oito profissionais, os recém-admitidos encontrando-se em treinamento nas operações de campo. Em fins de 1973 o CENPES passou a ocupar suas novas instalações na Ilha do Fundão. Nesta época a Divisão de Exploração e Produção já contava com 30 profissionais e 26 técnicos de nível médio.

Em 1979 foi criada a Superintendência de Pesquisas de Exploração e Produção (SUPEP), em substituição à DEPRO, já com 91 profissionais e 80 técnicos de nível médio. Atualmente, essa Superin-

tendência conta com 211 profissionais e 231 técnicos de nível médio distribuídos em três Divisões e treze Setores.

O Plano Diretor do CENPES, elaborado pela firma Arthur D. Little Inc., em 1969, previa atividades de apoio ao antigo Departamento de Exploração e Produção (DEXPRO) em escala relativamente modesta e especificava somente os campos da geofísica e da Engenharia de Reservatórios.

Em 1970, a equipe do CENPES, consultando os órgãos operacionais da Companhia, elaborou o primeiro Plano Global de Pesquisas (PGP-I). Este Plano continha um prognóstico tecnológico para a década de 70, elaborado através de entrevistas com especialistas das diversas áreas de atividades do CENPES. O plano também continha um programa trienal de atividades, com um inventário de projetos levantados junto às áreas operacionais, e previsões de pessoal e laboratórios. O PGP-I foi aprovado em 1971 pelo Conselho de Administração da Companhia e foi seguido posteriormente pelos PGP-II e PGP-III, aprovados, respectivamente, em 1973 e 1976.

Estes Planos (PGPs) foram de fundamental importância para as atividades de P & D em exploração e exploração, principalmente na definição de seus campos de atividades e na previsão de recursos. Utilizaram-se, para isto, informações da literatura, depoimentos de pesquisadores estrangeiros, exemplos de outros centros de P & D (geralmente em condições muito diferentes das nossas), e, principalmente, levantamento de problemas e necessidades junto à área operacional.

Definidas as equipes, a meta era alcançar suas respectivas massas críticas. Ao final da década de 70, o quadro de pessoal da área de exploração e produção tinha crescido acima de 2 200%: o grupo de profissionais passava de 8 para 109, e os de nível médio de 2 para 128.

O objetivo era absorver ou produzir tecnologia e serviços de forma a melhorar ou otimizar as atividades operacionais. Adotou-se como política de pessoal for-

mar o quadro de pesquisadores, sempre que possível, com técnicos provenientes da área operacional e formar os grupos-tarefas de execução dos projetos, sempre que possível, com a participação de pessoal dos órgãos operacionais.

Esses órgãos operacionais estavam acostumados a resolver seus problemas e obter tecnologias através da contratação de Companhias e de consultores estrangeiros. Apesar das dificuldades de divisões, este parecia ser o caminho mais conveniente para a operação, acrescido do fato de que as equipes nacionais, ainda em formação, não tinham experiência comprovada e não gozavam, portanto, de credibilidade. Por outro lado, a dificuldade de obter-se pessoal por transferência da área operacional era grande, ainda mais que as equipes da BRASPE-TRO, o braço internacional da Companhia, consideradas mais prioritárias, na época, estavam em formação. Para minorar o problema adotou-se, também, a política de admitir pessoal através do Departamento de Exploração e Produção (DEXPRO), com a programação de realizar um extenso período de estágio e de atividades na operação.

Ao final da década de 70, a maior parte das equipes de P & D em exploração e exploração alcançavam suas respectivas massas críticas, já produzindo resultados significativos para a melhoria das operações. Com o aumento da credibilidade, a demanda por serviços cresceu grandemente, o que levou à adoção da política de incentivar a formação de companhias de serviços nacionais, com base no *know-how* já existente no CENPES.

A partir dessa época, o CENPES passou a participar plenamente do processo de aprendizado tecnológico nas áreas de exploração e exploração, principalmente, nas etapas de imitação, adaptação e melhoria, e, por último, na concepção de modelos e sistemas. Evidentemente a participação nos diferentes campos de atividades especializadas se deu em épocas diferentes e com alguma variação nas características. Em alguns casos, como na geoquímica e nos métodos de recuperação melhorada, a participação do CENPES se deu desde o início da fase

EXPANDED ABSTRACT

In developing countries, the initial motivation for the introduction of a process of industrialization sprung from the need to reduce dependence substituting importation of industrialized products. Complete plants and technologies were acquired and imported on a turnkey system, without any actual transfer of technologies. The technological apprenticeship process began with the operation, based on the slow assimilation of techniques and technologies on a purely operational level, following a pattern opposite to that of developed countries.

Studies on technological apprenticeship in developed countries show that the process is similar in different countries, independent of cultural differences and of the nature of the various industrial sectors studied. The process begins with operation activities, using imported technologies, and evolves in a progressive manner, through its various stages. It is initiated, in its elementary stage, by learning through practice and learning through adaptation. It

then evolves into the intermediate stage through the elaboration of projects, which initially are only imitative, and which are later developed through modifications and improvements. The process may then arrive at advanced apprenticeship, through models and systems conception and through technological innovation.

Technologies for oil exploration and exploitation have characteristics that are very distinct from those of the other technologies used in the subsequent industrial phases, the so-called process phases of oil industrialization (petrochemical refining and manufacturing). Oil exploration is an investigative activity with a strong probability component, while exploitation has a double characteristic of process and investigation technologies. These technologies cannot be acquired in "packages" or in turnkey purchasing contracts.

Oil exploration at PETROBRAS began its

apprenticeship using a foreign team, which held the technology practised at the time. Exploitation, on the other hand, followed the difficult path of learning through practice, although using whenever necessary imported technologies through technical consultancy, assistance from foreign technicians and services from expert agencies.

Technological apprenticeship in exploration and exploitation technologies has evolved in the last four decades through various stages, finding itself today in a position to cross the threshold of the advanced stage. In order to attain complete advanced apprenticeship there is a need for an economic motivation to justify the large investments in development of personnel, pre-executionary P and D activities, studies, planning and projects. This goal will be achieved when the Company becomes more modernized and starts to compete fully in the field of technology.

de aprendizado na operação.

7 — CONCLUSÕES

Os estudos do aprendizado tecnológico nos países em desenvolvimento realizados por Kim (Coreia), Lall (Índia), Fleury (Brasil) e Leitão (Brasil) mostram que o processo é semelhante, nestes países, caracterizando um fenômeno de caráter geral, independente das diferenças culturais e da natureza dos diversos segmentos industriais estudados.

O processo inicia-se nas atividades de operação utilizando tecnologias importadas e evolui, progressivamente, através de seus diversos estágios, podendo chegar ao aprendizado avançado — aprendizado por concepção de modelos e sistemas e por inovação tecnológica.

Normalmente os países em desenvolvimento permanecem no aprendizado intermediário, continuando como importadores e imitadores de tecnologia.

Para se alcançar o aprendizado avançado pleno é necessário uma motivação econômica que justifique e compense os altos investimentos em P & D e em desenvolvimento de recursos humanos.

O caso do Japão nos parece diferente. As tecnologias adquiridas do exterior entravam, e ainda entram, pela porta das atividades pré-execucionais — P & D e

projeto — e, assim, eram prontamente absorvidas, modificadas e exportadas. Isto só foi possível devido à existência de uma sólida base educacional e cultural e à firme determinação governamental motivada pela grande necessidade de exportar.

No caso da exploração e exploração de petróleo no Brasil, podemos dizer que estamos no limiar do aprendizado avançado. Para continuarmos a progredir e alcançarmos o aprendizado avançado pleno, necessitaremos de motivação econômica que justifique os altos investimentos em desenvolvimento de pessoal e nas atividades pré-execucionais de P & D, estudos, planejamento e projeto.

Isto somente será alcançado quando a Companhia se modernizar e passar a concorrer, plenamente, no campo da tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FLEURY, A. C. Gestão de tecnologia e organização de engenharia na empresa industrial brasileira. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PESQUISA DE ADMINISTRAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 9., São Paulo, 1984. *Anais...* São Paulo, FEA-USP, 1984.
- KIM, L. Stages of development of industrial technology in a developing

country: a model. *Res. Policy*, 9: 245-77, 1980.

LALL, S. Developing countries as exporters of industrial technology. *Res. Policy*, 9: 24-52, 1980.

LEITÃO, D. M. O processo de aprendizado tecnológico nos países em desenvolvimento: o caso da refinação de petróleo no Brasil. *Bol. Téc. PETROBRÁS*, Rio de Janeiro, 28 (3): 207-18, jul./set. 1985.

LEVORSEN, A. I. *Geology of petroleum*. San Francisco, W. H. Freeman and Company, 1956.

LONGO, V. P. *Tecnologia e soberania nacional*. São Paulo, Nobel, PROMOCET, 1984.

MOURA, P. & CARNEIRO, F. O. *Em busca do petróleo brasileiro*. Ouro Preto, Fundação Gorceix, 1976.

OLIVEIRA, A. I. *Situação do problema do petróleo no Brasil em 1938*. Rio de Janeiro, DNPM — Diretoria de Estatística da Produção, 1938. DNPM. Serviço de Fomento da Produção Mineral. Boletim, 23.

PAULINY, E. I. Os estágios tecnológicos da empresa. *Rev. Bras. Tecnologia*, 15 (1): 53, jan./fev., 1984.

