UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS E LETRAS- CAMPUS ARARAQUARA
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

THAÍS DAMASCENO DE LIMA

DESAFIOS TECNOLÓGICOS NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO EM ÁGUAS PROFUNDAS: O SISTEMA PETROBRAS DE INOVAÇÃO

ARARAQUARA – SP
2015

THAÍS DAMASCENO DE LIMA

DESAFIOS TECNOLÓGICOS NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO EM ÁGUAS PROFUNDAS: O SISTEMA PETROBRAS DE INOVAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências e Letras – UNESP/ Araraquara, como requisito para obtenção de título de Mestre em Economia.

Linha de Pesquisa: Economia industrial e da inovação tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Gomes

ARARAQUARA – SP
2015

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

Lima, Thaís Damasceno

Desafios Tecnológicos na exploração de petróleo em águas profundas: o Sistema PETROBRAS de Inovação / Thaís Damasceno de Lima - Araraquara, SP, 2015 89 f.

Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências e Letras (Campus de Araraquara).

Orientador: Prof. Dr. Rogério Gomes

1.Extração de Petróleo e Gás *Offshore*. 2.Desafios e Inovações na Exploração *Offshore*. 3.PETROBRAS. 4.Sistema PETROBRAS de Inovação

THAÍS DAMASCENO DE LIMA

DESAFIOS TECNOLÓGICOS NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO EM ÁGUAS PROFUNDAS: O SISTEMA PETROBRAS DE INOVAÇÃO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências e Letras – UNESP/ Araraquara, como requisito para obtenção de título de Mestre em Economia.

Linha de pesquisa: Economia Industrial e da Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. Rogério Gomes

Data de defesa: 17/09/2015

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ROGERIO GOMES

Participação por Videoconferência

Profa. Dra. GECIANE SILVEIRA PORTO

Profa. Dra. STELA LUIZA DE MATTOS ANSANELLI

Local: Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências e Letras
UNESP – Campus de Araraquara

Aos meus pais e ao Jonas.

AGRADECIMENTOS

Aprendi, recentemente, que o importante é a jornada, não o destino. Esta dissertação é mais um passo na minha jornada da vida acadêmica e nos estudos de economia. Passos que foram apoiados, ensinados e encorajados por várias pessoas que se fizeram essenciais ao longo desse trajeto. Portanto, nessa seção gostaria de agradecer a cada uma delas.

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Neid e Damasceno, pelo amor incondicional, pelos inúmeros ensinamentos, pela oportunidade que me deram de estudar e optar por um curso que me fizesse feliz. Sou grata por toda a dedicação e por todos os momentos que me estenderam a mão, ou que me incentivaram a enfrentar a situação sozinha. Pai e mãe, saibam que têm meu eterno amor e gratidão.

À toda minha família pelo apoio, aos meus tios, avós, madrinha, primos, nada seria possível sem a contribuição que tiveram e têm em minha vida, sem o cuidado e lições fundamentais.

Ao Jonas: amigo, namorado, cumplice. Foi quem me ensinou a importância da jornada e de tudo o que fazemos e conquistamos no caminho. Agradeço pelos momentos que me encorajou e que me aplaudiu, pelos sorrisos, pelo brilho nos olhos, por tudo o que tenho aprendido, por me fazer sonhar e me preparar para alcançar meus objetivos. Obrigada por sempre me apoiar e me mostrar que mesmo que não mudemos o mundo, sempre é possível ajudar algumas pessoas e, assim, mudar o mundo delas.

Aos professores da pós-graduação em economia da Unesp de Araraquara, em especial ao meu orientador Rogério Gomes, sem o qual esse trabalho não seria possível, pela ajuda e pela disponibilidade, por acreditar nesse trabalho e repassar seus conhecimentos. À professora Tatiana Massaroli, por toda atenção e apoio.

Aos amigos de mestrado, em especial ao Sidnei, Layza, Ivan, Fabinho, e, claro, Stephano, que tornaram a aventura dessa etapa tão agradável e interessante. O mestrado tem fim, mas as amizades vão ficar, sempre. Stephano, *I will always love you* (te plagiando), meu amigo, encanador, cozinheiro, cantor, despertador, o motivo das minhas melhores risadas, foi até herói, esteve ao meu lado e segurou minha mão quando eu pensava estar sozinha.

Aos amigos Renato e Rejane pelo incentivo em seguir a vida acadêmica.

Aos amigos Karinne, Guilherme, Cassiano, Augusto e Fernanda que fizeram meu retorno à Uberlândia ser prazeroso e cheio de sorrisos e histórias.

Pela amizade, apoio e longas conversas, Felipe, obrigada.

Às amigas Camila e Jaqueline, o romantismo às vezes é o que me faz acreditar que todos podemos fazer alguma diferença. Obrigada pela amizade.

Desculpem aqueles que, por descuido, não foram citados, saibam que são importantes e que têm minha gratidão.

Esse trabalho e toda a jornada só foi possível porque eu pude contar com todas essas pessoas e com o que me ensinaram. Nada disso teria se concretizado sem apoio, os equívocos são responsabilidades exclusivamente minha.

A maioria das ideias fundamentais da ciência é essencialmente simples e, por regra geral, pode ser expressa em linguagem compreensível a todos.

(Albert Einstein)

RESUMO

A importância do petróleo e do gás natural em termos econômicos e estratégicos pode ser medida pelo fato de que esses produtos sustentam mais da metade da demanda energética mundial. Nas últimas décadas, o Brasil tem se destacado na exploração de reservas de petróleo e gás *offshore* (águas profundas) em razão dos sucessivos avanços tecnológicos obtidos na área. Porém, para consolidar-se como um polo de pesquisas de classe internacional, o setor precisa superar os desafios tecnológicos encontrados na extração e produção de petróleo e gás natural na fronteira geológica do Pré-sal. Para enfrentar esses obstáculos, a PETROBRAS tem demandado inovações desenvolvidas por empresas parceiras e centros de pesquisas. Este estudo está pautado na percepção de que as inovações são realizadas para solucionar problemas técnico-econômicos que requerem conhecimentos acumulados - tácitos e codificados - que provêm de um processo de aprendizado histórico. As novas regiões de exploração de petróleo exigem avanços tecnológicos que superem as "dificuldades naturais" (luz; temperatura; pressão em grande profundidade; geografia do leito oceânico; correntes marítimas; distâncias entre as plataformas e o continente e entre plataformas e os poços no fundo oceânico; etc). No segmento *offshore*, esses avanços frequentemente resultam de inovações incrementais e/ou "arquitetônicas", ou seja, desenvolvimento e/ou combinações de tecnologias já conhecidas. A estratégia de inovação baseada em parcerias e nesses tipos de inovações permite diminuir as incertezas inerentes aos processos inovativos, os custos e o tempo dos projetos. Nesse contexto, este trabalho visa contribuir para discussão da rede que congrega parceiros voltados à inovação *offshore*, que denominamos Sistema PETROBRAS de Inovação (SPI). Para isso, o estudo expõe as principais características desse sistema e as principais inovações alcançadas. Como resultado, é proposto o modelo teórico-analítico (SPI) em que a petrolífera age como "motor" e fiador do sistema.

Palavras-chave: Extração de Petróleo e Gás *Offshore*. Desafios e Inovações na Exploração *Offshore*. PETROBRAS. Sistema PETROBRAS de Inovação.

ABSTRACT

The importance of oil and natural gas in economic and strategic terms can be measured for the fact that these products support more than half of world energy demand matrix. At the lasts decades Brazil has stood out in the exploitation reserves of offshore (deep water) oil and gas in reason of the successive technological advances achieved in the area. However, to consolidate itself as a research hub of international class, the sector needs to overcome the technological challenges encountered in the extraction and production of oil and natural gas in geological area of the pre-salt. To address these obstacles, PETROBRAS has demanded innovations developed by partner companies and research center. This study is guided by the perception that innovations are carried for solving technical-economic problems which require accumulated knowledge - tacit and codified – and comes from a historical learning process. The new regions of oil exploration require technological advances that exceed the "natural difficulties" (light, temperature, pressure in big deep, geography of the ocean floor; ocean currents; distances between the platforms and the continent and between platforms and wells on the ocean floor; etc.). In the offshore sector, these developments often result from incremental innovations and/or "architectural", or development and/or combinations of already known technologies. The innovation strategy based on partnerships and these types of innovations allows to reduce the uncertainties inherent in innovative processes, costs and time of projects. In this context, this study aims to contribute to discussion of the network linking partners focused on offshore innovation, we call PETROBRAS System of Innovation (PSI). For this purpose, the study sets out the main characteristics of this system and the main innovations achieved. As a result, it proposes the theoretical and analytical model (PSI) in which the PETROBRAS acts as "motor" and guarantor of the system.

Keywords: Oil and Gas *Offshore* Extraction. Challenges and Innovations of the *Offshore* Exploration. PETROBRAS. PETROBRAS System of Innovation.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Graus de incerteza associados a vários tipos de inovações.....22

Quadro 2 - Diferenças entre os tipos de inovações.....36

Quadro 3 - Principais derivados do petróleo e suas aplicações.....44

Quadro 4 - Inovações tecnológicas realizadas pela PETROBRAS com parcerias de empresas e universidades.....52

Quadro 5 - Tipos de plataformas utilizadas pela PETROBRAS.....81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - *Chain-linked Model* e os fluxos de informação e cooperação.....33

Figura 2 - Relação ente os tipos de inovação e as fases do ciclo da tecnologia.....37

Figura 3 - Caracterização as fases e dos equipamentos usados na cadeia produtiva da indústria petrolífera 46

Figura 4 - Processo de indução/geração de tecnologias na exploração e produção de petróleo *offshore*.....61

Figura 5 - Concentração das empresas inovadoras no Rio de Janeiro.....69

Figura 6 - Dinâmica da atividade de inovação entre a PETROBRAS, empresas parceiras e universidades.....74

Figura 7 - Sistema PETROBRAS de Inovação (SPI) 76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Plano de Investimento (por atividade) da PETROBROBRAS 2015-2019 (em bilhões de dólares e %).....41

Gráfico 2- Investimento da PETROBRAS em Instituições de Ciência & Tecnologia em 2009 (por unidade de federação; % do valor total do invesimento).....42

Gráfico 3- número de empregados do Cenpes (por grau de escolaridade).....43

Gráfico 4 - Investimentos em P&D da PETROBRAS: 2001 - 2013.....52

Gráfico 5 - Produção média diária de petróleo (em mil barris por dia) 59

LISTA DE SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo
BMSHA	Bomba Multifásica Submarina Hélico-Axial
BSC	Bomba Centrífuga Submersível
CENAP	Centro de Aperfeiçoamento e Pesquisas de Petróleo
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da PETROBRAS
COOPPE-UFRJ	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
FPDSO	*Floating, Production, Drilling, Storage and Offloading*
FPSO	*Floating, Production, Storage and Offloading* - (navios-plataformas)
FPWSO	*Floating, Production, Workover, Storage and Offloading*
GEDIG	Gerenciamento Digital Integrado - monitoração, controle e automação de poços
GIOP	Gerenciamento Integrado de Operações
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
ICT	Institutos e Centros Tecnológicos
IEA	*International Energy Agency*
LBD	*Learning By Doing*
LBU	*Learning By Using*
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimeto
PD	Posicionamento Dinâmico
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A
PROCAP	Programa de Capacitação Tecnológica em Águas Profundas
PUC/RJ	Pontíficia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental

SASMI	Sistema de Aquisição de Sinais com Monitoração Independente
SBMS	Sistema de Bombeamento Multifásico Submarino
SCR	*Steel Catenary Risers*
SIGITEC	Sistema de Investimentos em Tecnologia
SLWR	*Steel Lazy Wave Risers*
SPI	Sistema PETROBRAS de Inovação
SSAO	Estação de Separação Submarina Água- Óleo
TLP	*Tension Leg Plataform*
TLWP	*Tension Leg Wellhead Plataform*
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
VASPS	Sistema de Separação Gás-Líquido

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 17
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 20
1.1.O Fator "Incerteza" das Inovações 20
1.2.A Rotina e os Processos de Busca e Aprendizado 25
1.3.Paradigmas e Trajetórias Tecnológicas 29
1.4.O Modelo de Inovação de Kline e Rosenberg 31
1.5. Inovações Radicais, Incrementais e Arquitetônicas 34
CAPÍTULO 2: OS DESAFIOS TECNOLÓGICOS PARA A EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO *OFFSHORE* 39
2.1. Metodologia de Pesquisa 39
2.2. Etapas da Produção Petrolífera 43
2.3. Breve Histórico das Tecnologias da PETROBRAS 47
2.4. Desafios Tecnológicos para a Exploração do Pré-sal 59
2.4.1. Novas Tecnologias 61
CAPÍTULO 3: O SISTEMA PETROBRAS DE INOVAÇÃO (SPI) 64
3.1. Redes de Inovação 64
3.1.1. A Localização das Principais Empresas Fornecedoras 68
3.1.2. A Administração da Rede de Cooperação 70
3.2. Sistema PETROBRAS de Inovação (SPI) 73
3.3. Alguns Exemplos de Inovações Arquitetônicas 79
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 83
REFERÊNCIAS 86

INTRODUÇÃO

Juntos, o petróleo e o gás natural representam mais de metade da demanda energética mundial. O Brasil tem se destacado no mercado *offshore* (águas profundas), porém para manter e avançar na liderança desse setor precisa superar os desafios colocados pela extração de petróleo e gás natural na fronteira geológica do Pré-sal.

O segmento de exploração petrolífera em regiões geológicas do Pré-sal tem demandado inúmeras inovações. Apesar dessa região possuir um enorme potencial, ela também apresenta muitas dificuldades que não podem ser superadas com as tecnologias utilizadas em regiões de laminas d'água de menores densidades. Para enfrentar essas dificuldades a PETROBRAS estabeleceu uma rede de parcerias entre empresas, institutos de pesquisa e universidades. As novas regiões de exploração de petróleo exigem avanços tecnológicos para superar as "dificuldades naturais" (luz, temperatura, pressão em grande profundidade; geografia do leito oceânico; correntes marítimas; distâncias entre as plataformas e o continente e entre plataformas e os poços no fundo oceânico; etc). O objetivo primeiro deste trabalho é apresentar estes desafios e discutir as soluções técnicas que estão sendo desenvolvidas.

Em geral, os países em desenvolvimento são receptores de tecnologias, principalmente das economias mais avançadas. Normalmente, esses países adquirem tecnologias externas para suprir suas necessidades técnicas. Entretanto, não podemos desconsiderar os esforços em adaptações e na tentativa de melhoria dessas tecnologias para atender aos interesses de quem as adquire. Em relação ao setor petrolífero, esse processo de aquisição ocorreu durante algum tempo, mas frente aos novos desafios impostos pela exploração *offshore* o Brasil precisou desenvolver as suas próprias soluções. O país se deparou com a ausência de tecnologias internacionais para realizar a extração de hidrocarbonetos nas águas muito profundas da região geológica do Pré-sal. Frente a isso, a PETROBRAS, que não realiza internamente atividades de pesquisa e desenvolvimento, recorreu a parceiras com empresas e institutos de pesquisas para superar os novos desafios tecnológicos. A estratégia de parceria e realização de inovações arquitetônicas permitiu avançar nas soluções técnicas e diminuir as incertezas inerentes aos processos inovativos, os custos e o tempo dos projetos.

Para contornar a falta de tecnologia, o Brasil tem concentrado os seus esforços em inovações arquitetônicas, remodelando tecnologias e realizando combinações entre tecnologias

já existentes para auferir êxito na extração de hidrocarbonetos em águas profundas e ultraprofundas. As novas trajetórias tecnológicas devem superar esses desafios e viabilizar a extração de petróleo da camada do Pré-sal. Entretanto, fica a questão: quais são essas dificuldades de fato?

Este trabalho visa contribuir para a compreensão dessa rede de inovação, que denominamos Sistema PETROBRAS de Inovação (SPI), composto, especialmente, por fornecedores, institutos de pesquisa e universidades, voltado para "produzir" soluções tecnológicas aos obstáculos na exploração em águas profundas. O modelo teórico-analítico que propomos para o SPI interpreta a petrolífera como coordenador – elo estruturante da rede – e o "motor" do sistema, pois garante ao mesmo tempo a direção (define os desafios e/ou as demandas por soluções técnicas) do processo inovativo e a sua sustentabilidade (aquisição das soluções tecnológicas).

Para isso, estruturamos este trabalho em três capítulos. O capítulo inicial se propõe a dar ao leitor uma base teórica para compreensão do estudo realizado. Partimos, portanto, da caracterização e conceito da inovação considerando principalmente seu aspecto de incerteza e como as empresas lidam com esse fator e as estratégias possíveis a serem tomadas apresentadas na seção 1.1. Na seção subsequente, são abordados os principais aspectos do processo de inovação tecnológica no interior da firma como suas rotinas e o processo de busca e aprendizado (seção 1.2), seguida pelos conceitos de paradigmas e trajetórias tecnológicas (seção 1.3). No ponto 1.4, o modelo de inovação em cadeia proposto por Kline e Rosenberg (1986) é apresentado, precedido de uma breve explicação e crítica do modelo linear. Finalmente, na seção 1.5 são discutidos os conceitos de inovações radicais, incrementais e arquitetônicas, e uma breve conclusão. O primeiro capítulo fornece, assim, uma base teórica necessária para a compreensão dos capítulos posteriores.

Iniciamos o capítulo dois apresentando as fases da produção de hidrocarbonetos (item 2.1) e os seus principais derivados, para mostrar a importância desse bem e quão indispensável na vida contemporânea e na economia de um país. Adicionalmente, apresentamos um esquema com as fases de produção petrolífera, enfatizando a fase de extração de petróleo que tem enfrentado as maiores dificuldades com a grande profundidade oceânica.

Em seguida, na seção 2.2, apresentaremos um histórico sucinto da PETROBRAS com destaque às atividades de inovação da empresa e à nova fase de exploração petrolífera em águas

profundas (mercado *offshore*), na qual o Brasil é líder. Os principais aspectos que dificultam a produção de petróleo em grandes profundidades serão abordados na seção 2.3. Os desafios tecnológicos a serem enfrentados para a exploração de petróleo *offshore* serão pontuados para compreender as principais demandas técnicas da PETROBRAS.

Por fim, na seção 2.4, são apresentados os novos esforços de inovação que vem sendo realizados pelas empresas parceiras da PETROBRAS e as universidades para suprir a demanda tecnológica da petrolífera e possibilitar a extração de hidrocarbonetos em regiões geológicas hostis. As pesquisas inovativas vão desde os navios-plataformas até as tecnologias utilizadas no fundo do mar.

Com as primeiras descobertas de hidrocarbonetos em águas profundas no início dos anos 70, etapa preliminar da superação dos desafios impostos pelo Pré-sal, a PETROBRAS iniciou uma intensa busca por recursos técnicos. Para suprir esses desafios, que cresceram em número e complexidade ao longo do tempo, a petrolífera foi levada a buscar o apoio de seus fornecedores, universidades e institutos de pesquisas do país e estrangeiros para alcançar as novas soluções exigidas pelo segmento *offshore*.

O capítulo terceiro trata dessa rede de cooperação. No item 3.1 apresentamos o conceito de redes de inovação que servirá posteriormente para estruturar o modelo proposto de interações entre empresas e universidades. Nesse item, a concentração geográfica da rede de inovação da PETROBRAS é abordada, assim como a forma e os sistemas utilizados pela PETROBRAS para administrar essa rede de inovação.

Tendo em vista que o modelo de inovação da PETROBRAS não pode ser plenamente explicado pelos modelos existentes (modelo linear, não linear ou de inovação aberta), propomos no item 3.2 o Sistema PETROBRAS de Inovação (SPI). Nesse modelo procuramos incorporar a discussão dos capítulos anteriores. Para complementar, o item 3.3 apresenta alguns exemplos de inovações arquitetônicas desenvolvidas no SPI com intensa troca de conhecimentos.

O capítulo 4 é dedicado às considerações finais.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O nosso ponto de partida é a percepção de que as inovações tecnológicas são realizadas para solucionar problemas e requerem conhecimentos formais e os adquiridos em pesquisas anteriores e mão de obra especializada (DOSI, 1988). Adicionando a isso, o fato de que as novas regiões geológicas descobertas para exploração de petróleo são de difícil acesso e contam com inúmeros problemas que inexistem tecnologias para supri-los. Torna-se razoável supor que a compreensão das etapas da inovação para exploração de petróleo, juntamente com o modelo de inovação que considera importantes aspectos da atividade e da teoria das trajetórias tecnológicas e das rotinas seguidas pelas empresas, constituem âncoras conceituais relevantes para o entendimento dos problemas da pesquisa em questão.

1.1. O Fator "Incerteza" das Inovações

O conceito e o processo de inovação sofreram grandes mudanças ao longo do tempo. Na proposta original de Schumpeter (1961), a inovação era um resultado da criatividade característica do empresário empreendedor, ou seja, do agente introdutor de mudanças técnicas que iniciam as transformações estruturais no sistema econômico. Em seus últimos trabalhos, o autor assume que esse papel foi incorporado pela grande empresa reestruturada em departamentos, em particular o de Pesquisa e Desenvolvimento. Independentemente do agente ativo, essas mudanças são a alavanca do progresso e do desenvolvimento econômico e social.

A partir dessa compreensão, alguns autores analisam a "produção de inovações" em função dos recursos e/ou capacidades (ativos e/ou conhecimentos técnicos) internas da firma, tratando o processo inovador a partir de uma perspectiva endógena. A disposição em se arriscar na busca por inovações é um comportamento advindo do próprio empresário, e possui forte relação com os tipos de recursos com os quais a firma trabalha:

> Eu tenho enfatizado a significância dos recursos com os quais uma empresa trabalha e no desenvolvimento de experiência e conhecimento do pessoal de uma firma porque esses são fatores que irão determinar em grande parte a resposta da empresa em relação às mudanças no mundo exterior e também determinar o que a empresa "vê" no mundo exterior (PENROSE, 1959, p.79-80).

No entanto ao longo dos anos essa perspectiva foi sendo revisada e ampliada. Em meados dos anos 80, apesar da inovação ser vista como um processo que se desenvolve em boa medida endogenamente, ganha destaque a perspectiva de que a inovação depende também da interação entre as atividades realizadas dentro das empresas e aquelas ligadas ao mercado, à criação de conhecimento, e atividades relacionadas ao fornecimento de bens, serviços e tecnologias (KLINE; ROSENBERG,1986). Assim, o conceito e o processo de inovação ganham nova interpretação e dimensão que os tornaram mais complexos (como discutiremos adiante), pois não apenas se cria e aplica um novo conhecimento, mas também se retroalimenta (cumulatividade do conhecimento) e recombina conhecimentos já existentes para criar, desenvolver, aprimorar ou aperfeiçoar produtos e processos. Neste conceito mais amplo de inovação, adotado neste trabalho, as empresas comandam e controlam (ao menos parcialmente) o processo de inovação crescentemente complexo, seja em termos da densidade dos requisitos técnico-científicos internos, seja em termo das necessárias parceiras externas que complementam os conhecimentos anteriores.

Por outro lado, a inovação é um processo inerentemente permeado por incertezas, pois é impossível determinar os resultados técnico-científicos e econômicos *ex-ante*. Inexistem garantias de que os investimentos em uma inovação alcançarão, em primeiro lugar, sucesso técnico (qualidade comparativamente superior do produto e/ou escala produtiva economicamente viável) e, posteriormente, êxito comercial no mercado (confrontado com outras – novas e velhas - tecnologias/produtos). Nessa perspectiva, o cálculo capitalista para avaliar se o investimento *ex-ante* será recompensado *ex-post* é permeado de incertezas (BAPTISTA, 1999).

No entanto, há diferentes graus de incerteza que envolve cada tipo de projeto de inovação e, portanto, a capacidade de estimar o sucesso e o retorno desses investimentos. Quando se trata de investimentos em inovação radicalmente nova (quando vige a incerteza forte), as informações são insuficientes para nortear um comportamento racional e os cálculos racionais são impossíveis. Se as mudanças são de pequena dimensão, ou seja, melhorias incrementais nos produtos e processos (incerteza é baixa), a avaliação dos prazos e dos retornos dos investimentos é menos difícil.

Há três distintos motivos pelos quais um projeto aufere um mau resultado: por suas incertezas técnicas, de mercado ou dos negócios (nesta última abrangem-se as incertezas políticas e econômicas). No caso da incerteza dos negócios normalmente se estimam gastos e

rentabilidades futuras do projeto para possíveis decisões e, por isso, conceitualmente mais aplicável em projetos de inovações em razão da distância temporal. Os demais tipos de incerteza não são calculáveis, de forma que seus riscos não podem ser avaliados nem eliminados (FREEMAN; SOETE, 1997).

Nos projetos de inovações, mesmo após vários testes e plantas-pilotos, incertezas técnicas ainda podem perdurar no início da produção inovativa. Assim, à medida que as características técnicas são mais bem definidas e superadas as deficiências e problemas técnicos, ou seja, maior a proximidade do projeto final, menor a incerteza associada à tecnologia. Assim, como a inovação não é um processo linear, podemos considerar diversos graus de incertezas, como proposto no Quadro 1.

Quadro 1 - Graus de incerteza associados a vários tipos de inovações

1- Incertezas verdadeiras	Pesquisa fundamental Inventos fundamentais
2- Níveis muito altos de incerteza	Inovações radicais de produtos Inovações radicais de processos realizados fora da firma
3- Altos níveis de incerteza	Importantes inovações de produtos Inovações radicais de processos obtidas no próprio estabelecimento ou contexto da firma
4- Incertezas moderadas	Novas "gerações" de produtos já existentes
5- Pouca incerteza	Inovações licenciadas Imitação de inovações de produtos Modificação de produtos e processos Adoção antecipada de processos já existentes
6- Muito pouca incerteza	Diferenciação de produtos Adoção tardia de inovações de processos já existentes e de operações flanqueadas no próprio estabelecimento Melhorias técnicas menores

Fonte: Adaptado de Freeman e Soete (1997).

No Quadro 1, as incertezas enumeradas de 1 a 3 referem-se às atividades de pesquisa e criação de um novo produto ou conhecimento e às inovações radicais. No item 4 o produto já existe e investe-se em "evoluções" das tecnologias, não necessitando de pesquisas que visam criar um novo produto, mas apenas modificar e desenvolver o já existente e aceito pelo mercado. Na inovação número 5 tem-se o processo de empresas imitadoras, aquelas que não investem fortemente em pesquisa para a criação de algo novo, mas sim, imitam as líderes de mercado que inovam. Por fim, no item 6 temos empresas que buscam tardiamente melhorias de processos e técnicas de produção e apenas procuram diferenciar produtos já existentes, criando por exemplo um *design* diferente, mas não lançando inovações consideráveis.

Dessa forma, a incerteza é gradualmente reduzida entre o primeiro e o último tipo de inovação, mas as empresas são incapazes de prever precisamente todos os resultados de cada um desses processos inovativos (FREEMAN; SOETE, 1997; cap. 10; NELSON; WINTER; 2005; RAPINI, 2013). Em suma, a incerteza caracteriza todo o processo de inovação, sendo importante não apenas nas decisões de investimentos, mas também na definição do tipo de estratégia inovativa de cada empresa e, consequentemente, nas funções científicas e técnicas internas que serão privilegiadas (FREEMAN; SOETE, 1997; cap. 11)

As decisões de inovar das firmas são balizadas tanto pelas oportunidades de mercado quanto pelas tecnológicas. Considerando os aspectos históricos (conhecimento acumulado) e a suas capacitações tecnológicas, as firmas buscam sobreviver no mercado. Para isso, adaptam-se às mudanças externas e promovem mutações no ambiente no qual se inserem. Por isso, a firma pode adotar diferentes estratégias. Freeman e Soete (1997) distinguem seis estratégias inovativas: i) Estratégias inovativas ofensivas; ii) Estratégias defensivas; iii) Estratégias inovativas imitativas; iv) estratégias inovativas dependentes; v) Estratégias Tradicionais e vi) Estratégias inovativas oportunistas. Para compreender como cada estratégia rege as decisões da firma, vamos caracterizá-las brevemente, dando ênfase nas relações entre estratégias e incerteza.

Nas estratégias ofensivas as firmas buscam introduzir novos produtos, antecipando-se no mercado em relação às suas concorrentes, de forma a buscar a liderança setorial. No que tange às pesquisas e desenvolvimento, estas firmas são altamente intensivas principalmente em pesquisas aplicadas e desenvolvimento experimental, precisando adotar, portanto, uma visão de longo prazo e se deparar com altos graus de incerteza. O processamento e a geração de informações atingem altos níveis, transformando tais informações e os conhecimentos

adquiridos em produtos e processos. Muitas vezes as empresas ofensivas registram patentes para invenções novas e secundárias que surgem ao longo do processo.

As firmas que adotam estratégias inovativas defensivas são responsáveis pelas maiores taxas de P&D industrial, além de serem capacitadas a alcançar em curto espaço de tempo – e por vezes, superar - os níveis técnicos estabelecidos pelas firmas com estratégias ofensivas. A firma normalmente opta por não incorrer no risco de pioneirismo das inovações, pretendendo entrar no mercado aberto pelas inovadoras - assim que o projeto tenha uma definição mais clara - e, ao mesmo tempo, usufruir dos erros cometidos pelas empresas que se arriscam a introduzir inovações à frente das demais. A estratégia defensiva, apesar de mais segura, pois reduz incertezas ligadas a introdução inicial de inovações, requer profundos conhecimentos técnicos internos já que a firma precisa adaptar-se e reagir às inovações e versões aprimoradas introduzidas pelas concorrentes. As suas atividades internas de P&D tentarão auferir agilidade e eficiência após a firma ter assumido os riscos.

Por outro lado, com estratégia imitativa as empresas procuram apenas acompanhar o mercado, absorvendo tecnologias introduzidas por outras, mas sem preocupação em alcançar as firmas líderes. Para adotar esse tipo de estratégia a firma precisa possuir vantagens de mercado, em geral em processos (baixo custo unitário de produção), para assim sobreviver e progredir. Muitas vezes essa é uma estratégia temporária, um passo para a firma buscar tornar-se um inovador dos tipos anteriores, especialmente da última classe. Nesse sentido, há a perspectiva de ampliação das atividades de P&D interna e de parcerias com outras empresas.

As estratégias dependentes levam as firmas a exercerem papéis subordinados, atuando como empresas-satélites das firmas maiores. Muitas vezes são fornecedoras de componentes e serviços, portadores de pouca ou nenhuma atividade de P&D. Por fim, quando as firmas são muito tradicionais, sem ímpeto para inovar, a estratégia é dita oportunista. Este tipo de firma não tem a necessidade de inovar para se manter no mercado, pois está balizado pelos costumes dos consumidores e tradição da empresa no mercado, portanto para se manterem no mercado essa firma utiliza muito pouco suas atividades científicas, isso quando elas existem.

Mesmo nos menores graus de incertezas retratados no Quadro 1, somente uma pequena parcela dos custos de P&D são financiados pelo mercado de capitais de forma direta. Se associarmos as inovações com a natureza das incertezas, entenderemos porque as firmas têm um grande incentivo a concentrarem suas atividades de P&D nas inovações defensivas,

imitativas, inovações de processos e diferenciação de produtos, deixando de correr os maiores riscos das inovações radicais. Há, portanto, uma menor disposição aos investimentos nos projetos de inovações mais radicais. Em geral, pode-se dizer que, em sua maioria, as firmas não conseguem realizar cálculos racionais para esses projetos, pois inexistem informações suficientes para nortear um comportamento racional. Em suma, elas são incapazes de prever precisamente todos os resultados de seu processo de inovação (FREEMAN; SOETE, 1997).

Num ambiente permeado por incertezas técnicas e de mercado, racionalidade limitada e assimetria de informação, as empresas podem adotar uma ou mais dessas estratégias na tentativa de incorrerem em menores riscos. Em outras palavras, é possível considerar mudanças nas estratégias, que podem depender tanto dos ramos industriais em que a firma atua, quanto de fatores históricos (trajetórias), políticas, etc.

A incerteza caracteriza todo o processo de inovação, sendo importante não apenas na escolha de estratégia da empresa como também nas suas decisões de investimentos. Neste trabalho assumimos que a PETROBRAS e seus parceiros avaliam os novos conhecimentos necessários aos seus projetos futuros, estabelecem planos (metas) para superar gradualmente as dificuldades tecnológicas e, dessa forma, reduzir as incertezas da atividade de inovação. Em outras palavras, a incerteza é minorada pela adoção de uma estratégia de "inovações de prazos mais curtos" por meio de programas com objetivos e parcerias previamente definidos. Como a empresa não está diretamente envolvida com a atividade de inovação, ao mesmo tempo em que ingressa em atividades de (P&D) que fogem de sua especialidade, ela divide os riscos da inovação, mas mantém o controle do processo.

1.2. A Rotina e os Processos de Busca e Aprendizado

Pode-se dizer que a perspectiva evolucionista[1] capta a impossibilidade de previsão perfeita dos resultados a serem auferidos por meio do processo inovativo, pois pressupõe a falta de pilares que sustentem a previsão perfeita dos resultados. Do ponto de vistas do investidor, as inovações são processos não anuláveis, pois não se revoga uma decisão de investimento em inovação sem custos aos tomadores da decisão. Frente à incerteza intrínseca à inovação, as

[1] A perspectiva evolucionista surge a partir da dificuldade que as teorias convencionais tinham em lidar com processos de mudança no cenário econômico. A teoria evolucionista busca, portanto, compreender o papel das mudanças tecnológicas no contexto econômico.

firmas possuem comportamentos mais defensivos e prudentes que se traduzem na forma de rotinas (CÁRIO, 1995).

Assim, para confrontar as incertezas do processo de inovação estabelecer mecanismos que tornam previsões possíveis (ao menos minimante), a firma cria comportamentos "rotineiros", ou seja, a firma constitui rotinas a partir daquilo que já executa bem e consegue compreender seus resultados. Os padrões de comportamento regulares e passíveis de previsões das firmas são chamados de "rotinas". As rotinas determinam, a qualquer momento e muitas das vezes de forma estocástica, uma lista de funções que a firma deve realizar de acordo com as variáveis internas e externas que a empresa enfrenta nas suas atividades regulares. Assim, como mecanismo de contornar as incertezas, muitas decisões são tomadas com procedimentos rotineiros (NELSON; WINTER, 2005).

As rotinas se caracterizam como firma-específicas e direcionam todo o processo de busca por recursos e habilidades técnicas e os próprios processos de aprendizado (DOSI, 1988; ROSENBERG, 1982; cap. 7). Todavia, se as rotinas levam a novos conhecimentos e aprendizados, mudam as capacitações e recursos das firmas, alteram as bases do conhecimento do processo de busca, acabam por redefinir as próprias rotinas. Em suma, como o próprio sistema, as rotinas e os mecanismos de busca são dinâmicos, ou seja, em constante mutação.

A atividade rotineira, que é a conduzida pelas rotinas que as firmas selecionam e seguem, diminui a incerteza do processo de busca. Esse processo, que determina a evolução da firma ao longo do tempo, é irreversível (NELSON; WINTER, 2005; cap. 11). Na atividade de busca são adquiridos novos conhecimentos e acumula-se aprendizado. Assim, quanto maior o conhecimento acumulado, mais facilmente podem ser solucionados os problemas que possam surgir ao longo do desenvolvimento de um projeto, mais rapidamente os problemas podem ser classificados em "de fácil solução" e naqueles que requerem mais conhecimentos ou novas alternativas, mais prontamente as buscas e os esforços podem ser direcionados para soluções promissoras. Em outras palavras, os novos desafios tecnológicos podem ser superados com mais presteza se houver conhecimentos disponíveis ou que possam ser prontamente acessados – acessar conhecimentos exige conhecimentos. Nessa perspectiva, as atividades rotineiras decorrem do processo evolutivo, de acúmulo de conhecimentos adquiridos na atividade cotidiana, mas podem ser insuficientes para gerar soluções aos novos problemas.

As rotinas que regem as ações de uma firma perduram historicamente. Elas podem ser notadas a qualquer momento e são uma consequência das técnicas que a empresa dispõe. As rotinas podem ser, portanto, caracterizadas pelo processo evolutivo que as configurou. É o que conduz a firma em suas decisões e funcionamento frente ao ambiente de mercado. Nesse sentido, a firma se orienta pelos costumes arraigados às suas habilidades e experiências, das suas atitudes recorrentes e do comportamento das rivais.

As rotinas podem ser de três diferentes tipos. As primeiras delas estão relacionadas com "características operacionais", ou seja, são as que regem um comportamento no curto prazo (relacionadas às variáveis como estoque de fábrica, equipamentos entre outros fatores que não podem ser alterados num curto período), podendo ser realizadas a qualquer momento. A segunda forma de rotina diz respeito ao estoque de capital empresarial, podendo aumentar ou diminuí-lo a cada período. Por fim, há as rotinas que levam as firmas a remodelar algumas das suas características operacionais durante o tempo (NELSON; WINTER, 2005). As rotinas podem ser modificadas ao longo do tempo, pautadas em diversas variáveis, como os gastos da firma com P&D, tamanho da empresa, entre outros aspectos que caracterizam a firma.

Para Dosi (1988), a inovação decorre de um processo de busca numa determinada base de conhecimento. Frente à incerteza intrínseca a atividade de inovação, as firmas adotam comportamentos rotineiros que tomam forma não apenas nas atividades de P&D, mas, também, por meio dos diferentes tipos de aprendizados - *learning by doing*, *learning by using*, *learning by interaction* e o *learnin by trying (*aprendizado auferido no processo de tentativas de reconfigurações de tecnologias vigentes para criar uma nova). (NELSON; WINTER, 2005, cap. 11). A atividade de busca conduzida por diferentes mecanismos de aprendizado (quando novos conhecimentos e informações são adquiridos) pode conduzir a outras descobertas, novas funções ou variações para as tecnologias já existentes. Essas rotinas são de suma importância para a atividade inovadora da firma, pois não só reduzem problemas associados ao desenvolvimento de um projeto, mas apontam novas oportunidades tecnológicas ou de mercado. "*O equipamento novo de hoje representa um conjunto de soluções dos problemas de projeto, e fornece um novo ponto de partida para a nova sucessão de esforços de pesquisa e desenvolvimento*" (NELSON; WINTER, 2005, p. 373).

Os esforços inovadores, portanto, levam a uma nova orientação de rotina baseada na busca de oportunidades e superação de desafios mercadológicos. As atividades rotineiras advêm de um processo evolutivo, ou seja, dos novos padrões que visam solucionar problemas

de mercado e do acúmulo de conhecimentos inerente a essas atividades. Nesse sentido, o processo de busca depende dos conhecimentos técnicos e científicos já existentes, ou seja, dos conhecimentos acumulados, e condiciona as possibilidades de longo prazo da firma, pois esses não são adquiridos de forma instantânea.

O progresso técnico possui, assim, duas características de suma importância: a cumulatividade e o caráter tácito tanto do conhecimento quanto da tecnologia. A cumulatividade é uma característica intrínseca do progresso técnico, surge de forma evolutiva ao longo do tempo da evolução do conhecimento sustentado pelos mecanismos de busca e das rotinas estabelecidas pela firma. Já o fator tácito está relacionado à natureza do conhecimento como um bem privado, "não público", que não pode ser adquirido ou transferido facilmente (em oposição ao conhecimento codificado).

> Segundo Michael Polanyi (1967), *tacitividade* se refere àqueles elementos do conhecimento, como *insight,* etc. que os indivíduos possuem e que são mal definidos, não codificados, não publicados, que eles mesmos não podem expressar plenamente, e que diferem de pessoa a pessoa, mas que podem, em medida significativa, ser partilhados por colaboradores e colegas que tenham a experiência em comum (DOSI, 1988, p.6-7).

Dessa maneira, o progresso técnico pode possuir capacidade de transferência altamente limitada e dependente de caráter histórico e temporal (BAPTISTA, 1999). Conclui-se, portanto que:

> (...) o processo de busca de firmas industriais visando incrementar a sua tecnologia não se verifica a partir do levantamento do estoque global de conhecimento de tecnologia antes de serem efetuadas suas escolhas tecnológicas. Dada sua natureza altamente diferenciada, as firmas procurarão, ao contrário, incrementar e diversificar a sua tecnologia pesquisando em campos que lhes permitam usar a sua base tecnológica previamente existente e construir a partir dela. Em outras palavras, as mudanças tecnológicas e organizacionais em cada firma são também, processos cumulativos. O que as firmas esperam realizar no futuro é condicionado fortemente pelo que ela tem sido capaz de fazer no passado. Uma vez reconhecida a cumulatividade e a natureza específica à firma de tecnologia, seu desenvolvimento ao longo do tempo deixa de ser aleatório, mas restrito a campos relacionados estreitamente com as atividades já existentes (DOSI, 1988(a), p. 225-226).

Pode-se notar que o processo de inovação tecnológica é determinado ao longo do tempo e as firmas baseiam-se em conhecimentos técnicos adquiridos historicamente. Os conhecimentos técnicos acumulados ao longo do tempo levam a firma a certas direções tecnológicas. Em outras palavras, os processos de busca e seleção de tecnologias determinam a

trajetória da firma. Como as rotinas que delimitam os dois processos anteriores são firma-específicas e decorrem de certas regularidades, o mesmo é valido para a trajetória da firma.

1.3. Paradigmas e Trajetórias Tecnológicas

Os conhecimentos adquiridos ao longo do tempo pela firma, que se expressam parcialmente nos níveis técnicos adquiridos pela empresa e nas tecnologias utilizadas, ditarão os rumos das mudanças técnicas possíveis. A evolução tecnológica, como dito anteriormente, é um processo histórico e segue determinadas características, já que segue uma certa regularidade, que pode ser compreendida *ex-ante*. A trajetória tecnológica surge como contornos de certo padrão da busca na solução de desafios tecnológicos. Pode-se dizer que uma trajetória tecnológica é uma forma de solucionar problemas técnico-econômicos por meio do uso continuado de conhecimentos técnico-científicos já adquiridos, ou seja, os esforços tecnológicos "caminham" em determinada direção. Assim, é possível também definir uma "trajetória" da inovação tecnológica em função de características técnicas e econômicas da firma (DOSI, 1982).

"*Definiremos a trajetória tecnológica como o padrão de atividade 'normal' de resolução de problema (isto é, do 'progresso'), com base num paradigma tecnológico.*" (DOSI, 1982, p.42). Este último, por sua vez, é definido como *"(...) um 'modelo' e um 'padrão' de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseados em princípios selecionados, derivados das ciências naturais, e em tecnologias materiais selecionadas.*" (DOSI, 1982, p.41). Faz-se aqui uma distinção, portanto, entre o progresso tecnológico "normal" e o "extraordinário". O paradigma tecnológico se coloca como um modelo de forma a romper com a "normalidade", ficando, assim, a trajetória tecnológica com "certa normatização do progresso". A trajetória tecnológica surge, no contexto do problema, como uma forma normal (leia-se normativa) para o avanço científico e técnico, que resultam da forma padrão e rotineira de buscar soluções aos obstáculos que surgem.

Em outras palavras, um paradigma tecnológico é um conjunto de procedimentos que guiam a investigação para solucionar um problema técnico, de forma a delimitar seu contexto, objetivo a ser alcançado, assim como os recursos a serem empregados. Ele age no sentido de excluir as possibilidades de progresso técnico, permitindo a redução do número de possibilidade de desenvolvimento tecnológico, de modo a direcionar os esforços. É, portanto, um conceito

demarcado pela cumulatividade do conhecimento tecnológico, assim como pelas oportunidades de inovação e pelas características assumidas pela interação entre ciência, tecnologia e produção. O grande problema das firmas diz respeito ao processo de seleção do paradigma tecnológico já que o papel da incerteza é inerente à atividade inovativa, tornando *ex-post* a possibilidade de comparação entre os possíveis caminhos de desenvolvimento tecnológico (KUPFER, 1996).

Os paradigmas e as trajetórias estão intimamente relacionados à dinâmica e as oportunidades tecnológicas da firma. Se considerarmos a sequência ciência → tecnologia → produção, um novo paradigma tecnológico diz respeito ao elo inicial, quando são introduzidas inovações radicais[2], pois são dependentes de avanços na ciência para solucionar as dificuldades encontradas pelas trajetórias tecnológicas. As trajetórias guiam as firmas por caminhos com certas delimitações do processo de busca, são elas que garantem a estabilidade de um paradigma. Quando as trajetórias enfrentam dificuldades incontornáveis e são desenvolvidos e/ou encontrados conhecimentos técnico-científicos novos, há uma ruptura do processo normativo e vigora um novo paradigma tecnológico. A trajetória tecnológica, por sua vez, está dentro dos limites de um paradigma, configuradas como uma atividade normativa de solução de problemas, normas (ou regras definidas pelo paradigma vigente) essas que delimitam os procedimentos e critérios a serem utilizados frente a uma dificuldade.

A trajetória tecnológica é a forma normativa de ação dentro de um paradigma, é um conjunto de possíveis rumos tecnológicos. As trajetórias tecnológicas possuem suas limitações e quando há necessidade de um 'salto' tecnológico, uma drástica mudança de hábito empresarial, a busca de novas direções tecnológicas serão consequências de esforços tecnológicos extraordinários ocasionados por novas oportunidades de desenvolvimentos científicos ou por dificuldades ou impossibilidade de continuar uma mesma trajetória tecnológica (DOSI, 1982).

O grau em que novas possibilidades são exploradas depende da trajetória tecnológica. Quando uma firma ingressa numa trajetória, ao definir novas rotinas nos processos de busca, ao mesmo tempo em que cria irreversibilidades técnicas, ela está procurando auferir maior competitividade (DOSI, 1982). Já que os padrões da atividade inovadora são cumulativos, a

[2] Inovações que causam grande impacto quando inseridas no mercado, dado o seu grau de inovação e diferenciação das tecnologias anteriores (vide item 1.5).

história da firma (suas atitudes e decisões passadas em relação às principais atividades) interfere de forma determinante nas suas trajetórias tecnológicas (PAVITT; 1984).

As atividades de inovações tecnológicas relacionadas à PETROBRAS são complexas e dotadas de interações entre as instituições. Essa dinâmica tecnológica pode ser representada pelo modelo de inovação não linear que, diferente do modelo linear, é capaz de explicitar o dinamismo das atividades inovativas, e leva em consideração as características do conhecimento – rompendo com a cadeia linear que considera apenas o caminho: Pesquisa → Desenvolvimento → Produção.

1.4. O Modelo de Inovação de Kline e Rosenberg

Entre os anos 50 e 80, a abordagem de inovação era governada pela ideia do processo linear de inovação, no qual a cadeia Pesquisa → Desenvolvimento → Produção era a única possibilidade do processo inovativo. Nessa perspectiva, o entendimento era de um processo hierárquico em que passava sucessivamente pelas etapas de pesquisa, desenvolvimento e produção. Assim, o processo é iniciado pela investigação fundamental, que constitui o início de um novo paradigma, não havendo, portanto, outros caminhos possíveis. Nesse modelo a inovação tinha origem na pesquisa e descoberta de uma nova tecnologia advindas da atividade de pesquisa e desenvolvimento (MARQUES; ABRUNHOSA, 2005). Entretanto, no início da década de 80, alguns autores sugeriram um novo modelo que desse sustentação às possibilidades das trajetórias tecnológicas dentro de um paradigma e incorporasse os efeitos cumulativos e retroativos do processo de inovação.

Rosenberg (1982) e Kline e Rosenberg (1986) levantam diversas críticas ao modelo linear vigente. Entre elas, ressaltam que o modelo linear distorcia a realidade do processo de inovação, pois considerava o processo inovativo com início apenas na investigação. Assim, as rotinas das firmas, as inovações técnicas que surgem na maioria das vezes pela recombinação de conhecimentos já disponíveis advindos de um processo histórico e cumulativo são desconsideradas. Na realidade, o processo de investigação é normalmente ativado quando o conhecimento acumulado se demonstra insuficiente para superar uma dificuldade. Outrossim, o modelo linear ignora o fato de muitas vezes o conhecimento tecnológico superar o científico. Ou seja, muitas vezes é o próprio progresso tecnológico que facilita o desenvolvimento

científico, possibilitando a ciência revigorar-se com o conhecimento técnico, em um efeito retroativo. Há também o fato do modelo linear não incorporar os efeitos de *feedback* ou retroativos que ocorrem durante o processo inovativo. No modelo linear não se considera o *feedback* do mercado à inovação, o que distorce a realidade já que essa retroação permite às firmas corrigirem possíveis erros do produto frente às expectativas do mercado, ignorando assim o fato de que uma inovação passa por um processo de experimentação (FORNARI; GOMES; MORCEIRO, 2014).

Kline e Rosenberg (1986) propõem um modelo que procura descrever as características do processo de inovação como a interação entre *design*, produção, mercado e agente externos. Os autores defendem que a inovação é um processo não linear que se retroalimenta. Como visto anteriormente, na visão linear a inovação decorre de um processo sequencial, iniciado pelas pesquisas científicas, cujos resultados são levados à esfera produtiva e, posteriormente, ao mercado. Nesse sentido, essa perspectiva não considera nem a retroalimentações dessa atividade, nem as contribuições de outros agentes. Já na perspectiva do modelo não linear, a etapa de *design* toma o lugar da pesquisa, e é inserida a etapa de *redesign* que capta os mecanismos de *feedbacks* do processo inovativo, para melhor representar a interatividade do processo.

Destaca-se nesse contexto que:

> A constatação de que os investimentos em P&D não levariam automaticamente ao desenvolvimento tecnológico e de que nada estaria garantido apenas pela invenção de novas técnicas, deixou evidente a emergência das abordagens não lineares ou interativas (CONDE; ARAÚJO-JORGE, 2003, s/p.).

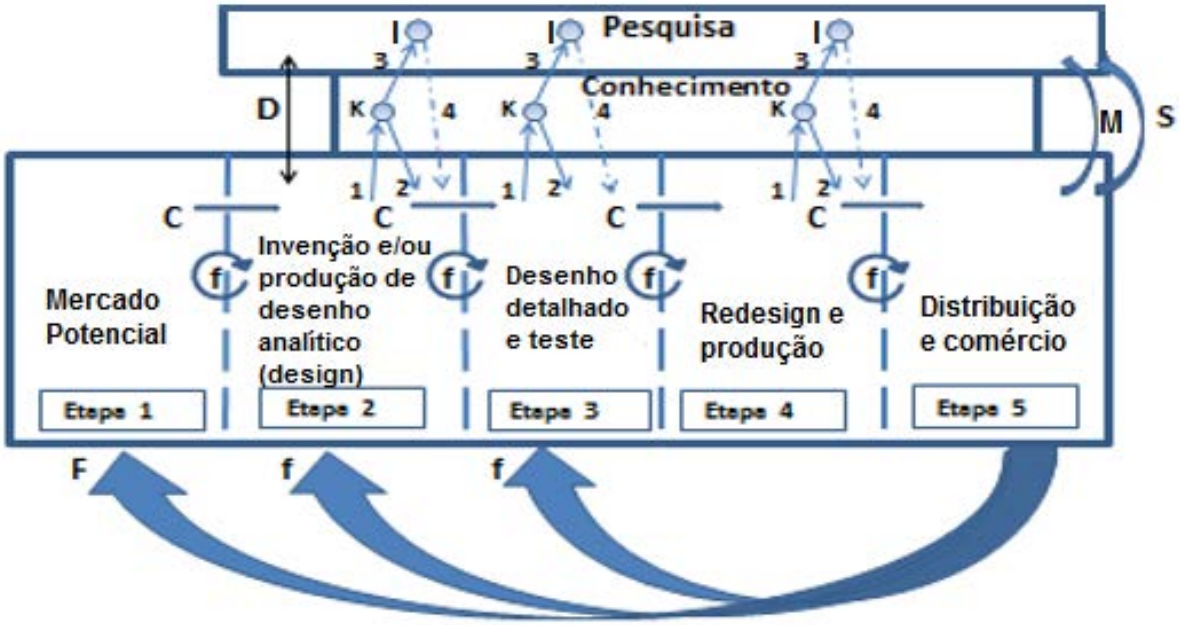
Kline e Rosenberg (1986) propõem um modelo capaz de combinar interações tanto no interior das empresas quanto entre outras empresas ou instituições de pesquisas. Esse modelo abrange cinco importantes elementos do processo de inovação: o mercado potencial, a invenção ou projeto inovativo, os testes e detalhamento do projeto, o *redesign* e a produção e, por fim, a distribuição e comércio. Estas "etapas" configuram cinco caminhos principais de atividades não necessariamente sequenciais.

A própria relação usuário-produtor pode ser apresentada pelos efeitos de *feedback*, no qual o usuário repassa informações sobre o uso e aperfeiçoamentos da inovação ao produtor. Além disso, outra importante relação apresentada desse modelo de inovação é o acesso das

firmas às competências técnicas dos agentes externos. Essas fontes não só diversificam as fontes de produção de conhecimentos técnicos, ou seja, criando "integração vertical" ou ampliação das bases internas, para acessar, agregar, complementar e aplicar a habilidades voltadas à inovação (FORNARI; GOMES; MORCEIRO, 2014).

Na perspectiva desse processo interativo, os cinco caminhos propostos pelo modelo de Kline e Rosenberg (1986) podem ser esquematizados da seguinte maneira:

Figura 1 - *Chain-linked Model* e os fluxos de informação e cooperação



Legenda: C= cadeia central de inovação; f= efeitos de *feedback* ou de retroação entre fases; F= efeito importante de retroação, entre as necessidades do mercado e utilizadores de inovação e as fases do processo de inovação; D= ligação direta entre a investigação e a fase inicial da invenção/realização do projeto analítico; M= apoio dos instrumentos, máquinas, ferramentas e procedimentos tecnológicos na investigação científica; S= apoio governamental à investigação; K e I= ligações entre conhecimento (K) e investigação (I) em ambos sentidos.

Fonte: Adaptado de Kline e Rosenberg, 1986.

O primeiro caminho, conhecido como a cadeia central de inovação (C) é o único similar ao modelo linear. Inicia-se pela percepção de uma oportunidade econômica, ou seja, a existência de um mercado potencial. Essa percepção promove a invenção ou a criação de um projeto por vezes através de conhecimentos já existentes de um produto. Seguem-se as fases de desenvolvimento, produção e comercialização. A segunda dimensão do processo de inovação está baseada nos efeitos de *feedbacks* ou retroação (f e F). Eles pressupõem rever ou reconfigurar o projeto inicial e/ou a especificação do produto de cada etapa.

O terceiro rumo da atividade inovativa refere-se à cadeia central (C) e suas inúmeras ligações, além do conhecimento acumulado durante os períodos (K) e de novos conhecimentos (I). As firmas normalmente inovam utilizando-se de seus conhecimentos adquiridos ao longo do tempo (setas 1 e 2). Frente a um novo problema as firmas buscam resolvê-los com seus conhecimentos adquiridos (1), quando isso não é possível, recorre-se às novas pesquisas (3). Diante das possíveis dificuldades para se obter soluções via novas investigações, pode-se, porém com certa dificuldade, retomar a tentativa de obtê-las de forma empírica (4). Dessa forma, as inovações não se relacionam à ciência apenas no início da atividade, mas em todo o decorrer do processo à medida que novos desafios surgem.

No quarto caminho possível, as ligações definem os rumos da ciência na inovação radical (D). Esse tipo de inovação é pouco frequente, entretanto provoca fortes mudanças quando realizado. É o início de um novo paradigma tecnológico, uma ruptura com as trajetórias e rotinas da firma frente a um novo problema. Por fim, o quinto caminho (M) indica o *feedback* dos produtos da inovação em relação à ciência. Mostra como essa inovação é recebida pelo mercado e se há uma necessidade de reajustes.

O modelo de ligações não linear, portanto, enfatiza os mecanismos de *feedbacks* do processo de inovação e a interação entre os agentes. Em seus vários caminhos, o processo leva à inovação radical em apenas um deles. Dessa forma, podemos compreender a importância dos aspectos históricos e tácitos do conhecimento e de todo o processo de forma dinâmica dentro de um mesmo paradigma tecnológico. As trajetórias tecnológicas são apresentadas como possíveis caminhos ao enfrentamento de um problema, de modo que a firma pode lidar de forma normativa na busca de soluções. Dessa forma, compreendido os mecanismos do processo inovativo, torna-se importante compreender quais são os possíveis tipos de inovação.

1.5. Inovações Radicais, Incrementais e Arquitetônicas

A inovação possui um caráter de busca por solução de problemas técnico-econômicos, como dito anteriormente. O processo de busca de soluções para direções particulares pode ser dirigido por meio das metas traçadas, oportunidades surgidas ou problemas recorrentes. Tais mecanismos, que guiam a evolução capaz de suprir os gargalos, focam nos principais pontos fracos para um melhor aperfeiçoamento da tecnologia (ROSENBERG, 1982). A tecnologia

nem sempre necessita do avanço da ciência, pois várias inovações são realizadas a partir de conhecimentos tecnológicos existentes, seja advinda das atividades rotineiras e conhecimentos tácitos da firma, seja acessando conhecimento externo (FURTADO; FREITAS, 2004).

As inovações podem ser realizadas através de distintas organizações, podendo ser classificadas como radicais, incrementais ou arquitetônicas. A inovação incremental baseia-se na melhoria de uma tecnologia já existente, em contraposição a radical que engendra rupturas mais severas frente a um problema tecnológico (OCDE, 2005).

As inovações radicais causam impacto sobre o mercado no qual se inserem, podendo causar grandes fissuras na dinâmica da competição existente. Essas inovações se caracterizam por lançamentos de novos produtos, processos, formas de organização da produção e de comercialização e distribuição, que representam uma ruptura estrutural do padrão tecnológico anterior. Em geral elas advêm de atividades definidas de P&D, com altos riscos e retornos elevados (FREEMANN, 1988). No modelo não linear, apresentado na seção anterior, refere-se ao caminho "D", no qual o processo inovativo parte da pesquisa.

Uma inovação radical produz uma descontinuidade no desempenho empresarial, ela cria uma nova rede de valores (novos agentes e nova hierarquia entre eles) já que exige capacitações da firma que se estende para além do âmbito técnico. Assim, a capacidade da empresa de se engajar em novas estratégias de competitividade está relacionada à sua capacidade de inovação (ROSENBLOOM; CHRISTENSEN, 1998).

As inovações incrementais, por sua vez, se relacionam aos esforços rotineiros de aperfeiçoamento dos produtos, processos, formas de organização da produção e de comercialização e distribuição já existentes, na busca por melhorias no produto e na redução dos custos de produção. São processos relativamente contínuos, que buscam nas atividades rotineiras da firma uma solução, não produzindo alterações na estrutura industrial de monta, já que incorporam menores mudanças técnicas, pois decorrem de melhorias e aprimoramentos de tecnologias já utilizadas. Possuem, portanto, menores riscos e incertezas fracas quando comparados às inovações radicais (FREEMANN, 1988).

As inovações arquitetônicas são reconfigurações de tecnologias já existentes, que passam por uma mudança na relação dos itens que compõem o produto, desde que o projeto mantenha seus principais conceitos inalterados (TUSHMAN; O'REILLY, 1997). Em essência,

as inovações arquitetônicas podem ser decorrentes da junção de duas ou mais tecnologias, mantendo seus projetos dominantes, mas reconfigurados para suprir os novos requisitos técnicos.

Henderson e Clark (1990) utilizaram o termo "inovação arquitetônica" para caracterizar inovações que utilizaram grande parte dos conceitos iniciais de projetos essenciais em uma nova organização arquitetônica. Essas inovações representam menores desafios – e incertezas – para as empresas por se tratar de reconfigurações de tecnologias existentes, utilizando-se de conhecimentos já disponíveis para as firmas. Normalmente são inovações que redefinirão as funcionalidades existentes procurando suprir as necessidades de desempenho diferenciado das tecnologias. Nesse sentido, quando este tipo de inovação alcança o mercado representa o surgimento de uma nova trajetória tecnológica. Deve-se ressaltar que as novas características de uma inovação arquitetônica advêm de conhecimentos já existentes sobre determinadas tecnologias que recombinadas criam soluções novas (MORAES, 2000).

O Quadro 2 procura confrontar os diferentes tipos de inovação:

Quadro 2 - Diferenças entre os tipos de inovações

Implicações	Tipo de Inovação		
	Inovação Radical	**Inovação Arquitetônica**	**Inovação Incremental**
Competências e mercados existentes	**Ruptura**	**Novas ligações**	**Evolução**
Principais conceitos do projeto inicial	**Substituídos**	**Reforçados**	**Reforçados**
Ligações entre os principais conceitos e os componentes do produto	**Alterados**	**Alterados**	**Inalterados**

Fonte: Adaptado de Henderson e Clark (1990, p.12).

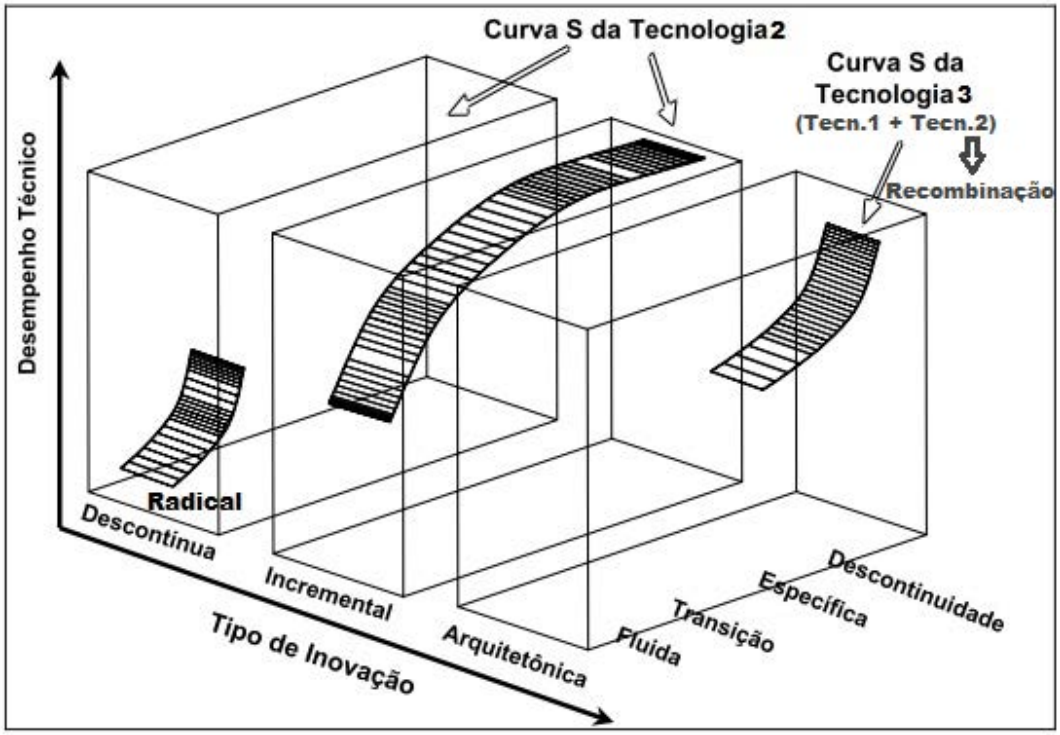
Segundo Tushman e Anderson (1986), a trajetória de uma tecnologia inicia-se com uma descontinuidade tecnológica, ou seja, principia-se em um período de surgimento de não apenas uma nova tecnologia que substituirá a tecnologia antiga, mas também de busca tecnológica e de competitividade entre as empresas. O primeiro período termina quando um projeto dominante ou um novo padrão industrial é criado. Os autores observam, porém, que a maioria das empresas que potencialmente adotarão uma nova tecnologia irá fazê-lo quando surgir um

novo padrão setorial. Assim, os primeiros adotantes de um novo padrão poderão usufruir dos benefícios e vantagens do pioneirismo, como a redução de custo e os avanços na experiência da firma, mas estarão sujeitos a maior grau de incerteza.

Após essa fase, definido um projeto dominante, inicia-se a fase das inovações incrementais e arquitetônicas. Na fase incremental esse novo projeto será mais bem desenvolvido, buscando uma evolução sem alterar seus conceitos e componentes principais. Nesta etapa, conduzidos pelas rotinas das empresas, ocorrem os esforços para melhorar, aperfeiçoar e ampliar a qualidade e o desempenho da tecnologia.

Quando a empresa se depara com novos obstáculos ou novas oportunidades, a necessidade de superar os desafios leva à busca de avanços técnicos. Para evitar as incertezas relativas às soluções tecnológicas radicalmente novas, a empresa pode optar apenas por reconfigurar a tecnologia já desenvolvida. Essa inovação arquitetônica não romperá a ligação entre os principais conceitos do projeto dominante e seus componentes, mas origina uma nova arquitetura a esses últimos, seja por recombinar seus componentes, seja por uma combinação de duas ou mais tecnologias já dominadas para suprir a necessidade existente, sem criar um novo projeto dominante.

Figura 2 - Relação ente os tipos de inovação e as fases do ciclo da tecnologia



Fonte: Adaptado de Moraes, 2000.

A Figura 2 confronta os três tipos de inovação mencionados. Suponha que já exista uma tecnologia 1(antiga) e que tenha sucesso a decisão de investir de uma empresa em uma nova tecnologia (2) visando obter lucros extraordinários. O sucesso do novo projeto (2) promove uma descontinuidade tecnológica que caracterizará a inovação radical - primeiro "cubo" da Figura 2. Introduzida a inovação a empresa concentrará os esforços na evolução dessa nova tecnologia, sem descaracterizar o conceito principal, ou seja, desenvolvendo inovações incrementais – segundo "cubo" da Figura 2. Por fim, suponha que frente a um novo gargalo tecnológico, a empresa não queira assumir grandes riscos e opte por utilizar o conhecimento acumulado com as tecnologias 1 e 2. Se as características técnicas das duas tecnologias favorecerem, a empresa pode recombinar as duas tecnologias, de forma a criar a tecnologia 3, caracterizando a inovação arquitetônica - terceiro "cubo" da Figura 2. Ressalte-se que a inserção das tecnologias 2 e 3 promovem descontinuidades, mas os graus de incertezas são distintos.

A PETROBRAS, inserida num cenário de incerteza atrelada à necessidade de desenvolvimento técnico para superar os desafios de produção em águas profundas, concentra sua estratégia de inovação nas atividades de inovações arquitetônicas (FURTADO, 1996) numa tentativa de diminuir os custos, os prazos e os riscos frente às dificuldades apresentadas pelo mercado *offshore*. Em parceria com empresas e universidades, baseada numa interação de conhecimentos e da cumulação do aprendizado, a petrolífera conseguiu significativos avanços na exploração de hidrocarbonetos em águas ultraprofundas, o que a colocou em posição de destaque como líder do setor *offshore*.

CAPÍTULO 2: OS DESAFIOS TECNOLÓGICOS PARA A EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO *OFFSHORE*

Apresentada a base teórica da qual a pesquisa parte, compreender a importancia e aplicação do petróleo (seus derivados) e do gás natural para a economia de um país. Nesse capítulo sarão apresentadas também as etapas da produção petrolífera e dos principais equipamentos utilizados nessas etapas. Um breve histórico tecnológico da PETROBRAS é essencial para captar os esforços da empresa no mercado *offshore*.

A pesquisa é baseada numa metodologia qualitativa, na qual mapeou-se, através de bibliografias e relatórios de inovação da PETROBRAS, as principais inovações voltadas ao segmento *offshore.* Nesse mapeamento apreseta-se as empresas e centros de pesquisas que realizaram as inovações apontadas como principais para produção petrolífera em águas profundas assim como os maiores desafios enfrentado pela empresa na atividade produtiva na região do Pré-sal.

2.1. Metodologia de Pesquisa

Após apresentado os pilares teóricos que fundamentam essa pesquisa, essa seão é dedicada a descrever, brevemente a metodologia utilizada no estudo. Para sanar o objetivo da pesquisa em compreender os desafios da produção petrolífera em águas profundas e as soluções técnicas que a empresa tem buscado. A PETROBRAS possui uma rede de cooperação para viabilizar e diminuir custos, incertezas e tempo de projeto para realizar as inovações.

A pesquisa é baseada numa metodologia qualitativa, que busca via bibliografias e, principalmente num estudo dos relatórios da PETROBRAS, analisar e listar os principais desafios de produção de petróleo e gás natural na região geológica do pré sal. Pontuados os desafios, buscou-se relacionar quais os esforços técnicos e inovações foram e estão sendo realizadas para superá-los.

Para além, após identificar os desafios e as inovações, faz-se uma compreensão relacionando as principais inovações realizadas para sanar os gargalos técnicos do mercado *offshore*, pontuando o ano das inovações, qual a novidade em termos técnicos que cada uma

apresenta, os ganhos econômicos e as empresas e universidades parceiras envolvidas na atividade inovativa.

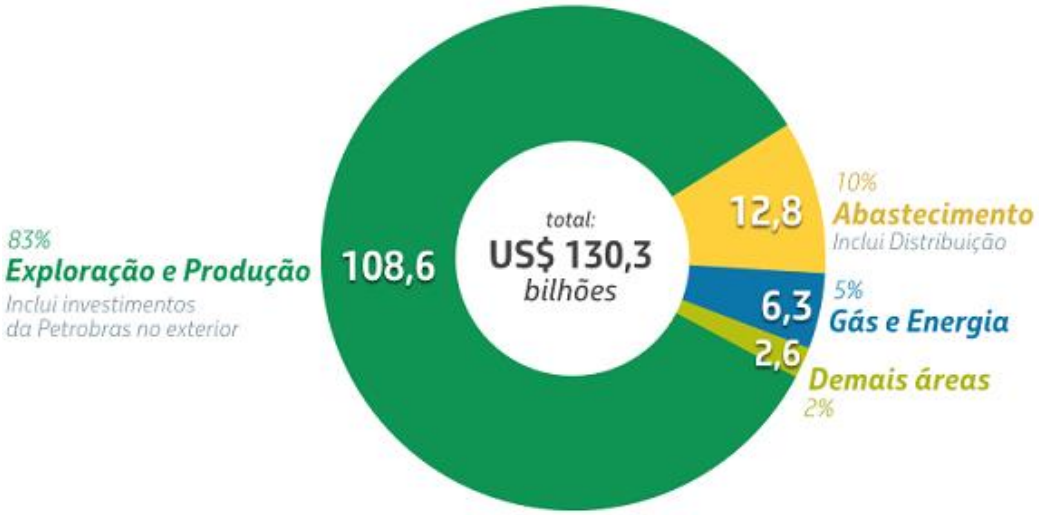
Visando uma melhor distinção e compreesão de como funciona a o Sistema PETROBRAS de Inovação que é, nossa principal contribuição com essa pesquisa, o recorte metodológico foi realizado distinguindo três esferas envolvidas na atividade de inovação. A esfera PETROBRAS, a esfera das empresas parceiras, que compreende as empresas particulares, nacionais ou não, que realizam atividades de P&D e/ou produção de uma inovação, e, por fim, a esfera das universidades e centros de pesquisa, na qual incluimos universidades nacionais ou não, e centros de pesquisas que realizam atividades de P&D para suprir as necessidades técnicas da PETROBRAS, como o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes).

A PETROBRAS possui, atualmente 1.145 termos de cooperação com instituições brasileiras e 173 termos de cooperação com instituições estrangeiras, além da cooperação de 100 universidades e institutos de pesquisas no Brasil e 35 no exterior. No ano de 2014 foram investidos U$ 323,64 milhões (de dólares) em universidades e instituições parceiras. A PETROBRAS tem se demostrao um grande atrativo de empresas para o Brasil visando termos de cooperação para atividades inovativas, o que foi considerado na pesquisa num mapeamento geográfico de algumas empresas que se instalaram na Ilha do Fundão no Rio de Janeiro próximo ao Cenpes.

O Cenpes, desempenhando seu papel de centro cativo da petrolífera – com participação acionária majoritária do governo federal, volta-se ao atendimento da PETROBRAS como seu cliente preferencial. O centro de pesquisa não possui política de realização de contratos para terceiros, recebe clientes a procura de seus serviços de P&D, caso o projeto demandado não tenha impacto nos negócios mantidos com a PETROBRAS, e na ausencia de questões sensíveis, o projeto demandado por terceiros pode ser realizado.

A PETROBRAS conta, atualmente, com 798.596 acionistas, e está presente em 17 países, tem investido cada vez mais em instituições técnico-científicas com a finalidade de fornecer P&D à empresa, esse gasto é em torno de U$ 1.200.000,00 (um bilhão e duzentos milhões de dólares) por ano. Os investimentos da petrolífera têm se concentrado, cada vez mais, nas atividades voltadas à exploração e produção de petróleo, como podemos ver no gráfico 1, na demonstração do Plano de negócios da PETROBRAS para os anos de 2015 a 2019.

Gráfico 1- Plano de Investimento (por atividade) da PETROBROBRAS 2015-2019 (em bilhões de dólares e %)

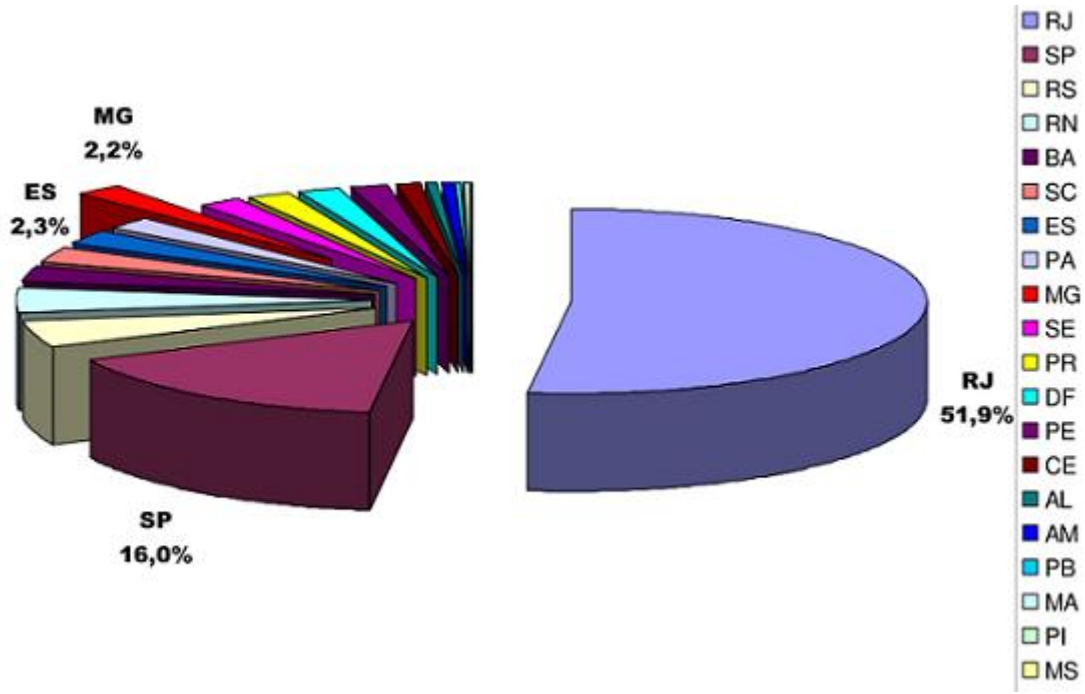


Fonte: PETROBRAS, 2015(a).

A grande taxa de investimentos futuros na atividade de exploração e produção visa dar prioridade ao Pré-sal. Essa, pesquisa, seguindo as prioridades da PETROBRAS, baseou-se em compreender as dificuldades de exploração nessa região geológica e os esforços que vem sendo desenvolvidos para suprir essas necessidades, dado que o investimento da empresa é altamente concentrado nessas atividades e, para além, mais de 80% dos investimentos futuros serão destinados à exploração e produção.

Além das altas taxas de investimento nesse âmbito, a Petrolífera demonstra, em seus resultados financeiros que no que concerne aos investimentos em P&D, tanto para centros de pesquisas quanto para universidades, a concentração geográfica é visível. Sendo, no ano de 2009, mais de 51% voltado à organizações do estado do Rio de Janeiro, seguido por 16% para as organizações instaladas no estado de São Paulo (COSTA, 2010), como pode-se perceber no gráfico 2.

Gráfico 2- Investimento da PETROBRAS em Instituições de Ciência & Tecnologia em 2009 (por unidade de federação; % do valor total do invesimento)

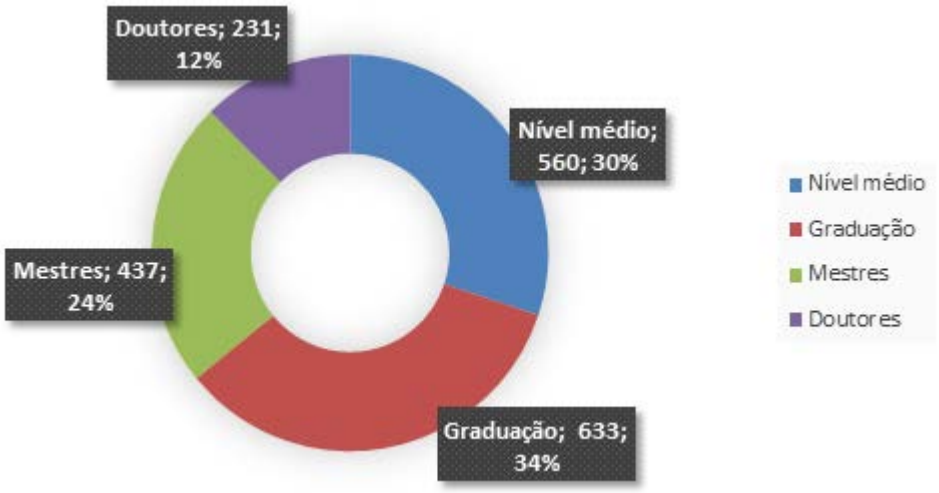


Fonte: Costa, 2010.

Dessa forma, além desse estudo voltar seus esforços na atividade relativa à extração e produção petrolífera no Pré-sal, o principal foco são as organizações que realizam as atividades de P&D para a PETROBRAS, com inovações que buscam superar os desafios do Pré-sal, presentes no estado do Rio de Janeiro. Entre essas organizações, consideramos como cerne dessas organizações voltadas á atividade inovativa o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (Cenpes) localizado na Ilha do Fundão na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O Cenpes, por sua vez, conta, atualmente, com 1.861 empregados, de vários níveis de escolaridade. São: 560 empregados que estudaram até o nível médio, 633 graduados, 437 mestres e 231 doutores. Como apresentado no gráfico 3:

Gráfico 3- número de empregados do Cenpes (por grau de escolaridade)



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da PETROBRAS (2015; b).

O Cenpes, portanto, além de estar situado em uma região estratégica pela sua proximidade com a Universidade Federa do Rio de Janeiro, acaba por funcionar como um atrativo de empresas que visam a troca de conhecimentos e informações, e a parceria com centros de pesquisas e universidades para realizar a atividade inovativa demandada pela PETROBRAS. O Rio de Janeiro, dessa forma retém grande parte dos investimentos em P&D da petrolífera e apresenta-se como parque tecnológico importante à atividade *offshore*.

Assim, nessa pesquisa, a concentração dos investimentos em P&D na região do Rio de Janeiro, somada à presença do Cenpes como importante centro de pesquisa principalmente voltado à superar os desafios do Pré-sal (que essa pesquisa visa compreender), e a alta capacitação dos empregados do Cenpes que funcionam como atrativos à empresas buscando parcerias com universidades e centros de pesquisas para suprir as demandas da PETROBRAS, apresenta o recorte metodológico do estudo em questão.

2.2. Etapas da Produção Petrolífera

Os derivados do petróleo são empregados em grande parte das atividades humanas. O consumo final energético no mundo é distribuído da seguinte forma: derivados do petróleo (42,3%), constituindo os recursos mais consumidos mundialmente, eletricidade (16,2%), gás natural (16,0%), energias renováveis (13,7%), carvão mineral (8,4%) e outras fontes (3,5%)

(IEA, 2007). Para mostrar a importância do bem, o Quadro 3 apresenta alguns dos derivados do petróleo e suas aplicações:

Quadro 3 - Principais Derivados do Petróleo e suas Aplicações

Nomes das frações derivadas do petróleo	Aplicação
Gás Natural	Combustível e matéria-prima na síntese de compostos orgânicos e na fabricação de plásticos.
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	Combustível, gás de cozinha e matéria-prima na síntese de compostos orgânicos e na fabricação de borracha.
Éter de Petróleo	Solventes em lavagens a seco.
Benzina	Solventes orgânicos.
Nafta leve ou Ligroína	Solventes e matéria-prima na indústria petroquímica.
Gasolina	Combustível de motores de explosão.
Querosene	Iluminação, solvente, combustível doméstico e combustível para aviões.
Óleo Diesel	Combustível de ônibus e caminhões.
Óleo Lubrificante	Lubrificantes de máquinas e motores.
Vaselina	Lubrificantes, pomadas, cosméticos e indústria alimentícia.
Parafina	Velas, cosméticos, alimentos, impermeabilização e revestimentos de papel.
Asfalto	Pavimentação de ruas e calçadas, vedação de encanamentos e paredes, impermeabilização

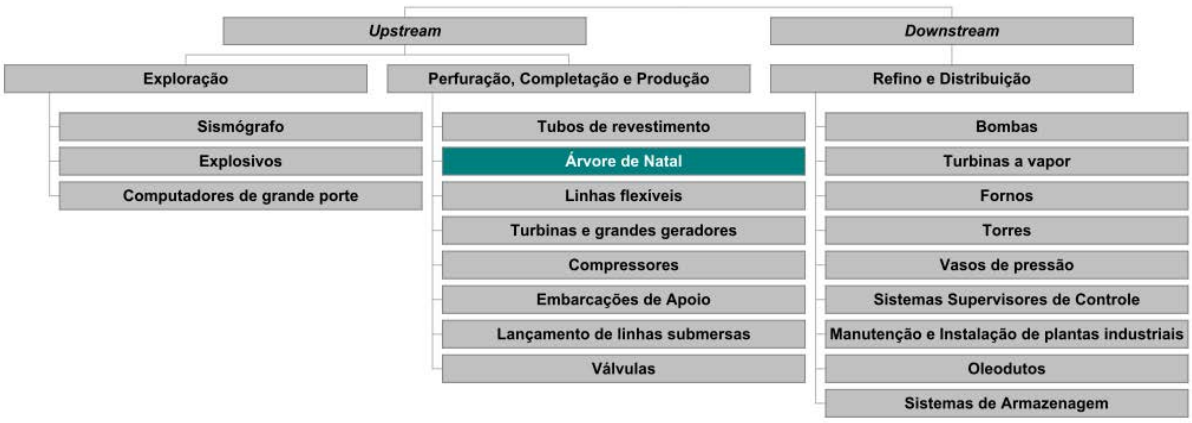
	de cascos e embarcações, adesivos em laminados elétricos e revestimentos antioxidantes.
Choque de Petróleo (Resíduo sólido da destilação destrutiva)	Redução de ferro em alto-forno, revestimento de fornos refratários, obtenção de alumínio e como fonte de gás.

Fonte: Adaptado de Brasil *et al*., 2011.

Os dados da *International Energy Agency* mostram que o petróleo é ainda a fonte mais relevante na oferta global de energia, seguido pelo gás natural. Os maiores produtores de petróleo são os EUA, a Rússia e a Arábia Saudita, mas as maiores reservas se concentram em países do Golfo Pérsico. No entanto, as explorações dessas reservas estão situadas em regiões de constantes instabilidades políticas e conflitos, influenciando negativamente o preço e o abastecimento mundial de petróleo (SANTOS *et al*., 2013). Os altos preços do petróleo levaram à busca de novas tecnologias energéticas e de possibilidade de exploração de novas reservas petrolíferas.

A atividade petroleira engloba duas etapas distintas do processo de extração e produção (GIELFI, 2010): a *upstream* e a *downstream.* A etapa de *upstream* se caracteriza por duas fases distintas: (1) exploração; (2) perfuração, completação e produção. Essa segunda fase, por sua vez, engloba as maiores dificuldades tecnológicas para extração de petróleo e gás em águas profundas. A etapa de *downstream* é composta pelo transporte, refino e produção petrolífera. A Figura 3 evidencia as fases de *upsteam* e *downstream*, assim como as atividades realizadas em cada uma delas e as principais tecnologias utilizadas nessas fases produtivas.

Figura 3 - Caracterização das Fases e dos Equipamentos Usados na Cadeia Produtiva da Indústria Petrolífera.



Fonte: Gielfi (2010).

A atividade de exploração reúne várias etapas; a primeira delas é a de estudos geofísicos que visa descobrir e demarcar jazidas de petróleo ou gás natural. Nessa fase são necessários computadores, submarinos (robôs) e explosivos, visto que somente após a perfuração do poço torna-se possível certificar se há, de fato, petróleo no local.

A etapa de perfuração, completação e produção, é quando se realiza a perfuração do poço, deixando-o apto à instalação de equipamentos para uma produção permanente de petróleo. No segmento *offshore*, a atividade de maior custo é a perfuração do poço que pode levar meses. A completação é a fase seguinte à perfuração, na qual se equipa o poço para a produção de petróleo ou de gás, é a configuração dos equipamentos instalados no poço para a produção ou injeção de fluidos. Há dois tipos diferentes de tecnologias nessa atividade: "seca" se a cabeça do poço está posicionada na plataforma; ou "molhada", se está no fundo do mar (CRUZ, 2010 *apud* GIELFI, 2010).

Os principais materiais e equipamentos utilizados na segunda fase da produção são os tubos de revestimento, "árvores de natal", linhas flexíveis, turbinas, grandes geradores e compressores, além dos serviços de perfuração e cimentação de poços, o afretamento de embarcações de apoio e o lançamento de linhas submersas (GIELFI, 2010). Na etapa *downstream* (figura 3) o óleo cru extraído é transportado às unidades de refino. Essas unidades produzem os derivativos do produto.

Apresentadas as etapas do processo extrativo e produtivo do petróleo e do gás, passamos ao desenvolvimento do setor e de suas inovações. Para Furtado (1996), o desenvolvimento do setor petrolífero foi permeado por processos de ampliação da profundidade aquática de extração, tornando necessário o desenvolvimento de novas tecnologias. A necessidade de exploração em profundidades cada vez maiores requereu novos tipos de plataformas não fixas, juntamente com a tecnologia de completação molhada. O sistema de produção flutuante (SPF) substituiu as plataformas fixas e, posteriormente, a tecnologia da árvore de natal molhada[3] (ANM) deu condições à exploração *offshore.* A árvore de natal molhada foi uma tecnologia coordenada pela PETROBRAS para exploração da bacia de Campos (GIELFI, 2010).

2.3. Breve Histórico das Tecnologias da PETROBRAS

Os países periféricos normalmente são receptores de tecnologias, principalmente em setores de tecnologias de ponta. Mesmo absorvendo tecnologias externas, devemos considerar os esforços tecnológicos que resultam em inovações de natureza incremental e arquitetônicas. Tais esforços se refletem na introdução de melhorias e na redefinição dos componentes para suprir as necessidades tecnológicas. Esses tipos de inovações se definem sobre bases tecnológicas bem desenvolvidas, determinantes de um tipo de trajetória tecnológica próprias aos países em questão (FURTADO, 1996).

Os padrões evolutivos seguidos pelas firmas que atuam na transformação e utilização de novas tecnologias são denominados de trajetórias tecnológicas. Tais padrões se definem pelas formas encontradas para se solucionar problemas levando em consideração o contexto de um paradigma tecnológico (FURTADO, 1996).

A indústria petrolífera teve a sua origem na Segunda Revolução Industrial, mas no pós-guerra passou por um período de queda de rendimentos. Os custos de exploração de petróleo aumentavam desenfreadamente, principalmente pelas reservas que estavam sendo descobertas em áreas que requeriam novos métodos para sua exploração. O setor foi revigorado com o desenvolvimento de tecnologias de informação que traçavam um novo paradigma tecnológico e econômico para o setor. A descoberta de petróleo em águas profundas tem elevado ainda mais

[3] Sistema posicionado no fundo do mar composto por válvulas conectadas ao poço e à unidade de produção na superfície do mar. Estas válvulas permitem o controle do fluxo de produção de petróleo e gás, do poço para a superfície, assim como a injeção de líquido e gás.

os interesses da indústria petroquímica apoiando-se nos avanços tecnológicos obtidos (FURTADO, 1996).

> Se a trajetória tecnológica de um país periférico como o Brasil ocupa uma posição de destaque na evolução da tecnologia *offshore* é porque esse processo de regeneração da indústria do petróleo passa por uma redinamização de bases técnicas existentes, muito mais do que por saltos ou grandes descontinuidades tecnológicas (FURTADO, 1996, p.5).

No Brasil, em 3 de outubro de 1953, a Lei para criação da PETROBRAS foi assinada pelo então presidente Getúlio Vargas. Encerrou-se, com isso, o debate político e ideológico sobre os limites da participação do capital privado nacional e estrangeiro na produção petrolífera e sobre as fronteiras do papel do Estado na exploração de petróleo no Brasil. Por fim, aqueles que defendiam um maior controle do Estado sobre as atividades petrolíferas conseguiram, em 21 de setembro de 1953, via Lei nº 2.004/53, a possibilidade da criação de sociedade por ações da Petróleo Brasileiro S.A (PETROBRAS), controlada pela União (MORAIS, 2013).

Nos anos de 1950, principalmente após a segunda metade da década, havia uma crescente demanda por combustível, pois novos setores industriais estavam sendo implantados no parque produtivo do Brasil; além disso, vivia-se nesse período a construção de rodovias e também de Brasília, a nova capital que estava sendo erguida no centro do país. A partir dessa conjuntura, a PETROBRAS voltava seus esforços para aumentar a capacidade de refino de petróleo, amparados pela rápida formação de equipe técnica destinada ao trabalho nas refinarias (LAND, 1964; WILLIAMS, 1967).

A princípio, a estratégia realizada pela petrolífera brasileira era de auferir tecnologia externa. Essas tecnologias eram direcionadas à exploração e produção de petróleo e gás natural na forma de projetos industriais e a empresa concentrava seus esforços na formação de recursos humanos (FURTADO, 1996).

No cenário mundial, o Brasil encontrava-se defasado na exploração de petróleo, já que a indústria de petróleo havia começado as suas atividades há mais de 90 anos. Assim, o país deveria apressar-se na busca por petróleo e construção de novas refinarias a fim de aumentar sua produção de combustíveis fósseis e derivados. Entretanto, a baixa oferta de profissionais impedia esse objetivo. A inexistência de cursos nacionais voltados às atividades petrolíferas, requeria a instalação de cursos específicos para o setor de modo a suprir a demanda por

profissionais. A criação do Centro de Aperfeiçoamento e Pesquisas de Petróleo (CENAP) em 1955 propiciava a formação e aperfeiçoamento do "quadro técnico" para a atividade petrolífera (WILLIAMS, 1967).

Entre os anos 30 e 50, as plataformas fixas foram desenvolvidas para exploração *offshore*. Essas plataformas são formadas por estruturas metálicas que se sustentam no solo marinho. A árvore de natal é um sistema de válvulas que tem como função o controle da produção do poço. Assim, como os demais sistemas na completação seca, as primeiras tecnologias de árvore de natal se posicionam sobre a plataforma.

Na fase de perfuração, as tecnologias tiveram uma trajetória diferente. O principal problema consistia na construção de sondas marítimas móveis. Nos anos 40, desenvolveu-se os barcos sondas, e nos anos 50 as plataformas auto-elevatórias (FURTADO, 1996).

Em 1966, o CENAP foi substituído pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da PETROBRAS (CENPES). É imprescindível destacar que a criação do CENAP marca o início dos desenvolvimentos tecnológicos da PETROBRAS. Nos anos 60 o progresso se deu na tecnologia de perfuração de posicionamento dinâmico para águas profundas. Além disso, nessa mesma década foram desenvolvidos os dutos de escoamento da produção e de sísmica em alto mar. Essas inovações possibilitaram a ampliação ininterrupta da produção *offshore* que já demonstrava seus primeiros desafios (FURTADO, 1996).

O CENPES, a princípio instalado na Praia Vermelha, no Campus da Universidade do Brasil, teve sua atividade focada na capacitação técnica de pessoal. Entretanto, as precárias condições do campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), dadas as pequenas áreas nas quais estavam instalados os laboratórios, acabavam condicionando as pesquisas. Assim, em novembro de 1973 a UFRJ realizou a mudança do CENPES para o campus da Ilha do Fundão, Cidade Universitária no município do Rio de Janeiro.

Com laboratórios maiores, voltados principalmente para as pesquisas do segmento *offshore*, tornou-se possível a realização de pesquisas nas áreas de geofísicas e geoquímicas, desenvolvimento de equipamentos para perfuração de poços e ampliação do corpo de pesquisadores. Na década de 1970 ainda foram desenvolvidos o sistema de produção flutuante,

definido como todo o sistema que engloba a árvore de natal molhada, *templates*[4], *risers*[5] e embarcação para o processo produtivo e de estocagem.

Segundo Fonseca e Leitão (1988), com melhores condições de pesquisa na Ilha do Fundão, o CENPES acabou focando na estratégia de ampliar vínculos com a área acadêmica, de forma a garantir maior troca de informações técnico-científicas, ampliando seu leque de oferta de funcionários graduados e com maiores relações entre pesquisas fundamentais e aplicadas. A crise do petróleo desencadeada em 1970 modificou a estrutura da demanda de derivados dos hidrocarbonetos, fazendo com que a PETROBRAS aumentasse seus laços com o CENPES. A Companhia precisava de novas adaptações técnicas de suas refinarias, para atender ao novo cenário econômico (LEITÃO, 1984).

Entre 1968 e 1973, frente ao cenário de crise do petróleo, ocorreu a descoberta do primeiro campo petrolífero na costa do Nordeste brasileiro. Mais tarde, em 1974, a Bacia de Campos também surge como área a ser explorada. A princípio, as descobertas foram em águas rasas, mas nas próximas décadas tiveram início as primeiras tecnologias para exploração de jazidas em águas mais profundas. Dessa forma, para alcançar profundidades cada vez maiores, foi dado destaque à formação de recursos humanos e às pesquisas aplicadas.

A crise do petróleo dos anos 1970 reforçou o segmento *offshore,* que passou a demandar maior esforço nas atividades de P&D. Logo após o primeiro choque do petróleo, as companhias europeias de petróleo se empenharam no desenvolvimento do sistema de produção marítimo visando à exploração no Mar do Norte.

No início dos anos de 1980 novas trajetórias tecnológicas precisaram ser traçadas via um intenso processo de aprendizagem e maturação. Durante a referida década a PETROBRAS aumentou suas importações tecnológicas de bens de capital de forma a iniciar o processo de aprendizagem no país. Em meados dos anos 80, as bacias descobertas tinham profundidades de 400 a 2.000 metros, impondo novos e maiores desafios à firma. Na busca de superá-los a

[4] Também chamados de *manifolds,* tem como principal função reunir, em uma só linha, a produção advinda de vários poços. É uma estrutura metálica apoiada no fundo do mar e que acomoda válvulas e acessórios que permitem que ele se conecte à várias árvores- de-natal molhadas e as conecte com a plataforma através de linhas de fluxo e *risers*.

[5] São dutos que podem ser rígidos ou flexíveis e que fazem a ligação entre os poços de petróleo, no fundo do mar, e as plataformas na superfície. Têm função de transportar fluidos entre o poço e a plataforma, podendo ser utilizado também para transportá-los entre plataformas ou entre plataforma e uma unidade em terra.

empresa precisou ingressar em uma nova trajetória tecnológica, já que não havia tecnologia internacional disponível para esses fins (FURTADO, 1996).

À luz desses acontecimentos e incertezas atreladas aos desenvolvimentos necessários a superar os desafios e os gargalos técnicos, a PETROBRAS se dedicou à estratégia tecnológica baseada nas inovações arquitetônicas, dado seus menores riscos, custos e prazos. A petrolífera brasileira preferiu investir naquilo que já possuía domínio, ou seja, nos sistemas flutuantes de produção, utilizada como "plataforma" para os aprimoramentos tecnológicos pretendidos. Segundo Furtado, "*esse tipo de estratégia tem sido muito bem sucedida e permitiu que a empresa mantivesse a liderança mundial em águas profundas.*" (FURTADO, 1996, p.17).

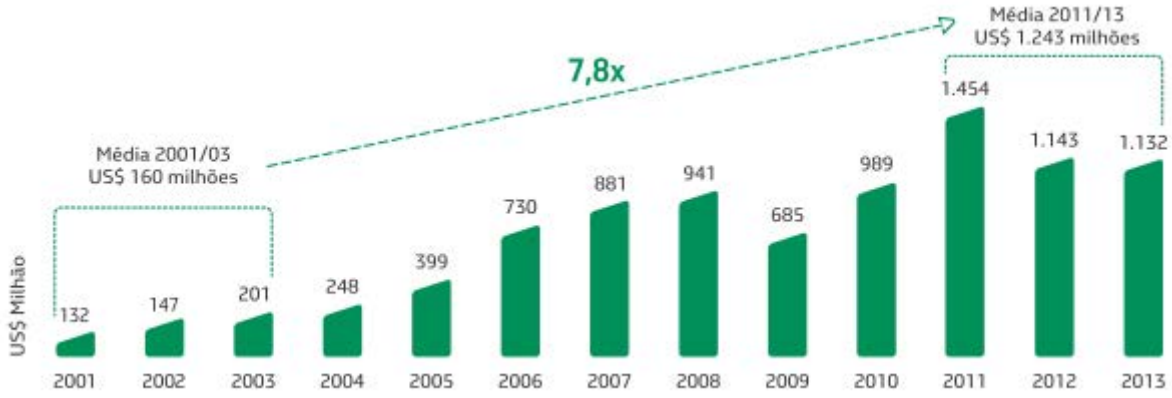
O Programa de Capacitação Tecnológica em Águas Profundas (PROCAP) foi criado em 1986 para tornar viável a produção petrolífera em novos e mais profundos campos. A tecnologia utilizada pela indústria petrolífera brasileira no início de suas atividades vinha do exterior e era reconfigurada às condições de extração e produção do Brasil. Quando o país inicia a exploração em áreas mais profundas, inexistem tecnologias no exterior que ultrapassasse os 400 metros de profundidade das lâminas d'água. Assim, o PROCAP precisou desenvolver projetos que almejassem tecnologias para exploração em águas de até 1.000 metros de profundidade. Em 1992, o programa foi relançado para atingir 2.000 metros de profundidade e, novamente, em 2000 para desenvolver tecnologias que suportasse lâminas d'água até 3.000 metros de profundidade.

A ampliação da capacidade tecnológica, portanto, culminou em descobertas de enormes jazidas petrolíferas como é o caso do Pré-sal nas Bacias de Campos e Santos, nos anos de 2006 e 2007, quando foi confirmada a nova fronteira geológica do Pré-sal. A necessidade de novas tecnologias para explorar petróleo e gás nessa região exigiu investimentos e recursos para as atividades P&D. Nesse intuito, foram realizadas parcerias com institutos de pesquisas, universidades e empresas parceiras, que configuram uma rede de cooperação[6] baseada na capacidade local de inovação (Plano de Negócios da PETROBAS, 2013). A partir de 2010 foi confirmada a viabilidade comercial de jazidas do Pré-sal, o que inicia um marco na evolução tecnológica da PETROBRAS e na produção nessas áreas geológicas. No Gráfico 4 pode-se

[6] A inovação pode demandar conhecimento diferentes advindos de várias instituições que se unem de forma cooperativa para, com a troca de informações, aprendizado e conhecimento, criarem algo inovador. A rede de cooperação (ou rede de inovação) depende, fundamentalmente, da troca de conhecimentos (Lundvall, 1992; Grant, 1996).

perceber a ampliação dos investimentos da PETROBRAS em atividades de P&D (PETROBRAS, 2014. b).

Gráfico 4 - Investimentos em P&D da PETROBRAS: 2001-2013



Fonte: PETROBRAS, 2014 (b).

Desde que o Brasil se deparou com a falta de tecnologia externa para produção petrolífera no ramo de mercado *offshore*, fez-se imprescindível o desenvolvimento local e a ampliação dos investimentos da petrolífera em atividades de P&D. As restrições levaram ao desenvolvimento de novas técnicas para superar os desafios da atividade. O Quadro 4 mostra as principais inovações tecnológicas realizadas pela PETROBRAS por meio de parcerias com empresas e universidades para possibilitar a produção no ramo *offshore*:

Quadro 4 - Inovações tecnológicas realizadas pela PETROBRAS com parcerias de empresas e universidades

EQUIPAMENTO	ANO	INOVAÇÃO	EMPRESAS PARCEIRAS	GANHOS TECNOLÓGICOS/ ECONÔMICOS
Árvore de natal molhada horizontal	1979	Permite retirar a coluna de produção do interior do poço para reparos, sem necessidade de retirar a árvore de natal da cabeça de poço.	FMC-CBV Vetco Cameron Kvaerner	Utilização em águas de até 2.500 metros de profundidade; padronização e intercambialidade das peças fabricadas por diferentes supridores.

Perfuração horizontal	1984	Utilização da lama do local perfurado para não sobreaquecer o equipamento; sensores na broca para uso em até 6.000 metros no solo, à temperatura de até 200º C.	Universidade Imperial da Rússia e Statoil	Aumento da extração em reservatórios indicados para perfuração horizontal (e.g, pequena espessura, maior permeabilidade vertical, etc.)
Bomba Centrífuga Submersível (BCS)	1993	Elevação da potência para bombeamento de petróleo viscoso em altas profundidades	Reda, Lasalle, Tronic, Pirelli, Cameron, Sade-vigesa, Centrilift	Aumento da produtividade dos poços; utilização em poços de longo alcance horizontal e distantes da plataforma.
Árvore de natal molhada horizontal para BCS	1995	Uso de capa removível e instalável por ROV.	FMC	A sonda de perfuração só é requerida para a retirada/instalação da coluna de produção.
Sistema de ancoragem	1996	Sistema de ancoragem submarino, baseado na utilização conjunta de estacas-torpedo e substituição das correntes de aço por linhas de poliéster em sistema de ancoragem *taut leg*.	Reading University (U.K), Cordoaria São Leopoldo (Brasil), Quintas&Quintas Cordoaria e Redes (Portugal), Cordoaria Oliveira Sá (Portugal), Marlow Ropes (U.K)	Estacas-torpedo utilizam energia de queda livre para sua própria cravação no solo marinho. O uso de cabos poliéster permitiu ancoragem em raio mais curto e instalação de plataformas flutuantes em águas profundas. Sistema mais leve e resistente à tração; reduz o peso suportado pela plataforma.

Sistema de Bombeamento Multifásico Submarino (SBMS-500)	1997	Adição de energia em escoamentos multifásicos (óleo + gás + água) com até 95% de presença de gás livre.	Curtiss-Wright (EUA), Leistritz (Alemanha), Kvaerner (Noruega, Brasil), Pirelli (Brasil, Itália), Tronic (UK), ODI (EUA), Robicon(EUA)	Transporte a longas distâncias dos fluxos de petróleo-água-gás natural extraídos do poço, em um único duto e sem qualquer pré-tratamento.
MAC Manifolde com acionamento compartilhado	1999	O atuador único opera várias válvulas, permitindo reduzir o peso total do manifolde, de 450 ton. para 160 ton.	Consub (Atual Subsea 7)	O atuador recuperável tem capacidade de percorrer todo o manifolde para operar todas as válvulas e chokes (ajustes na pressão) automaticamente. Redução do peso e facilidades de manutenção.
Sistema de Separação Gás-Líquido (VASPS)	2000	Sistema de controle da separação gás/líquidos.	ExxonMobil, União Europeia, ENI-Agip, CEPETRO/UNICAMP	Aumento da produtividade dos poços.
Sistema de completação inteligente em larga escala	2011	A longo prazo permite ampliar a produção de petróleo, além de obter maior número de dados de pressão e temperatura de pontos do reservatório, auferindo melhoras	Baker Hughes (EUA)	Quando comparadas com válvulas convencionais, as de completação inteligente não necessitam de intervenção com uso de sonda de perfuração. Seu acionamento se dá de forma mais simples e menos dispendiosa.

		em seu gerenciamento.		
Estação de Separação Submarina Água-Óleo (SSAO)	2011	Usa tecnologia de separação tubular, permitindo que pelo menos 70% da água produzida através do equipamento seja reinjetada.	FMC	Aumenta a produção de óleo e o fator de recuperação.
Pig de Ultrassom	2011	Pig de ultrassom realiza inspeção de controle da integridade de dutos de forma autônoma (sem necessidade de intervenção humana constante) e sem umbilical, permitindo inspeção em dutos de longos trechos (até 200km)	PUC-Rio USP Pipeway[7]	Diminuiu custos em cerca de US$200.000 por duto do serviço importado de inspeção. Além de flexibilizar a operação na inspeção de outros acessórios submarinos.
Fluidos sintéticos	2012	São 100% sintéticos. Esses fluidos não aquosos (frente ao cenário do Pré-sal, de alta pressão e baixíssima temperatura), diminuem a solubilização do sal e evitam problemas como o arrombamento do	Baker Hughes (EUA)	Os fluidos sintéticos possibilitam perfurações de poços em zonas salinas, podendo ser utilizados em temperatura de fundo de poços de até 166ºC.

[7] A Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e a Universidade de São Paulo (USP) realizaram, com êxito, os testes após terem feito o protótipo de *pig* de ultrassom. A empresa Pipeway licenciou a tecnologia que teve início de comercialização em 2012.

		poço, estabilizando a perfuração.		
Sistema de monitoramento de perfuração em tempo real	2012	Durante a perfuração o software recebe parâmetros de perfuração em tempo real de sensores de fundo de poço e os interpreta de forma quantitativa.	Unicamp UFRRJ UTFPR UCL	Capaz de detectar comportamentos inesperados e situações de desconformidade operacional em tempo real. Além de sugerir ações de mitigação e prevenção.
Levantamento sísmico em *Coil Shooting*	2012	Permite realizar levantamentos sísmicos multiazimutal em áreas com restrição de manobras das embarcações.	WesternGeco (Reino Unido)	Os dados coletados têm qualidade de imagem superior, de forma a possibilitar, com custos reduzidos, interpretações mais detalhadas e confiáveis em áreas complexas.
Bomba multifásica submarina Hélico-Axial (BMSHA)	2012	Possibilita a produção de óleo em poço distante da plataforma.	Framo Engineering (Noruega)	Essa tecnologia é capaz de aumentar a produção de petróleo.
Sistema de aquisição de sinais com monitoração independente (SASMI)	2013	Como alguns poços não conseguem enviar as informações até a superfície, essa tecnologia realiza leitura e armazenamento local dos dados	Transcontrol (Brasil)	Os dados de pressão captados pela tecnologia são de extrema importância para delimitar reservatórios, determinar conexão entre poços e avaliar a

		fornecidos pelo Permanent Dowhole Gauge (PDG)		permeabilidade das rochas.
Planta piloto de síntese de hidrato de gás	2013	Permite fazer uma análise dos hidratos do gás para compreender tanto os processos de formação quanto de separação dos compostos, possibilitando determinar sua físico-química.	PUC-RS PID Eng&Tech (Espanha)	Com capacidade para operar em pressões de até 200bar. as informações geradas serão de suma importância para planejar explotações, de maneira economicamente viável.
Ferramenta de desconexão de fundo de poço (*WDT- Wet Disconnection Tool*) eletro-hidráulica	2013	Reduz em cerca de 20% o tempo dispendido em intervenções para substituição de coluna de produção em poços com completação inteligente. A WDT divide a coluna em duas partes, e permite conectar e desconectar as linhas de controle sem intervir na parte inferior da coluna.	Halliburton Baker Hughes Schlumberger	Aumenta a confiabilidade e diminui o tempo gasto em intervenção para substituir coluna de completação nos poços que possuem completação inteligente. Além de evitar que seja perdido o controle do monitoramento do poço, diminuindo os riscos inerentes a esta etapa.

Fonte: Morais, 2013; PETROBRAS; 2012; 2013 2014 (b).

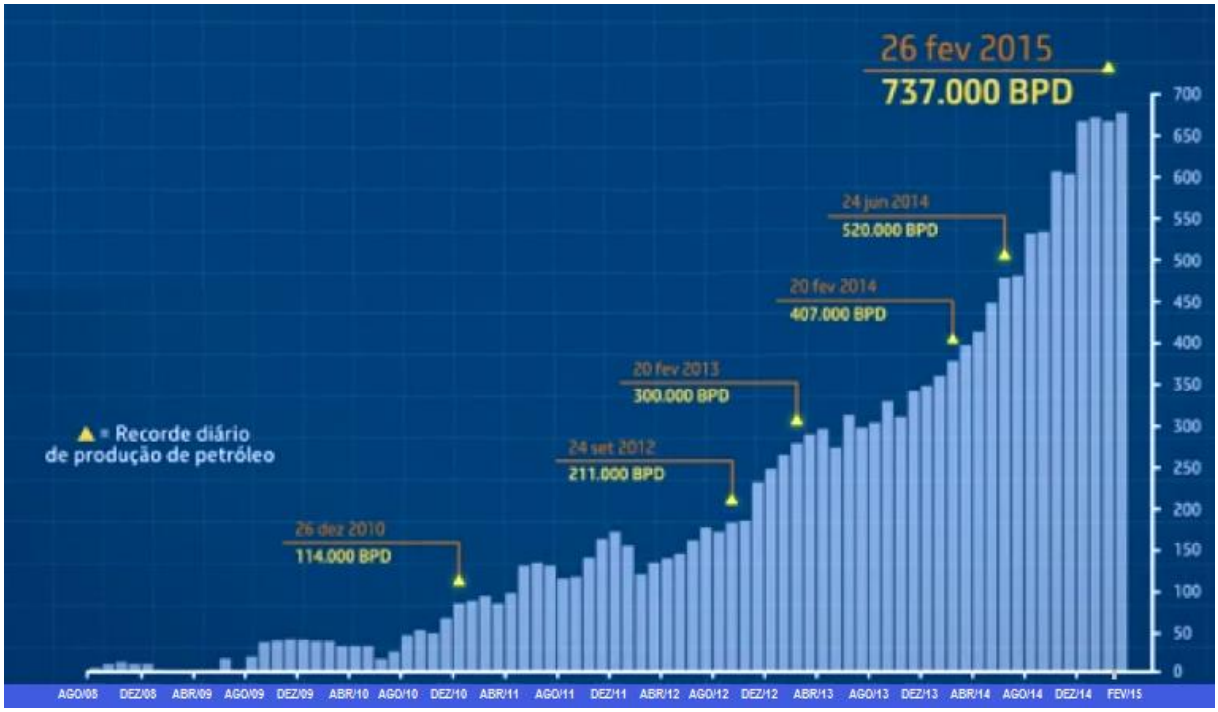
Além das inovações citadas no Quadro 4, uma das mais recentes inovações da PETROBRAS foi a Boia de Sustentação de *Risers* (BSR). Uma solução tecnológica que surgiu no CENPES, localizado na Ilha do Fundão no Rio de Janeiro. Construída e instalada pela empresa Subsea 7. A BSR é uma tecnologia adaptada para extração no Pré-sal, criada em 2004 na tentativa de impedir que os movimentos das plataformas fossem transferidos aos

equipamentos submarinos. Esse sistema viabilizou o uso de dutos rígidos (em partes) na extração petrolífera em grandes profundidades, pois percebeu-se que os dutos flexíveis não seriam adaptados e aprovados tão rápido quanto necessário. Os tubos rígidos, conhecidos como *Steel Catenary Risers- SCR* ou apenas "*risers*", que possuem maior resistência poderiam ser rompidos com os movimentos das plataformas flutuantes. Dessa forma a BSR ancorada a 240m de profundidade possibilita que até essa altura sejam utilizados tubos rígidos e a partir dos 240m até 2.118m de profundidade do poço sejam utilizados tubos flexíveis (PETROBRAS, 2014 (b)).

A tecnologia BSR antecipou a produção no poço 9-SPS-77A, do campo de Sapinhoá, na Bacia de Santos. Instalada em 25 de dezembro de 2013, a produção petrolífera do poço iniciou em 20 de fevereiro de 2014. A segunda e a terceira Boias já foram instaladas, nos navios-plataformas localizados na cidade de São Paulo e Paraty, em menos de um terço do tempo gasto para a primeira BSR. Há projeto para implantação de mais BSR para alcançar o objetivo de crescimento da produção até a capacidade máxima de produção das plataformas (PETROBRAS, 2014 (b)).

Com a nova fronteira geológica do Pré-sal que torna necessárias inovações tecnológicas para exploração petrolífera, a PETROBRAS ampliou sua demanda por inovação e, consequentemente, a rede de cooperação para inovação e os investimentos relativos a essa atividade. Os novos esforços e a superação dos desafios tecnológicos permitiram que a empresa aumentasse a exploração de novos poços em águas ultraprofundas e alcançasse, em 2015, o seu recorde em produção de barris diários. O Gráfico 5, que mostra a produção média diária de barris brasileira desde agosto de 2008 a fevereiro de 2015, permite dimensionar a importância desses esforços e dos seus resultados em termos de inovações em um curtíssimo período de tempo.

Gráfico 5 - Produção média diária de petróleo (em mil barris por dia)



Fonte: PETROBRAS, 2015.

Desde o ano de 2010, quando foi confirmada a viabilidade comercial de exploração do Pré-sal, houve um significativo e contínuo aumento da produção média de petróleo da PETROBRAS. A partir do ano de 2011, os investimentos da petrolífera brasileira em atividades de inovação apresentaram valores maiores que nos anos anteriores, que ampliaram em mais de três vezes a produção média de barris diários de setembro de 2011 a fevereiro de 2015, quando a PETROBRAS atinge o recorde diário de produção de petróleo.

2.4. Desafios Tecnológicos para a Exploração do Pré-sal

Ao se deparar com as restrições tecnológicas para exploração de petróleo em águas com profundidade acima de 400 metros, a PETROBRAS foi forçada a rever as suas estratégias inovativas. As tecnologias que anteriormente vinham do exterior e eram apenas adaptadas às condições brasileiras de extração já não eram mais uma opção, pois não existiam equipamentos apropriados às condições locais. Dessa forma, a companhia precisou suprir essa lacuna para poder continuar e ampliar sua produção petrolífera, desenvolvendo, assim, novos conhecimentos tecnológicos destinados a essa finalidade. A decisão brasileira de extrair óleo

em águas profundas leva ao amadurecimento das atividades de P&D, apesar dos maiores riscos em investimento nesse processo (SILVEIRA, 2011).

O segmento *offshore* tem demandado inúmeras inovações pela descoberta de reservas de petróleo na região do Pré-sal. As rochas dessa área geológica se estendem por uma média de 800 quilômetros da costa marítima brasileira que vai do norte da Bacia de Campos ao sul da Bacia de Santos, englobando uma área com largura de 200 km. As rochas sedimentares do Pré-sal localizam-se cerca de 3.000 metros abaixo do solo marinho, possuindo forte potencial para exploração petrolífera (PETROBRAS, RIMA, 2011).

Entre os fatores que dificultam a produção de petróleo em grandes profundidades, destacam-se: (i) condições do clima marinho e as rochas encontradas abaixo do leito oceânico (ex: altura das ondas, velocidade dos ventos, tempestades, pressões hidrostáticas, baixas temperaturas do fundo do mar); (ii) distâncias grandes entre as plataformas e o continente e entre plataformas e os poços no fundo oceânico (as grandes distâncias acentuam as dificuldades frente às condições físicas e ambientais do ambiente marinho, de forma que toda a tecnologia deve ser controlada da plataforma já que há mais de 300m de profundidade o trabalho humano de mergulhadores torna-se impossível, requerendo equipamentos não tripulados que realizam a implantação e manutenção dos equipamentos no fundo do mar); (iii) a completa escuridão no fundo do mar (a certa distância, as luzes artificiais já não são tão úteis, já que a distância da superfície faz com que haja total invisibilidade do ambiente) (MORAIS, 2013). A Figura 4, procura associar as dificuldades surgidas nas áreas de exploração de petróleo *offshore* aos desafios tecnológicos a serem enfrentados. As enormes adversidades estabelecem uma vasta gama de complexas tecnologias a serem desenvolvidas.

Figura 4 - Processo de indução/geração de tecnologias na exploração e produção de petróleo *offshore*

Fonte: Morais, 2013.

Há desafios científicos no que tange à compreensão do comportamento dos fluídos, assim como a heterogeneidade das rochas, desenvolvimento de sistemas de ancoragem que sejam mais fortes e que suportem as adversidades do ambiente e suportem as plataformas nessas regiões. Existem também os desafios organizacionais como a escolha da melhor estratégia para a produção de hidrocarbonetos em cada reservatório dada suas peculiaridades, a formulação de um sistema de logística que comporte as complexas relações e operações desse mercado além da capacitação da mão de obra frente ao desenvolvimento de novas estratégias e maquinários (PORTO *et al*, 2013).

A PETROBRAS como maior empresa brasileira tem direcionado seus esforços tecnológicos à exploração de petróleo em águas profundas, obtendo avanços significativos e destaque no setor petrolífero em âmbito internacional. Esse sucesso é fruto das estratégias adotadas pela empresa pautadas em suas características, estrutura de mercado e contexto econômico na qual está inserida. Essa trajetória tecnológica se baseia na interação e em processos de aprendizagens cumulativas (FURTADO, 1996).

2.4.1. Novas Tecnologias

A PETROBRAS tem demandado junto às parceiras um crescente número de inovações para fazer frente às dificuldades que vem encontrando nas suas atividades em águas profundas.

Ao mesmo tempo em que fortalece os laços cooperativos voltados à inovação, essas demandas buscam diminuir o tempo das operações e promover eficiência e melhorias produtivas. Várias empresas e centros de pesquisas têm voltado suas atividades de P&D para atender a demanda e trabalham de forma cooperativa para tentar diminuir o tempo para troca de conhecimentos, alcançar soluções e os custos e riscos. Muito provavelmente, a superação dos desafios tecnológicos impostos pela fronteira geológica do Pré-sal deve consolidar a liderança da PETROBRAS no segmento *offshore.* Os principais estudos que vêm sendo realizados por universidades e outros parceiros para possibilitar a extração de hidrocarbonetos em águas profundas são descrito a seguir.

As inovações têm sido necessárias desde as plataformas até as tecnologias utilizadas nas cabeças dos poços. Entre as pesquisas para melhorias técnicas estão as buscas por tornar os *Floating, Production, Storage and Offloading* - FPSO's (navios-plataformas) mais flexíveis, de forma a se adaptarem as características de cada campo e torná-los navios de alta performance. Além disso há estudos em andamento que visam projetar as unidades de processamento sobre as plataformas FPSO's de forma modular, para que possam ser readaptadas ou substituídas de acordo com a evolução da produção (PETROBRAS, 2015).

Em relação aos equipamentos de processo, os novos projetos estão empenhados em tornar os equipamentos que realizam a separação de óleo, água e gás quatro vezes menores do que são hoje, utilizando membranas cerâmicas e micro-ondas. Atualmente, esse maquinário ainda fica na plataforma, mas com tecnologias que os tornem mais compactos poderão ser instalados tanto nas plataformas quanto no fundo do mar, em altas profundidades. As pesquisas buscam controlar o processamento por sensores que possibilitará facilitar a operação e economizar espaço nas plataformas. Ao final, pretende-se chegar a uma tecnologia que dispense o uso das plataformas nesse processamento submarino.

No tocante aos equipamentos utilizados no fundo do mar, uma das maiores apostas tem sido nos nanomateriais, que serão utilizados para melhorar a performance de materiais e equipamentos submarinos. O uso dos nanomateriais, conhecidos como materiais inteligentes, poderão ser empregados para reconstruir instantaneamente revestimentos que sofreram pequenos danos ou arranhões, tornando desnecessária a interrupção da produção para realizar o reparo.

Ademais, as nanopartículas também vêm sendo testadas para outras finalidades. Uma delas é na tentativa de aumentar a produção dos campos, injetando nanopartículas específicas nos reservatórios para facilitar a drenagem do óleo contido nas rochas.

Com as altas pressões e a invisibilidade do fundo oceânico, os veículos autônomos submarinos são altamente necessários. Para melhorar essa tecnologia, as empresas e universidades estão recorrendo a testes de robôs sem cabeamentos para monitorar constantemente as operações realizadas no fundo do mar. Além disso, há estudos para a criação de um sistema de realidade aumentada para esses submarinos. No conjunto, com essas novas pesquisas os submarinos terão sensores e poderão ser controlados a partir de salas de visualização em terra.

Em razão da escuridão no fundo oceânico, estudos vêm sendo realizados sobre a distribuição de energia elétrica submarina. Esses sistemas servirão para alimentar os equipamentos no leito marinho e transmitir energia para grandes distâncias. Essa nova tecnologia complementa outras pesquisas (vide acima) que procuram possibilitar a utilização de sistemas de escoamento da produção totalmente submarinas. Assim, o petróleo poderá ser enviado diretamente do mar para a terra sem a necessidade de plataformas, navios de transportes, etc. Em suma, a meta é transferir as operações de alto mar para posto de operações em terra firme.

Os *risers* (dutos) rígidos ainda são extremamente necessários para perfurar rochas e construir os poços de extração. Por esses dutos escoam fluidos que auxiliam na perfuração e sobem os cascalhos que são liberados no processo. Entretanto, a montagem e desmontagem dos dutos gastam muito tempo. Procurando uma instalação mais simples, de menores custos e tempo, há novos estudos engajados em realizar a perfuração sem *risers*. Nelas, a movimentação dos fluidos e cascalhos seria realizada por dois dutos flexíveis ligados a uma bomba submarina.

CAPÍTULO 3: O SISTEMA PETROBRAS DE INOVAÇÃO (SPI)

Com as primeiras descobertas de hidrocarbonetos em águas profundas no início dos anos 70, etapa preliminar da superação dos desafios impostos pelo Pré-sal, a PETROBRAS iniciou uma intensa busca por recursos técnicos. Para suprir esses desafios, que cresceram em número e complexidade ao longo do tempo, a petrolífera foi levada a buscar o apoio de seus fornecedores, universidades e institutos de pesquisas do país e estrangeiros para alcançar as novas soluções exigidas pelas conquistas do segmento *offshore*.

A rede de cooperação, aqui também denominada por rede de inovação, representou uma alternativa interessante à empresa. Se por um lado a PETROBRAS não realiza internamente atividades de P&D, por outro, coordena, define gargalos e prioriza as atividades de inovação realizadas por seus parceiros que são necessárias às suas atividades. Nessa estrutura inovativa, empresas e universidades se relacionam de forma a realizarem troca intensa de informações e conhecimentos procurando atender as demandas por inovações técnicas da PETROBRAS.

A rede de inovação da PETROBRAS está concentrada geograficamente na região do Rio de Janeiro, mais especificamente próxima ao CENPES. As principais empresas parceiras da PETROBRAS têm instalado laboratórios no entorno da Cidade Universitária, buscando interações com outros centros de pesquisas. A especificidade dessa rede nos conduz ao Sistema PETROBRAS de inovação (SPI), pois os modelos linear, não linear ou de inovação aberta são insuficientes para explicar essas relações de cooperação. O SPI procura explicar a estrutura de parceria nas diferentes etapas do processo de inovação, ressaltar os papéis de cada um dos atores e os possíveis caminhos da atividade de criação de uma nova tecnologia, desde a compreensão dos gargalos que estabelecem a demanda por uma tecnologia nova até o seu desenvolvimento e comercialização.

3.1. Redes de Inovação

A inovação é elemento essencial para a competitividade empresarial e de um país. Os desafios do Pré-sal impõem a necessidade de desenvolvimento tecnológico em tempo e custos menores possíveis. Entretanto, acumular os conhecimentos e informações imprescindíveis à inovação é complexo e exige tempo. Nesse sentido, “produzir” inovações em curto período de

tempo requer reunir todas as competências necessárias, nem sempre disponíveis dentro de uma mesma firma.

Chesbrough (2003) destacou as dificuldades das firmas continuarem inovadoras utilizando apenas os recursos internos. O autor cunhou o termo "inovação aberta" para descrever o processo de inovação no qual as empresas buscam fontes externas para complementar os conhecimentos internos necessários às inovações. O setor de P&D da empresa deve estar capacitado para realizar gestão de projetos inovadores recorrendo a fontes de conhecimentos dentro e fora da firma. Na inovação aberta, portanto, as organizações empresariais devem compreender a necessidade de recorrer tanto a conhecimentos internos como a conhecimentos externos para que seu departamento de P&D possa permanecer inovando.

Apesar do processo de inovação aberta considerar a necessidade de conhecimentos externos à firma, a PETROBRAS não se enquadra perfeitamente nesse padrão, pois as pesquisas e inovações são realizadas externamente. A empresa é "mera" usuária dessas novas tecnologias. A petrolífera não capta conhecimentos externos para realizar as inovações em seu próprio departamento de P&D. No entanto, os seus "conhecimentos da prática" de décadas envolvidas com exploração de óleo são de extrema relevância se associados aos conhecimentos das empresas fornecedoras e centros de pesquisas.

Nessa perspectiva, a PETROBRAS age como o "motor" que alimenta a inovação, demandando inovações de suas fornecedoras e transferindo conhecimentos vitais para que as soluções sejam alcançadas no menor tempo possível. Assim, como a "produção de inovação" está fora da firma, pois está a cargo das fornecedoras e as universidades parceiras, o modelo de inovação em cadeia de Kline e Rosenberg, que prioriza o que acontece no ambiente interno, não capta a função da PETROBRAS como demandante e receptora de inovação.

No campo petrolífero *offshore*, considerando a necessidade de troca de conhecimentos para a inovação e o alto custo dos laboratórios de P&D, a cooperação tecnológica emerge como uma alternativa para impulsionar a atividade inovativa. Por vezes, essa relação de cooperação entre as instituições envolvidas no processo de inovação é denominada por sistema de redes (BAZZO; PORTO, 2013). A dinâmica de cooperação pode ser analisada pelo estudo de redes sociais constituídas por vários agentes organizacionais.

As redes de cooperação tecnológica, ou rede de inovação, como denominada por alguns autores, têm como principal característica a cooperação entre organizações com a finalidade de desenvolver novas capacidades e/ou inovações tecnológicas. Segundo De Pellegrin *et al*. (2007) a rede de inovação constitui-se num espaço geográfico de gerenciamento e intercâmbio de conhecimentos e informações entre as diversas organizações que fazem parte dela. Essa estrutura de inovação entre empresas, universidades e outras organizações é pautada na troca de conhecimentos, realizando interações de forma colaborativa. A inovação é um processo interativo e a aprendizagem acontece durante esse processo. É válido ressaltar que a capacidade de aprendizado das organizações é o que dita como os conhecimentos são captados, como se constituem em novas competências e na possibilidade de desenvolver novas tecnologias (BAZZO; PORTO, 2013).

As redes de inovação surgem, na maioria das vezes, com a motivação de possibilitar o acesso a insumos e conhecimentos necessários à inovação, além de buscar redução de incertezas (DE PELLEGRIN *et al*., 2007). Nesse contexto, a cooperação é adotada como uma relação formal entre duas ou mais instituições que trocam informações e conhecimentos com a finalidade de desenvolver projetos inovativos (BAZZO; PORTO, 2013).

> [...] A abordagem de rede, [na visão gerencial], é caracterizada por sua descrição detalhada e multidisciplinar do comportamento das empresas no mercado, enfatizando as relações destas organizações com outras empresas ou organizações não governamentais. (BEIJE; GROENEWEGEN[8], 1992, p. 87, *apud* BAZZO; PORTO, 2013, p. 169).

Na pesquisa de Bazzo e Porto (2013) são identificadas cinco organizações mais próximas da PETROBRAS: UNICAMP, PUC/RJ, UFRJ, Braskem e USP. As quatro faculdades e seus centros de pesquisas relacionados a estudos sobre tecnologias petrolíferas estão diretamente envolvidas no processo de inovação. Com essa cooperação as universidades conseguem obter acesso a recursos e benefícios como a possibilidade de novos projetos, investimentos em laboratórios e a própria possibilidade da pesquisa em conjunto com empresas.

Nessa estrutura inovativa há a necessidade de coordenação do processo já que se refere a várias instituições envolvidas que realizam atividades interdependentes como: pré-projeto, testes, P&D aplicados, projeto produtivo, produto piloto, produção e comercialização. Para coordenar esses processos as empresas recorrem à rotina, realizando, por exemplo, reuniões

[8] BEIJE, P. R.; GROENEWEGEN, J. A Network analysis of markets. *Journal of Economic Issues*, v. 26, n. 1, p. 87-114, mar. 1992.

constantes, gerenciamento de informações e planejamentos sistemáticos. A necessidade de inovação frente aos desafios de exploração em complexas regiões geológicas fez a PETROBRAS desenvolver uma sólida rede de inovação que, juntamente com as exigências da petrolífera, estimulam a cooperação entre empresas e universidades.

> [...] Tal fato sugere que há um "efeito PETROBRAS" sobre o comportamento de seus fornecedores, que tendem a exercer cooperações com universidades e centros de pesquisa para suprir as necessidades da empresa. Logo, as firmas que fornecem para a PETROBRAS tendem a cooperar mais, por influência ou exigência da PETROBRAS (FIORAVANTE; AGUIRRE, 2013, p.116).

Numa abordagem econométrica, Fioravante e Aguirre (2013) concluem que as firmas que exercem a cooperação e têm a possibilidade de dividir riscos e custos de um projeto, possuem mais facilidade para praticar atividades inovativas. Outrossim, as empresas fornecedoras da PETROBRAS apresentaram maiores probabilidades de cooperação, tornando válida a hipótese do *"efeito PETROBRAS"* (FIORAVANTE; AGUIRRE, 2013) nas firmas que cooperam, mostrando que a PETROBRAS incentiva fortemente seus fornecedores a adotarem a cooperação, para realizarem inovações requeridas.

As redes de inovação, portanto, além de desenvolverem tecnologias necessárias ao setor de petróleo e gás natural, cumprem o papel de aproximar as firmas e universidades e centros de pesquisas, estreitando os laços entre os setores empresarial e acadêmico para o desenvolvimento de projetos cooperativos. Dessa forma, pode-se dizer que os projetos de inovação realizados pelas empresas e instituições de pesquisas presentes nessa estrutura de inovação são *"[...] puxados a partir de demandas apresentadas pela PETROBRAS para a rede.*" (DE PELLEGRIN *et al*., 2007, p. 322).

Os investimentos no Pré-sal estão, portanto, relacionados à capacidade tecnológica das empresas fornecedoras. No que concerne aos laboratórios de pesquisas tecnológicas, há um crescente investimento na Ilha do Fundão, onde encontra-se o CENPES, de empresas nacionais e internacionais que visam atender às demandas técnicas da PETROBRAS. As atividades de P&D são realizadas com participação de parceiros seletos, empresas fornecedoras nacionais e internacionais, e instituições de ciência e tecnologia. Por isso, nos últimos anos o Brasil tem se tornado atrativo para inúmeros fornecedores do setor energético. Visando as novas oportunidades e o investimento nesse setor no mercado brasileiro, principalmente pela demanda técnica na fronteira geológica do Pré-sal, as empresas têm apresentado crescente interesse em lançar tecnologias em parcerias com ICT's nacionais.

3.1.1. A Localização das Principais Empresas Fornecedoras

A rede de cooperação para o desenvolvimento de inovações tecnológicas da PETROBRAS estabelece um processo de interação entre essas empresas, universidades e centros de pesquisas. As relações entre os agentes inovadores possibilitam a troca de informações, criando uma rede de competências. A ampliação de investimentos no Pré-sal possibilitou a algumas empresas a oportunidade de realizar atividades de P&D em conjunto com as ICT.

Considerando o aumento dos investimentos tanto de firmas nacionais como internacionais no Parque tecnológico da UFRJ, pode-se dizer que há uma concentração das firmas fornecedoras de tecnologias no tocante à distribuição espacial: o Rio de Janeiro destaca-se como polo. A PETROBRAS age como indutor dessa aglomeração, seja pelas cláusulas dos contratos de fornecimento, seja pela atratividade e sinergias dos centros de pesquisa instalados na região. Essa concentração favorece a diminuição de custos das inovações tecnológicas pelas economias de escala e escopo, possibilitando troca de informação entre empresas e instituições de pesquisa (principalmente o CENPES). Ademais, a aglomeração geográfica das empresas fornecedoras acontece pelos incentivos que a petrolífera tem em contratar empresas próximas, criando, dessa forma uma rede na qual a própria PETROBRAS gera incentivo para as empresas instalarem filiais em seu entorno (DE NEGRI, 2010). Por fim, como a pesquisa realizada na região está na fronteira tecnológica do setor, com poucas outras similares no exterior, a concentração das firmas fornecedoras multinacionais, principalmente na região da Ilha do Fundão no Rio de Janeiro, é favorecida, como se pode ver na Figura 5.

Algumas empresas fornecedoras importantes vêm instalando laboratórios de P&D na região da Ilha do Fundão no Rio de Janeiro, entre elas a Schlumberger, FMC Technologies, Baker-Hugues e a Halliburton. A região, que integra também o CENPES, que juntamente com o COOPPE-UFRJ, um centro universitário de formação de pesquisadores em engenharia do Brasil, é um polo tecnológico líder em inovações para extração de petróleo e gás.

Figura 5 - Concentração das empresas inovadoras no Rio de Janeiro

Fonte: Elaboração própria.

A Schlumberger inaugurou, em 2010, seu centro de pesquisas próximo ao Parque tecnológico da UFRJ. A empresa se caracteriza como uma das maiores fornecedoras mundiais de serviços especializados em exploração e produção de hidrocarbonetos. Nos anos seguintes outras empresas também instalaram seus centros de pesquisas na região. A Baker Hughes, que tem investido na otimização da produção em águas profundas, e a FMC também instalaram centros de pesquisas próximo ao CENPES voltados ao desenvolvimento de sistemas submarinos. Em 2013 a Halliburton implantou um centro de pesquisa próximo à Cidade Universitária, voltado para tecnologias de completação e produção de petróleo e gás. A General Electric e a BG Group também têm projetos de instalação de seus centros de pesquisas no Parque Tecnológico da UFRJ.

Com vista na aglomeração das empresas na região do CENPES, no polo tecnológico da UFRJ, é perceptível que a instalação dos laboratórios de P&D dessas empresas nessa região se relaciona às necessidades e às sinergias do aprendizado. Para evitar os altos custos e erros nos projetos, as empresas têm buscado definir de forma conjunta com outras empresas ou centros de pesquisas soluções técnicas associadas a produtos de alta complexidade (DE NEGRI, 2010).

A PETROBRAS conta, atualmente, com uma rede complexa de colaboradores que atuam de forma cooperativa com universidades e institutos de pesquisas nacionais. No último relatório de inovação de 2013 lançado pela PETROBRAS, a empresa possuía 954 termos de

cooperação tecnológica com 88 ICT nacionais. Nesse mesmo ano foram investidos US$266 milhões em universidades e ICT brasileiras, investimento voltado à realização de atividades de P&D, melhoria de infraestrutura laboratorial e à capacitação de pesquisadores e técnicos para atuação na área (PETROBRAS,2014 (a)).

Em termos de localização, a instalação de sedes para pesquisas tecnológicas de empresas como as parapetroleiras citadas é um ato pioneiro, já que elas não instalam centros de pesquisas em países em desenvolvimento. Outro importante ponto a ser considerado é a quantidade de investimentos das empresas de P&D, o que tem levado o Brasil ao patamar de gerador de tecnologias importantes no ramo petrolífero. E, por fim, as empresas destacam, nesse processo de internalização das instalações de P&D na Ilha do Fundão, o vínculo com o CENPES, colocando em evidência a necessidade de troca de conhecimentos locais. Essas parcerias fazem com que tanto as firmas quanto os centros de pesquisas e o sistema brasileiro de inovação no ramo petroleiro aufiram ganhos cada vez maiores.

3.1.2. A Administração da Rede de Cooperação

Para melhor administrar a rede de cooperação, além das empresas fornecedoras de tecnologia e centros de pesquisas estarem localizados de forma próxima, a PETROBRAS possui alguns mecanismos para melhor acompanhar e delimitar o processo de inovação. Baseados em manuais, contratos e em formulários que devem ser preenchidos pelas inovadoras, a PETROBRAS acompanha o processo inovativo.

Para apresentar um projeto de Pesquisa & Desenvolvimento à PETROBRAS as firmas devem, primeiramente, preencher um formulário chamado Formulário de Capacitação de Ideias[9]. No formulário as empresas apresentam, de forma bem resumida, os pontos primordiais da pesquisa proposta, além do histórico de estudos e das demais pesquisas e execuções do departamento que realizará o projeto em questão. A proposta é aceita se estiver dentro do planejamento estratégico e das demandas técnicas da petrolífera brasileira. Se aceito, é necessário que as firmas enviem o projeto de P&D detalhado (PETROBRAS, 2014 (a)).

[9] Formulário de duas páginas encontrado como *hiperlink* na página da PETROBRAS na seção de Tecnologia & Inovação necessário ser preenchido para submeter um projeto de P&D à petrolífera. Deve ser preenchido com dados dos pesquisadores, da instituição e a proposta de projeto.

Visando maior controle e organização, a PETROBRAS divide sua rede de cooperação em temas específicos e bem divididos dentro das atividades de exploração, produção, abastecimento e sustentabilidade. Assim, os projetos de P&D enviados à petrolífera são definidos dentro das seguintes áreas:

1. A atividade de ***exploração*** engloba projetos relacionados a: I) micropaleontologia aplicada; II) modelagem de bacias; III) estudos de geofísica aplicada; IV) geoquímica; V) estudos em sedimentologia e estratigrafia; VI) estudos geotectônicos (PETROBRAS, 2014 (a)).
2. Os projetos relacionados a atividade de ***produção*** são divididos nas seguintes áreas: I) monitoração, controle e automação de poços (GEDIG)/ gerenciamento integrado de operações (GIOP); II) computação e visualização científica; III) gerenciamento de águas no segmento produção de petróleo; IV) tecnologia de materiais e controle de corrosão; V) revitalização de campos maduros; VI) óleos pesados; VII) gerenciamento e simulação de reservatórios; VIII) modelagem e observação oceanográfica; IX) estruturas submarinas; X) elevação artificial; XI) tecnologia em CO_2 para recuperação de petróleo; XII) engenharia de poços; XIII) caracterização e modelagem geológica de reservatórios; XIV) modelagem de escoamento multifásico em tubulações; XV) integração de laboratórios de ensaios com aplicação na indústria de óleo, gás e energia; XVI) processamento primário; XVII) transmissão e distribuição elétrica submarina (PETROBRAS, 2014 (a)).
3. Na atividade de ***abastecimento*** os projetos se dividem nos grupos: I) combustão e gaseificação; II) petroquímica; III) tecnologia em asfalto; IV) fluidodinâmica computacional em processos de refino; V) concretos e refratários para a indústria do petróleo; VI) instrumentação, automação, controle e otimização de processos; VII) desenvolvimento de tecnologias para combustíveis limpos; VIII) centro de desenvolvimento de produtos e processos para o refino; IX) desenvolvimento de catálise; X) desenvolvimento veicular; XI) centro de materiais aplicados ao refino do petróleo; XII) excelência na cadeia de suprimento do petróleo; XIII) metrologia; XIV) centro de tecnologia em dutos; XV) lubrificantes (PETROBRAS, 2014 (a)).
4. Quando se trata de ***sustentabilidade***, os projetos de pesquisas ligados ao gás natural, energia e desenvolvimento sustentável são organizados dentro das seguintes abordagens: I) nanotecnologia aplicada à indústria de energia – nanocatálise e nanomateriais; II) hidrogênio: produção, uso e armazenagem; III) pesquisa em bioprodutos; IV) centro de desenvolvimento de tecnologias do gás natural; V) mudanças climáticas; VI) monitoramento

ambiental marinho; VII) conservação e recuperação de ecossistemas e remediação de áreas impactadas; VIII) reuso de água produzida (PETROBRAS, 2014 (a)).

Essa divisão sistemática de subáreas[10] permite à PETROBRAS maior eficiência na seleção de projetos que supram sua demanda técnica. Além de possibilitar às empresas e centros de pesquisas a compreensão das necessidades da petrolífera, busca, por meio da especialização, possibilitar propostas de desenvolver projetos nas áreas em que se concentram as maiores dificuldades encontradas pela petroleira.

Em relação à essas atividades de P&D, a Agência Nacional de Petróleo – ANP, desde 1998 estabeleceu a Cláusula de Investimento em Pesquisa e Desenvolvimento, que consta nos Contratos de Concessão para Exploração, Desenvolvimento e Produção de Petróleo e/ou Gás Natural assinado entre a ANP e a PETROBRAS. Essa cláusula implica no investimento no valor de 1% da receita bruta dos campos, na realização de despesas para pesquisa e desenvolvimento. Pelo menos metade do valor deste investimento deve incidir sobre contratação de instituições de P&D nacionais credenciadas, previamente, na ANP.

O acompanhamento desse investimento é realizado através do Sistema de Investimentos em Tecnologia – SIGITEC[11] que contempla, desde 2012, a inclusão de novos projetos e o acompanhamento de projetos já enviados pelas empresas. Caso as firmas precisem alterar a programação dos custos e pagamentos relatados no projeto, deve-se acessar o Sistema de Solicitação de Reformulação Financeira[12].

Todo o processo de investimento em P&D por parte da PETROBRAS relativo às instituições de pesquisas é normatizado pelo Manual de Convênios e Termos de Cooperação. Esse manual determina os termos e as aplicações de recursos da petrolífera em instituições de ciência e tecnologia, além de conter os principais pontos referentes a todas as fases de operacionalização, visando subsidiar os profissionais desses institutos envolvidos com a apresentação dos projetos, análises e prestação de contas.

---

[10] A explicação de cada uma dessas subáreas pode ser encontrada no site: <http://sites.PETROBRAS.com.br/minisite/comunidade_cienciatecnologia/portugues/redestematicas_objetivos.asp#>.

[11] Sistema criado para acompanhamento por parte dos atores envolvidos nos projetos de P&D submetidos para a PETROBRAS. Necessita de cadastro prévio para ser acessado no endereço: sigitec.PETROBRAS.com.br/SIGITEC/

[12] Solicitação que deve ser realizada para projetos submetidos que necessitem de alterações da programação dos desembolsos contemplados em um convênio anterior. Essa solicitação é realizada através do SIGITEC.

Através desses sistemas, a PETROBRAS busca de forma mais rápida e eficiente captar novas propostas de pesquisa e desenvolvimento, além acompanhar, e possibilitar o acompanhamento dessas propostas por parte das empresas que as submetem. Com base nos acordos firmados entre a ANP e a PETROBRAS, a petrolífera investe parcela da receita obtida em alguns campos em P&D, acompanhando todo o processo de investimento por um sistema online. Em relação às ICT's, o Manual de Convênios e Termos de Cooperação determina as principais cláusulas de aplicação do investimento realizado pela petrolífera para subsidiar o processo de P&D.

3.2. Sistema PETROBRAS de Inovação (SPI)

A PETROBRAS possui um modelo de inovação (SPI) diferenciado apoiado em redes de cooperação. Esse modelo não segue nem o modelo "não linear" (ênfase nas atividades inovativas que ocorrem dentro das empresas), nem o de "inovação aberta", pois eles não captam o *"efeito PETROBRAS"* (FIORAVANTE; AGUIRRE, 2013, p.116) sobre as empresas e universidades e nem a relação entre esses atores. No SPI a empresa atua ao mesmo tempo em quatro papeis fundamentais: 1) induzindo e financiando a inovação necessária à superação dos seus gargalos tecnológicos; 2) garantindo demanda para as novas soluções bem-sucedidas; 3) apoiando e estimulando o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias pelos parceiros por meio de interação usuário-inovador/produtor intensa e próxima – testando e sugerindo aperfeiçoamentos e melhorias; 4) reduzindo as incertezas inerentes ao desenvolvimento tecnológico por meio da "aproximação", interação e integração dos conhecimentos, projetos, etc, entre os principais agentes partícipes. Em suma, além de indicar as direções das inovações, a PETROBRAS age também como mercado para essas novas tecnologias (garantia da viabilidade comercial) e "campo de provas/testes" dessas tecnologias. A empresa petrolífera, entretanto, não realiza nenhuma etapa do processo inovativo, fato que requer redesenhar o seu papel, ou seja, definir um novo modelo de inovação. Nessa perspectiva, não se trata apenas de um caso do tipo "dominado pelo fornecedor" (PAVITT, 1988), pois o usuário é coordenador ativo e financia as atividades de pesquisas.

A firma petrolífera tem atraído grandes empresas fornecedoras para a o Rio de Janeiro, principalmente nas proximidades da Ilha do Fundão, reforçando o "Sistema PETROBRAS de Inovação" e dando-lhe um "núcleo" localizado. As universidades, por sua vez, como os maiores

centros de pesquisas do Brasil, buscam historicamente suprir as necessidades científicas e tecnológicas da PETROBRAS. Dessa forma, as três principais esferas do modelo de inovação em questão são a própria PETROBRAS, as empresas parceiras, interessadas em manter-se em linha com os avanços tecnológicos na área e no mercado (faturamento) oriundos dessa relação, e as universidades e institutos de pesquisa do país.

Figura 6 - Dinâmica da Atividade de Inovação entre a PETROBRAS, Empresas Parceiras e Universidades

Fonte: Elaboração própria.

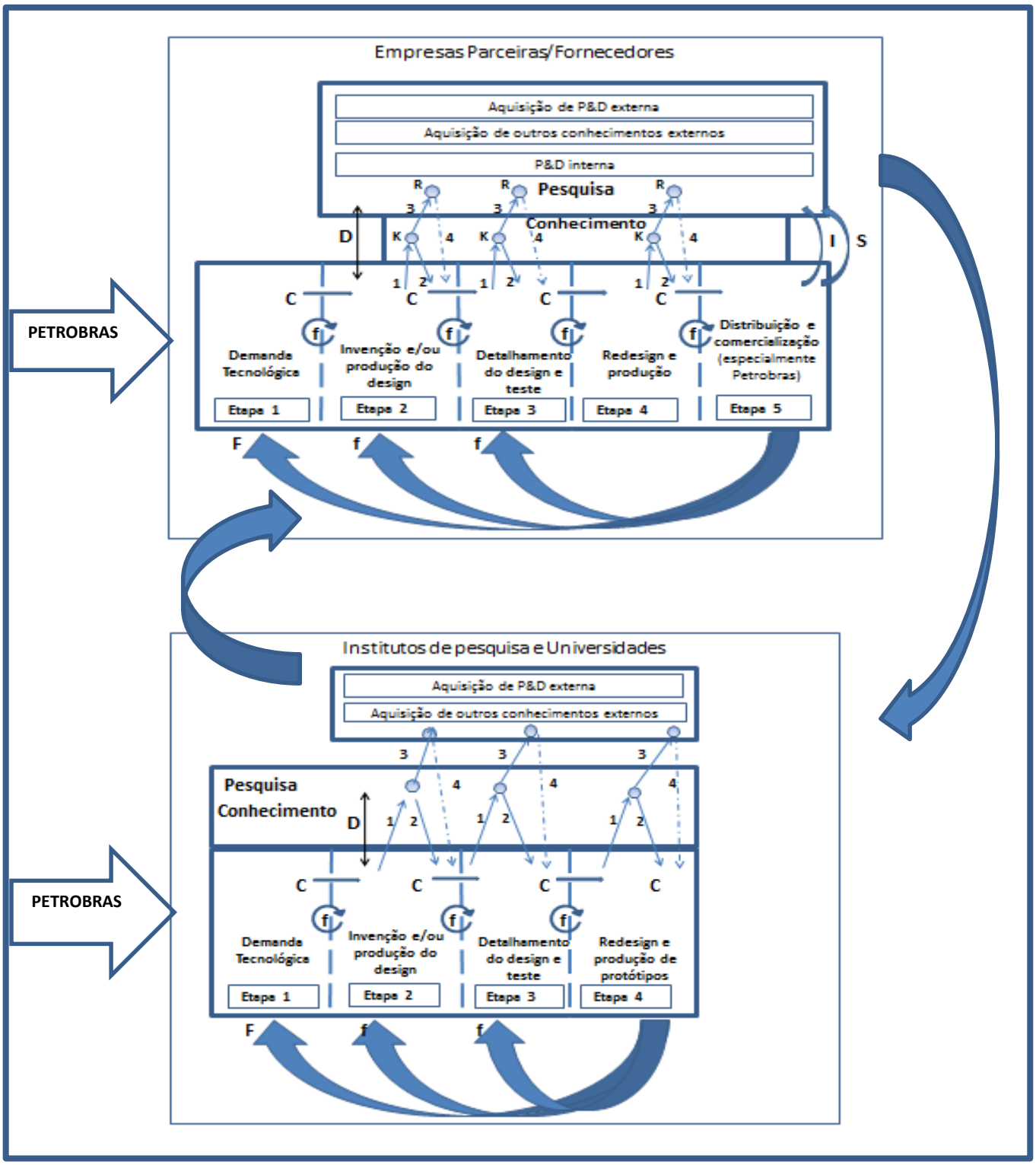
Na Figura 6, cada uma dessas esferas são representadas por engrenagens que participam conjuntamente de um processo dinâmico com efeitos de interação e retroação. A PETROBRAS age como "empresa motor" que garante o movimento ao sistema e a direção do processo inovativo. Nesse sentido, além de engrenagem principal do sistema, ao mesmo tempo em que a demanda por inovações da empresa determina as trajetórias ou "caminhos" tecnológicos a serem seguidos, incita empresas e centros de pesquisa nas atividades de buscas para suprir os desafios presentes. As diferentes cores das setas indicam que o processo não pode ser do tipo linear, podendo ser iniciado por qualquer um dos agentes, seja na direção de impulsionar as empresas e demandar pesquisas das universidades, seja nas interações que também se estabelecem entre essas instituições. A Figura 7 procura descrever as relações do Sistema PETROBRAS de Inovação.

Como mencionado, a PETROBRAS não realiza atividades internas de P&D, mas atua na definição e garante a aquisição das inovações desenvolvidas por outras empresas. Durante o processo de inovação, há aquisição de conhecimento (troca) entre as instituições de pesquisas

e as empresas no processo de P&D que elas realizam. As universidades seguem com a atividade inovativa até a produção e testes de protótipos, mas a manufatura do produto resultado da inovação é realizada pelos fornecedores parceiros. Dessa forma, o *learning by trying* e *learning by doing* concentram-se nas atividades de empresas e universidades, enquanto que a petrolífera transfere aos parceiros o *learning by using*. A Figura 7, procura ajustar o "modelo interativo de inovação" às especificidades do SPI incorporando, como proposto pelo *Manual de Oslo* (OCDE, 2005), os oito tipos de atividades entendidas como tecnológicas.

O diagrama procura integrar empresas e instituições de pesquisas de forma a mostrar a interação entre elas e o papel da PETROBRAS como "motor" que dirige o processo: a PETROBAS (seta da esquerda) dá início, direciona e impulsiona o processo inovativo tanto das empresas como das universidades e centros de pesquisas. A concepção desse diagrama segue a do modelo não linear de inovação: as empresas ("bloco" superior) e universidades e centros de pesquisas ("bloco" inferior) são responsáveis pelos desenvolvimentos da inovação, seja em cooperação, seja de forma isolada. No entanto, os centros de pesquisas não manufaturam comercialmente os produtos - ou tecnologias - desenvolvidos, atividade transferida para as empresas. Nesse sentido, a produção em escala é realizada unicamente pelas fornecedoras parceiras – principal diferença entre os "blocos" superior e inferior do diagrama. Assim, o modelo criado para explicar o SPI é composto, também, por cinco diferentes etapas sendo quatro delas realizadas tanto pelas empresas como pelos centros de pesquisas e universidades. A quinta etapa é realizada somente pelas empresas.

Figura 7 - Sistema PETROBRAS de Inovação (SPI)



Fonte: Elaboração própria.

Na figura 7 temos o "tradicional" caminho "C", como proposto no modelo linear e mantido no não linear. É um caminho possível, mas para espelhar a realidade precisa ser complementando pelos mecanismos de retroalimentação - vide capítulo 1. Esses mecanismos,

que são fundamentais já que a PETROBRAS busca formas ágeis para suprir os gargalos tecnológicos da exploração em águas profundas, estão denotados pelos efeitos "f" de *feedback* entre as fases. Nas diferentes etapas do processo de inovação esses efeitos retroativos possibilitam acessar conhecimentos já existentes dentro das empresas parceiras e nas universidades. Dessa forma há interações entre as diferentes etapas, explicitando a busca por formas mais rápidas e práticas para resolver algum problema que possa surgir no caminho. Ademais, os efeitos "f" e "F" das setas largas inferiores podem ser interpretados como *leaning by using* e/ou *interaction*, ou seja, os aprendizados que retornam pelas relações e proximidades com as atividades da PETROBRAS.

Assim, o diagrama procura incorporar os papéis da PETROBRAS: demanda por inovações (setas do lado esquerdo), usuária da nova tecnologia e as importantes interações com as empresas e universidades por mecanismos de *feedbacks.* Adicionalmente, a seta do lado direito e a que "une" os dois "blocos" (superior e inferior) visam estabelecer as relações de interação entre as empresas e os centros de pesquisas para a troca de conhecimentos e informações para criação de tecnologias que supram as necessidades da demandante. É importante ressaltar que o papel da PETROBRAS não é só de usuária das tecnologias desenvolvidas, mas também de mercado potencial para outras surgidas "aleatoriamente" dentro do processo de inovação. Nesse sentido, a petrolífera atua também como fiadora de uma rede de interações diretas e indiretas que tendem a se tornar mais densas e a induzir inovações além daquelas voltadas para atender as "encomendas" enquanto os desafios tecnológicos perdurarem.

Os caminhos "K" e "R" mostram os conhecimentos que as empresas ("bloco" superior) requerem a cada etapa de seus laboratórios de pesquisa e, quando insuficientes, de outros agentes externos, especialmente centro de pesquisa e universidades ("bloco" inferior). Durante o processo inovativo os fluxos de informações e conhecimentos podem ser intensos e exigir a troca de informações e a ação conjunta de centros de pesquisas e empresas parceiras. Quando se deseja criar a tecnologia para um produto potencial, os conhecimentos tácitos e codificados, adquiridos e acumulados ao longo do tempo, tornam-se imprescindíveis para se chegar a um resultado da forma mais rápida e eficiente possível. Esses conhecimentos são repassados à empresa demandante e o caminho "I" representa a mão de obra especializada necessária muitas vezes para instalação do novo produto tecnológico.

A "inovação aberta", ou acesso a competências externas, e os efeitos de retroação e mecanismos de *feedback* possibilitam a troca bilateral de conhecimentos entre empresas e

universidades. Assim, frente a um novo problema, é possível alcançar uma solução que não precisa passar, necessariamente, por cada etapa do processo inovativo de forma "linear". Em outras palavras, pode-se resolver um problema de forma mais rápida e objetiva, partindo de um ponto intermediário do processo e redefinindo-o para as novas necessidades.

Na Etapa 1, denominada de demanda tecnológica, são detectadas e analisadas as dificuldades para exploração petrolífera em águas profundas. Em seguida, determinam-se as lacunas e necessidade tecnológicas para suprir esses "gargalos" e define-se o projeto de inovação a ser desenvolvido (externamente a PETROBRAS), ou seja, são estabelecidas as diretrizes para o novo projeto.

As etapas 2 e 3, quando são comuns inovações incrementais ou arquitetônicas (predominante para este estudo), estão mais relacionadas à pesquisa do que as etapas subsequentes, pois há uma preocupação em conseguir realizar a inovação no menor período de tempo e riscos possíveis. As etapas 1, 2 e 3 são realizadas pelos institutos de pesquisas e universidades, frequentemente com a cooperação de empresas.

No *redisign e produção* (Etapa 4), é realizada a fabricação de protótipo e testes e, se necessário, alterações no projeto inicial. As universidades e instituições de pesquisas se envolvem até a Etapa 4. A Etapa 5 é de exclusividade das empresas parceiras da PETROBRAS, que fabricam o produto, muitas vezes auxiliando na instalação da tecnologia, na capacitação da mão de obra para lidar com a inovação e, até mesmo, na manutenção do produto. Por fim, a PETROBRAS realiza suas atividades de extração, produção e, finalmente, comercialização de petróleo e derivados.

Dessa forma, as inovações produzem resultados positivos a todos os parceiros. As empresas, em geral, multinacionais líderes em seus segmentos de negócios (vide mapa item 3.1.1), mantêm a vanguarda tecnológica e auferem os lucros "extraordinários" advindos da comercialização de seus produtos diferenciados. As universidades e centros de pesquisa obtêm suporte financeiro para realizar as suas pesquisas, reforçar a sua reputação em consequência da formação de profissionais altamente qualificados e do sucesso em termos de alianças cooperativas e tecnologias desenvolvidas, ou seja, do conjunto das atividades realizadas em prol do desenvolvimento socioeconômico. A PETROBRAS, usuária das tecnologias da fronteira, beneficia-se pela liderança e *expertise* diferenciada no segmento *offshore* e pelas reservas de óleo tornadas acessíveis à exploração pelas novas tecnologias.

3.3. Alguns Exemplos de Inovações Arquitetônicas

A exploração de petróleo em águas marítimas começou nos Estados Unidos no fim dos anos de 1940. Nessa ocasião, eram utilizadas tecnologias de extração *onshore* com pequenas adaptações. No decorrer dos anos 1970 e 1980 a produção offshore começa a se desenvolver com a extração no Mar do Norte e com geologias cada vez mais complexas. A extração de petróleo em águas cada vez mais profundas impõe a necessidade de uma contínua inovação tecnológica em razão das mudanças nas condições de extração cada vez mais hostis (pressão, temperatura e a distância da costa, etc) e que afetam os equipamentos e maquinários.

Além das dificuldades crescentes, a extração *offshore* adiciona outras preocupações como a obrigação de evitar riscos ao meio ambiente, reduzir custos de projetos e ampliar a capacidade produtiva em regiões geológicas de difícil acesso, entre outros. Esses fatores influenciam na velocidade e custo da transformação técnica. A cooperação entre empresas e universidades busca realizar as inovações necessárias, diminuir tempo de P&D e os custos e riscos intrínsecos à atividade de inovação. Por isso, os agentes inovadores recorrem, muitas vezes, às reconfigurações e recombinações técnicas para solucionar as dificuldades encontradas pela petrolífera.

Com a nova fronteira tecnológica do Pré-sal várias inovações arquitetônicas (vide capítulo 1) foram realizadas. Novas tecnologias em sistemas de prospecção, extração, transporte e produção surgiram para tentar superar as dificuldades encontradas em águas muito profundas.

As remodelagens das plataformas fixas são exemplos de inovações arquitetônicas. Inicialmente elas eram construídas em madeira, mas, frente às condições adversas marítimas e meteorológicas, foi necessário um novo tipo de estrutura. As plataformas fixas muitas vezes são uma estrutura combinada de concreto e convés de aço, mas, por serem fixas, podem ser instaladas no máximo até 300 metros de profundidade. Esse tipo de plataforma foi reconfigurado nas chamadas plataformas autoeleváveis, empregadas na Bacia de Campos. Nessa tecnologia, assim como as plataformas fixas, os equipamentos necessários à produção estão apoiados em estruturas de aço colocadas no fundo do mar e macacos hidráulicos servem para erguê-las acima da superfície marítima, evitando as ondas e flutuações das marés.

As plataformas semissubmersíveis (não fixas) são construídas com a combinação de um ou mais conveses apoiados em colunas, que, por sua vez, são apoiadas em flutuadores submersos. Essas plataformas podem ser mantidas na localização desejada por ancoragem, feitas por cabos de poliéster ou aço (as amarrações das plataformas às âncoras que são cravadas no fundo do mar), ou podem ser mantidas por sistema de Posicionamento Dinâmico (PD) que utiliza sensores instalados no leito marinho ou por propulsores no casco que movimentam a plataforma até o posicionamento necessário. Assim, o antigo conceito de plataforma fixa foi substituído pelo de plataforma móvel (mas estacionada por amarração ou sistemas mais complexos), que flutua como um navio. Em suma, um primeiro passo para alcançar reservas em profundidades elevadas da "união" de tecnologias tradicionais para extração de petróleo e da indústria naval.

Os atuais navios-plataformas FPSO, que são construídos com cascos de navios petroleiros ajustados às necessidades desejadas, possuem a função de produção, armazenamento e transbordo de petróleo e gás natural. Há duas variações desse tipo de plataforma, a FPDSO (*Floating, Production, Drilling, Storage and Offloading*) na qual é acoplada tecnologia para perfuração de poço, e a FPWSO (W- *Workover*) em que se adiciona à plataforma tecnologias para intervenções em poços, como maquinário para substituição de tubos de produção.

A plataforma FPSO Monocoluna possui estrutura semelhante à da FPSO, porém é sustentada por uma estrutura cilíndrica flutuante, os tanques de flutuação. Essa estrutura é produzida em aço e fica ancorada ao leito marítimo por cabos tensionados (sistema *taut leg*). A *Tension Leg Plataform* (TLP) possui função de perfuração e produção e é sustentada por um sistema de boias de flutuação que são ancoradas no leito marinho por cabos de aço tensionados que são presos pelo sistema de ancoragem que utiliza estacas-torpedo que se cravam ao solo marinho. A TLWP (W-*Wellhead*) é uma TLP que é utilizada pela PETROBRAS juntamente com uma plataforma do tipo FPSO, esta última para realizar a função de processamento, ligadas por uma bomba volumétrica do tipo duplo-parafuso, que realiza o bombeamento multifásico para transferência do petróleo e gás produzido de uma plataforma para outra (PETROBRAS, 2015).

Nos Navios Sondas a inovação arquitetônica fica ainda mais aparente, pois a sonda de perfuração anteriormente "era operada em uma plataforma acoplada a um barco" (MORAIS, 2013, p.104) e depois era removida. Com os avanços nas atividades de inovação, ampliou-se a

eficiência das tecnologias utilizadas em perfuração, instalando-as de forma definitiva nos barcos. Os Navios Sondas podem ser reconfigurados para atuarem como plataformas de produção também. O Quadro 5 traz uma síntese das características das principais plataformas citadas.

Quadro 5 - Tipos de plataformas utilizadas pela PETROBRAS

	Fixa	**Autoelevável (ou autoelevatória ou jack-up)**	**Semissubmersível**	**FPSO**	**FPSO Monocoluna**	**TLWP (plataforma de pernas atirantadas)**	**Navio-Sonda**
Lâmina d'água (profundidade no local da instalação/operação)	Até 300 metros.	Até 150 metros.	Mais de 2.000 metros (pode ser instalada em grandes profundidades graças aos sistemas de ancoragem modernos).	Mais de 2.000 metros (pode ser instalada em grandes profundidades graças aos sistemas de ancoragem modernos).	Mais de 2.000 metros.	Até 1.500 metros.	Mais de 2.000 metros.
Como é	Funciona como uma estrutura rígida, fixada no fundo do mar por um sistema de estacas cravadas.	Tem pernas que se autoelevam. Ao chegar à locação, um mecanismo faz as pernas descerem e serem assentadas no solo marinho.	Plataforma flutuante, estabilizada por colunas. Pode ser ancorada no solo marinho ou dotada de sistema de posicionamento dinâmico, que mantém a posição da plataforma de forma automática.	Plataforma flutuante, convertida a partir de navios petroleiros, na maioria dos casos. Assim como a semissubmersível, é ancorada no solo marinho.	Tem as mesmas características da FPSO, mas seu casco tem formato cilíndrico.	Plataforma flutuante, de casco semelhante a uma semissubmersível. É ancorada no fundo do mar por cabos ou tendões de aço tracionados.	Plataforma flutuante com casco em forma de navio, usada para perfuração de poços. Pode ser ancorada no solo marítimo ou dotada de sistema de posicionamento dinâmico, que mantêm a posição da embarcação de forma automática.
Atividade de perfuração	Sim.	Sim.	Sim (algumas podem ser só de produção).	Não.	Não.	Sim (só para a manutenção dos poços).	Sim.
Atividade de produção	Sim.	Não.	Sim (algumas podem ser só de perfuração).	Sim.	Sim (geralmente são unidades de perfuração ou de produção).	Sim.	Não.
Onde é feito o controle dos poços	Superfície.	Superfície.	Fundo do mar.	Fundo do mar.	Fundo do mar.	Superfície.	Fundo do mar.
Capacidade de armazenamento	Não.	Não.	Não.	Sim.	Sim.	Não.	Não.
Escoamento da produção	Oleodutos.	Não.	Oleodutos ou armazenamento em navios e posterior descarregamento nos terminais.	O óleo é exportado para navios petroleiros, que o descarregam nos terminais.	O óleo é exportado para navios petroleiros, que o descarregam nos terminais.	O óleo é escoado para uma plataforma de produção (FPSO), que realiza o processamento e o exporta através de navios.	Não.
Vantagem	A instalação é mais simples e permite que o controle dos poços seja feito na superfície.	A facilidade para mudar de locação e o comportamento de estrutura fixa, que permite que o controle dos poços seja feito na superfície.	Especialmente projetada para ter pouco movimento.	A capacidade de armazenamento permite que opere a grandes distâncias da costa, onde a construção de oleodutos é inviável.	Movimentos menores do que os FPSOs tipo Navio.	Possui sistema de ancoragem rígido e movimentos reduzidos, o que permite que o controle dos poços seja feito na superfície.	Maior autonomia para perfurar em grandes distâncias da costa.

Fonte: PETROBRAS, 2015.

Além das plataformas, as inovações arquitetônicas são utilizadas na realização de equipamentos e sistemas para viabilizar a produção em águas profundas sem a necessidade de ruptura da trajetória tecnológica em curso. O sistema integrado de monitoramento dos arames de tração é um exemplo. Esse sistema consiste num conjunto de fibras óticas acopladas a arames

da armadura de tração[13] nos dutos flexíveis. Enquanto os arames da armadura de tração são levemente retorcidos de forma vertical, o sistema de fibras óticas funciona praticamente como uma amarração feita de forma horizontal neste agrupamento, permitindo assim identificar rompimentos de arames e emitindo alertas para possibilitar a identificação do dano de forma mais rápida e realizar o reparo.

Os *Steel Lazy Wave Risers* (SLWR) são outra inovação que consiste na junção de tecnologias. As Boias de Sustentação de *Risers* (BSR) foram criadas para possibilitar a utilização de *risers* rígidos em grandes profundidades, pois elas garantem que os movimentos da plataforma flutuante não afetem diretamente esses *risers*. Quando acoplados a um conjunto de flutuadores colocados em corcova, os *risers* rígidos de aço podem operar em profundidades de até 2.140 metros[14] ligados a um navio-plataforma (FPSO). Assim, o FPSO se liga aos *risers* flexíveis, a BSR fica entre a plataforma e o leito marinho fazendo a conexão dos dutos flexíveis aos rígidos que ligam a boia ao poço no fundo do mar. Outra inovação incremental foi realizada nos *risers* rígidos para suportarem maiores pressões e processos de corrosão, os *Steel Catenary Risers* (SCR) foram construídos com tubos de aço carbono e revestidos em seu interior com *liner* metálico[15] que resiste à corrosão (PETROBRAS; 2015).

Esses são alguns exemplos de inovações arquitetônicas e incrementais (vide Quadro 4) que trazem uma seleção de inovações tecnológicas realizadas pela PETROBRAS com parcerias de empresas e centro de pesquisas. A petrolífera brasileira demanda as inovações que são desenvolvidas por empresas e universidades que buscam, de forma cooperativa, invenções que superem as dificuldades de exploração no Pré-sal. A PETROBRAS frente à necessidade tecnológica age como demandante de inovação, impulsionando e, muitas vezes, financiando as empresas e universidades a buscarem novas configurações técnicas que suportem as condições hostis de águas muito profundas. E, por fim, a PETROBRAS cumpre também o papel de receptora dessas tecnologias. Com a necessidade de diminuir riscos, custos e tempo na atividade inovativa, os agentes envolvidos nesse processo auferem melhores resultados agindo como uma rede de cooperação baseada na troca de conhecimentos e na atividade arquitetônica.

[13] Agrupamento de arames que constroem a camada responsável por resistir à força de tração nos dutos flexíveis.
[14] O primeiro SLWR está em fase final de instalação no FPSO Cidade de Ilhabela a profundidade de 2.140m.
[15] Revestimento metálico para proteger o interior dos dutos de aço.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há vários fatores que influenciam as decisões das empresas em relação ao processo de inovação. A incerteza é intrínseca ao processo inovativo, dando contornos de imprevisibilidades aos resultados futuros da inovação, e, por isso, restringe os cálculos sobre os gastos e rentabilidades futuras (incerteza de negócios). Isso leva as firmas a analisarem as melhores estratégias a serem adotadas perante cada situação e as consequentes decisões de investimentos. Muitas vezes, agir de forma rotineira frente a um desafio técnico, numa tentativa de minar a incerteza, é a estratégia. As firmas buscam ações normativas na sua conduta tecnológica para avançar competitivamente. Estas ações se expressam nas suas rotinas.

O Modelo de Kline e Rosenberg surge nos anos 80 como uma crítica e ruptura ao modelo linear em vigor. Este modelo introduz não apenas a interação entre usuário e produtores na atividade de inovação, mas também mostra a complexidade da atividade por meio dos mecanismos de *feedback* e a complementação dos conhecimentos internos por outros externos à firma, além da tradicional "cadeia central e hierárquica de inovação". Além disso, o *Chain-linked Model* ressalta a importância do projeto (*design*) e das interações entre as etapas do processo.

Tendo em vista o modelo interativo de inovação, destacamos que o processo de aprendizagem reforça virtuosamente a melhoria das tecnologias e da competitividade da firma. O processo de inovação pode surgir da pesquisa e representar uma ruptura com o paradigma vigente, auferindo o *status* de inovação radical. Alternativamente, tal processo pode ocorrer dentro do paradigma vigente, por meio de aperfeiçoamento ou reconfiguração das tecnologias existentes. Nestes casos, há menor grau de incertezas e é possível a utilização de conhecimentos anteriormente adquiridos para suprir as dificuldades mercadológicas. Existem duas classes do segundo caso: uma inovação incremental ou arquitetônica mantém aspectos essenciais de duas ou mais tecnologias.

O petróleo é, atualmente, elemento essencial na economia mundial. Quando considerada a matriz energética mundial, o petróleo ainda é o insumo mais utilizado, seguido pelo gás natural - segundo a *International Energy Agency*. Além disso, seus derivados são utilizados em várias atividades do setor econômico, desde combustíveis, solventes, lubrificantes, a velas e cosméticos, até na indústria alimentícia.

As etapas da atividade petrolífera são várias, podendo ser divididas entre *upstream* e *downstream*. Em todas as etapas são utilizadas várias tecnologias, que vão desde sismógrafos, tubos de revestimentos, árvore de natal molhada à oleodutos. A princípio, os países em desenvolvimento são importadores de tecnologias, mas, com a descoberta de petróleo em águas profundas, as tecnologias internacionais já não supriam as necessidades da PETROBRAS. A empresa passou a requerer tecnologias que possibilitassem a exploração de petróleo em regiões geológicas com inúmeras dificuldades de extração.

Para dar continuidade a produção *offshore*, a PETROBRAS tem demandado, das empresas parceiras e universidades, inúmeras inovações técnicas. Devido aos grandes riscos presentes na atividade de inovação e a permanente necessidade de conhecimentos, a petrolífera estabeleceu uma rede, em boa medida baseada na cooperação entre empresas fornecedoras e centros de pesquisas, para suprir as novas tecnologias necessárias às suas atividades, dividindo custos, riscos, tempo, e possibilitando uma troca de informações e, principalmente, conhecimentos.

A PETROBRAS coordena e dirige a rede de cooperação para criar inovações que supram os gargalos técnicos de exploração de petróleo em águas profundas e ultraprofundas. As empresas e universidades se relacionam a partir da demandada por inovações da PETROBRAS, que são garantidas tanto pelo financiamento para a atividade inovativa, quanto pelas receitas da comercialização das soluções alcançadas. Nessa estratégia a PETROBRAS tem conseguido auferir bons resultados, mantendo-se na liderança do setor *offshore*.

O Sistema PETROBRAS de Inovação apresenta-se como uma alternativa aos modelos de inovação criados para explicar os papeis da petrolífera brasileira na atividade inovativa e dos centros de pesquisas e empresas parceiras. A PETROBRAS apresenta-se como demandante das inovações, assim que se depara com um novo obstáculo à produção de petróleo e gás natural em águas profundas. A petrolífera, frente à necessidade de uma nova tecnologia, impulsiona o processo inovativo, estimula o *learning by interaction*, transfere conhecimento próprios (*learning by doing e by using)* e atua como "campo de teste". Além de fiadora dos riscos da inovação, garante a aquisição das tecnologias resultantes.

As universidades e empresas parceiras têm na troca de conhecimentos possibilidades de ganho de aprendizado e diminuição do tempo de invenção de uma nova tecnologia, além de redução das incertezas intrínsecas ao processo de inovação e dos custos dispendidos nas

atividades. Pelas características da dinâmica tecnológica do setor e na perspectiva de minorar os riscos rompendo a trajetória tecnológica vigente, as inovações incrementais e arquitetônicas apresentam-se como uma boa opção. As inovações realizadas para superar os desafios tecnológicos da PETROBRAS no Pré-sal foram, em sua maioria, desses dois tipos.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, R.A. **Inovação nos Produtos, Processos e Organizações**. Porto: Sociedade Portuguesa de Inovação, 1999.

BAZZO, K. C; PORTO, G.S. Redes de cooperação da PETROBRAS: um mapeamento a partir das patentes. **Impactos Tecnológicos das Parcerias da PETROBRAS com Universidades e Centros de Pesquisa**. Brasília – Ipea: PETROBRAS, 2013. P. 163-208.

BRASIL, NI do; ARAÚJO, M. A. S.; SOUSA, ECM. **Processamento de Petróleo e Gás: petróleo e seus derivados, processamento primário, processos de refino, petroquímica, meio ambiente**. 2011.

CÁRIO, S. A. F. Contribuição do paradigma microdinâmico neo-schumpeteriano à teoria econômica contemporânea. **Textos de Economia**, v. 6, n. 1, p. 155-170, 1995.

CHESBROUGH, H. W. **Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology**. Harvard Business Press, 2003.

CONDE, M. V. F.; ARAÚJO-JORGE, T. C. Modelos e concepções de inovação: a transição de paradigmas, a reforma da C&T brasileira e as concepções de gestores de uma instituição pública de pesquisa em saúde. **Ciência & saúde coletiva**, 2003, v.8, n.3, p. 727-741. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141381232003000300007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: Jan. 2015.

COSTA, L.C.S. Desafios Tecnológicos da Petrobras. FIEMG-Câmara da Indústria de Petróleo e Gás. 2010. Disponível em: < http://ielged.fiemg.com.br/portalid100/Documentos%20Pblicos/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20Petrobras%20-%20CENPES.pdf> Acesso em: Nov. 2014.

DE NEGRI, J. A. et. al. (Org.) **Poder de Compra da PETROBRAS: impactos econômicos nos seus fornecedores.** Brasília: IPEA: PETROBRAS, 2010, 106 p.

DE PELLEGRIN, Ivan et al. Redes de inovação: construção e gestão da cooperação pró-inovação. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, v. 42, n. 3, 2007, p. 313-325.

DOSI, G., Sources, Procedures and Microeconomic Effects of Innovation. **Journal of Economic Literature**, vol. 26, n. 3 (Set. 1988), p. 1120-1171. Traduzido por José Ricardo Fucidji, Fontes, Procedimentos e Efeitos Microeconômicos da Inovação, 52 p. Disponível em:<http://pt.slideshare.net/ProfessorAdalbertoAzevedo/dosi1988traduzido> Acesso em: Fev. 2014.

DOSI, G., The Nature of the Innovative Process. G., FREEMAN, C., NELSON, R. , SILVERBERG, G., SOETE, L. Technical Change and Economic Theory. London: Pinter Publishers, 1988 (a), p. 221-238.

DOSI, G [1982] **Mudança Técnica e Transformação Industrial: A teoria e uma aplicação à indústria dos semicondutores**. Campinas: Ed. Unicamp, 2006.

FIORAVANTE, D. G.; AGUIRRE, L. Acooperação entre universidades e empresas e os fornecedores da PETROBRAS. **Impactos Tecnológicos das Parcerias da PETROBRAS com Universidades e Centros de Pesquisa**. Brasília – Ipea: PETROBRAS, 2013, p. 115-138

FONSECA, M. G. LEITÃO, D. M. Reflexões sobre o relacionamento entre o CENPES e a universidade. **Boletim Técnico da PETROBRAS**, v. 31 (2), abr./jun. 1988, p. 165-173.

FORNARI, V. C. B.; GOMES, R.; MORCEIRO, P. C. Atividades Inovativas em Indústrias de Baixa e Média-Baixa Tecnologias: Um exame dos mecanismos de difusão da inovação. **Nova Economia** (UFMG. Impresso), v. 24, p. 75-97, 2014.

FREEMAN, C.; SOETE, L. (ed.). **The economics of industrial innovation**. Psychology Press, 1997.

FREEMAN, C. "Japan: a new national system of innovation". In Dosi, G. et al. (orgs.), **Technical change and economic theory**. Londres: Pinter, 1988.

FURTADO, A. T. **A trajetória tecnológica da PETROBRAS na produção offshore**. Revista Espacios Digital, v. 17 (3), 1996. Disponível em <http://www.revistaespacios.com/a96v17n03/30961703.html> Acesso em: Nov. 2014.

FURTADO, A. T.; FREITAS, A. G.; **Nacionalismo e Aprendizagem no Programa de Águas Profundas da PETROBRAS**, Rio de Janeiro: Revista Brasileira de Inovação – FINEP; v. 3, Jan-Jul, 2004.

GIELFI, G. G. **A interação usuário-produtor na indústria petrolífera nacional: o caso da PETROBRAS e seus fornecedores.** Trabalho de Conclusão de Curso, Unesp, 2010.

GIELFI, G.G. PEREIRA, N.M. GOMES, R. FORNARI, V.C.B. **User-producer interaction in the brazilian oil industry: the relationshop between PETROBRAS and its suplliers of wet christmas tree**. Journal of Management & Inovation, Vol. 8, Special Issue ALTEC, 2013.

HENDERSON, R. M., CLARK, K. B., **Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms**, Administrative Science Quarterly, 1990, v. 35, p. 9-30.

KLINE, S; ROSENBERG, N., **An Overview of Innovation**, in Landau, Washington, DC: National Academy of Press, 1986.KUPFER, D. Uma abordagem neo-schumpeteriana da competitividade industrial. **Ensaios FEE**, v. 17, n. 1, p. 355-372, 1996. Disponível em: <http://revistas.fee.tche.br/index.php/ensaios/article/view/1848/2217> Acesso em: Fev. 2015.

LAND, W. L. C. Pesquisa industrial. **Boletim Técnico da PETROBRAS**, número especial, fev. 1964, v. 7, p. 109-127.

LEITÃO, D. M. Dez anos de pesquisa tecnológica sobre processos. **Boletim Técnico da PETROBRAS**, nº 1, jan. /mar. 1984, v. 27, p. 50-73.

MARQUES, A.; ABRUNHOSA, A. **Do modelo linear de inovação à abordagem sistémica: aspectos teóricos e de política econômica**. Discussionpaper (June) nº. 33. Centro de Estudos da União Européia. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2005.

MORAES, C. A. C. **Inovação, Estratégia e Mudança Organizacional**. In: 1º Encontro Nacional de Estudos Organizacionais - ENEO/ANPAD, 2000, Curitiba, 2000. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/eneo2000-46.pdf>. Acesso em: 13 de agosto de 2014.

MORAIS, J. M. **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore**. Brasília: Ipea: PETROBRAS, 2013. Disponível em <http://hdl.handle.net/11058/1147>. Acesso em: 05 de novembro de 2013.

NELSON, R.R.; WINTER, S.G. **Uma teoria evolucionária da mudança econômica**; tradutora: Cláudia Heller – Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005.

OCDE-**MANUAL DE OSLO. Proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica**. Finep - tradução português, 2005.

PAVITT, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: towards ataxonom y a nd a theory. **Research Policy**, North-Holland, v.13, n.4.

PENROSE, E. **The theory of the Growth of the Firm**. Oxford: Basic Blackwell, 1959.

PETROBRAS. **Comunicados - Relacionamentos com Investidores**, 2014 (a). Disponível em: <http://investidorPETROBRAS.com.br/pt/destaques/inicio-da-producao-em-novo-poco-no-campo-de-sapinhoa-com-vazao-de-33-mil-barris-por-dia.htm> Acesso em: 26 set. 2014.

PETROBRAS. **Inforgráfico Tecnologias do Futuro**, 2015. Desponível em: < http://www.PETROBRAS.com.br/infograficos/tecnologia-e-inovacao/tecnologias-do-futuro/index.html> Acesso em: Abr. 2015.

PETROBRAS. **RIMA - Relatório de Impacto Ambiental - Revisão 01, Testes de Longa Duração** - TLDs nas Áreas de Guará e Carioca (BM-S-9), Tupi Nordeste e Iracema (BM-S-11), Bacia de Santos. ICF INTERNACIONAL. Rio de Janeiro, nov. 2011.

PETROBRAS. Plano de Negócios e Gestão 2015-2019. Rio de Janeiro, jun. 2015 (a). Disponível em: < http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/apresentacoes/plano-de-negocios-e-gestao> Acesso em: Ago. 2015.

PETROBRAS. **Relatório de Tecnologia 2014**. Rio de Janeiro, set. 2015 (b). Disponível em: < http://www.PETROBRAS.com.br/pt/nossas-atividades/tecnologia-e-inovacao/> Acesso em: Set. 2015.

PETROBRAS. **Relatório de Tecnologia 2013**. Rio de Janeiro, set. 2014 (b). Disponível em: < http://www.PETROBRAS.com.br/pt/nossas-atividades/tecnologia-e-inovacao/> Acesso em: Mar. 2015.

PETROBRAS. **Relatório de Tecnologia 2012**. Rio de Janeiro, set. 2013. Disponível em: < http://www.PETROBRAS.com.br/pt/nossas-atividades/tecnologia-e-inovacao/> Acesso em: Dez. 2014.

PETROBRAS. **Relatório de Tecnologia 2011**. Rio de Janeiro, jun. 2012. Disponível em: < http://www.PETROBRAS.com.br/pt/nossas-atividades/tecnologia-e-inovacao/> Acesso em: Dez. 2014.

PORTO, G. S.; TURCHI, L.; COSTA, P. R. Radiografia das parcerias entre PETROBRAS Universidades e ICTS. In: Turchi, L.; De Negri, F.; De Negri, J. A. (Org.). **Impactos Tecnológicos das Parcerias da PETROBRAS com Universidades e Centros de Pesquisa nas Firmas Brasileiras**. 1ed.Brasilia: IPEA, 2013, p. 1-41.

RAPINI, M. S. **Padrão de financiamentos aos investimentos em inovação no Brasil.** Texto para discussão nº 497. CEDEPLAR/UFMG, 2013.

ROSENBERG, N. **Inside the black box: technology and economics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. 304 p.

ROSENBLOOM, R. S.; CHRISTENSEN, C. M. Technological discontinuities organizational capabilities, and atrategic commitments. In: DOSI, G.; TEECE, D. J.; CHYTRY, J. **Tecnology, organization, and competitiveness.** Oxford University Press, 1998.

SANTOS E.D., SILVA, V.M.A. MEDEIROS, R.M. **Inovação tecnológica e sustentabilidade dos biocombustíveis: o caso do biodiesel da mamona.** Revista Eletrônica Polêmica, Vol. 12, n. 1. Rio de Janeiro: UERJ, 2013. Disponível em <http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/polemica/article/view/5297> Acesso em: 15 nov. 2013.

SCHUMPETER, J. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SILVEIRA, J. P. [2011] Fundamentos do Programa de Capacitação Tecnológica em Águas Profundas (PROCAP), In: Morais (org.) **Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da PETROBRAS na exploração e produção offshore**. Brasília: Ipea: PETROBRAS, 2013. Disponível em <http://hdl.handle.net/11058/1147>. Acesso em: 05 de novembro de 2013.

TUSHMAN, M. A., ANDERSON, P., 1986, "Technological Discontinuities and Organization Environments", **Administrative Science Quarterly**, v. 31, pp.439-465.

TUSHMAN, M. A., O'REILLY, C. A., **Winning Through Innovation: A Practical Guide to Leading Organizational Change and Renewal**, Boston, Harvard Business School Press, 1997.

WILLIAMS, I. Z. Pesquisa Tecnológica na PETROBRAS – a conquista de um objetivo. **Boletim Técnico da PETROBRAS**, jan. /mar. 1967, p. 85-98.