

DESENVOLVIMENTOS TECNOLÓGICOS EM RECUPERAÇÃO AVANÇADA DE PETRÓLEO

ELIAS RAMOS DE SOUZA
Instituto Federal da Bahia (IFBA), Brasil
eamosdesouza@gmail.com

ALICE KINUE JOMORI DE PINHO
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Brasil
apinho@anp.gov.br

ANDERSON LOPES RODRIGUES DE LIMA
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Brasil
alima@anp.gov.br

CLAUDIO JORGE DE SOUZA
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Brasil
cjsouza@anp.gov.br

NEY MAURICIO CARNEIRO DA CUNHA
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Brasil
ncunha@anp.gov.br

PATRÍCIA HUGUENIN BARAN
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Brasil
phuguenin@anp.gov.br

RESUMO

O estudo mapeou os desenvolvimentos tecnológicos recentes em recuperação avançada de petróleo, através da análise das patentes depositadas por empresas e outras instituições que investem em P,D &I no mundo, utilizando a ferramenta Thomson Innovation. Para tanto, foram definidos dois temas de investigação: recuperação avançada de petróleo (ou EOR na sigla em inglês), considerando o aumento crescente do interesse da indústria na elevação do fator de recuperação de petróleo e gás natural dos reservatórios, e separação de materiais produzidos pelo poço, em função da tendência de elevação da produção de petróleo *offshore*, em regiões mais distantes da costa e em profundidades maiores. A avaliação quantitativa e qualitativa das patentes depositadas de 1980 a 2014, a partir dos critérios de país de origem (país do primeiro depósito), ano de aplicação e instituição depositante permitiram concluir que o período entre 2000 e 2014 foi extremamente positivo para o aumento de pesquisa nestes campos de conhecimento, ao se utilizar como indicador o volume de depósitos de patentes. Paralelamente também se observou o aumento significativo da participação da China no total de depósitos, enquanto os EUA se mantiveram como protagonistas durante o período analisado e a Noruega se destacou pela quantidade de patentes no segmento de separação submarina. Adicionalmente, o depósito das patentes foi realizado predominantemente pelas companhias petrolíferas e empresas prestadoras de serviços do setor. A exceção ocorreu no segmento de composições em métodos de melhoria para recuperação de hidrocarbonetos (C09K), onde as universidades norte-americanas e chinesas apresentaram participação de 19%

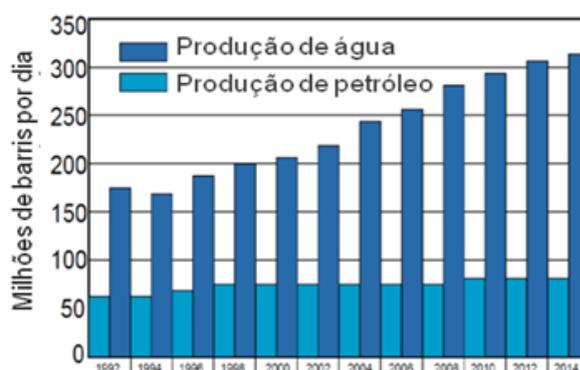
nos depósitos de patentes, parcela bastante superior a média de 3% encontrada segmento de métodos de recuperação avançada de óleo (E21B).

1. INTRODUÇÃO

A elevação concomitante no consumo e no preço do petróleo desde o início dos anos 2000 viabilizou a produção em áreas desafiadoras e permitiu maiores investimentos em tecnologias voltadas para aumentar o fator de recuperação dos campos de petróleo. Dois temas com desenvolvimentos e desafios tecnológicos recentes se destacaram nesse cenário: a recuperação avançada de petróleo (ou EOR na sigla em inglês¹) e a separação de materiais produzidos pelo poço. O objetivo do estudo é mapear esses segmentos através da análise das patentes depositadas no mundo.

A escolha da investigação das patentes na área de separação se deu pela tendência de elevação da produção de petróleo *offshore*, em regiões mais distantes da costa e em profundidades maiores. Além disso, a extração de petróleo vem acompanhada cada vez mais de água, conforme observado na Figura 1. A estimativa para 2014 é de que, para cada barril de óleo produzido, quatro barris de água foram extraídos.

Figura 1- Produção global de água e petróleo – 1992-2014.



Fonte: Prescott (2012).

O aumento dos custos de desenvolvimento e produção em campos localizados em águas profundas e em locais cada vez mais desafiadores tem estimulado a pesquisa de equipamentos submarinos, em especial de separação de óleo e água e separação de óleo e gás natural. Essas tecnologias trazem diversas vantagens: permitem otimizar a utilização da planta, ao liberar capacidade de processamento da unidade de produção e, com isso, reduzem a necessidade de espaço nas plataformas; liberam capacidade de transporte na malha de dutos, navio cisterna, navios aliviadores e em tanques de armazenamento em terminais; reduzem problemas de incrustação e corrosão; permitem acelerar e aumentar a recuperação de petróleo e gás natural, entre outros (Capela, 2012).

Desde o início da década de 2000, Statoil, Shell, Petrobras e Total desenvolveram instalações submarinas de separação, com diferentes tecnologias e em parceria com empresas parapetrolíferas, o que mostra o crescente interesse das companhias no tema (Figura 2).

¹ Enhanced Oil Recovery.

Figura 2 - Instalações submarinas de separação recentes^{2,3}.

Operador/Ano	Nome do campo	Tecnologia utilizada	Tipo de tecnologia	Fornecedor da tecnologia	Profundidade (pés)
Statoil 2001	Troll C	Horizontal SUBSIS	Separador	GE/Framo	1.116
Petrobras 2001	Marimbá	VASPS	Separador & ESP	Saipem	1.265
Statoil 2007	Tordis	Horizontal	Separador	FMC/CDS	689
Shell 2009	BC-10	Caisson	Separador & ESP	FMC/CDS	6.562
Shell 2010	Perdido	Caisson	Separador & ESP	FMC/CDS	9.600
Petrobras 2011	Marlim	Inline	Separador	FMC	2.881
Total 2011	Pazflor	Vertical Separator	Separador	FMC/CDS	2.625
Petrobras 2012	Congro	VASPS	Separador & ESP	FMC	
Petrobras 2012	Malhado	VASPS	Separador & ESP	FMC	
Petrobras 2012	Corvina	VASPS	Separador & ESP	FMC	
Petrobras TBA	Canapu	Inline Supersonic	Separador	FMC Twister	5.579

Fonte: Prescott (2012).

Outro tema que será analisado no trabalho será o de Recuperação Avançada de Óleo EOR. O aumento do fator de recuperação de petróleo e gás dos reservatórios tem sido uma preocupação recorrente na indústria. Verifica-se, entretanto, aumento do interesse no tema, particularmente de EOR ao longo dos últimos anos, impulsionado por avanços tecnológicos e de sinergia entre os processos de EOR, de caracterização de reservatórios, modelagem e simulação de reservatórios, por exemplo, nos quais também experimentaram forte incremento tecnológico recente.

Atualmente a taxa de recuperação primária do óleo originalmente *in place* está em torno de 15% a 20%. Com a utilização de métodos de recuperação secundária esta taxa sobe para cerca de 35%. Já a utilização de processos de recuperação avançada de óleo pode gerar incremento

² A Statoil destaca-se como uma das primeiras companhias a aplicar a tecnologia de separação submarina, no campo de Troll em 2001, no mar do Norte. O sistema instalado separa petróleo e gás natural da água, a uma profundidade de 340 metros. Após a separação, a água é reinjetada, enquanto o petróleo ou gás natural é enviado para a plataforma (Statoil, 2015). Já no campo de Tordis, em 2007, foi instalado o primeiro sistema completo de separação submarina, o TIORA, desenvolvido pela FMC Technologies. O campo estava em operação desde 1994, e utilizava injeção de água para elevar a pressão dos reservatórios. Porém, a pressão em queda resultava em produção do campo decrescente. O sistema consiste em um manifold em linha, um separador submarino, uma estação de compressão e injeção submarina com controle e suprimento de energia no topside, um umbilical de alta voltagem, um umbilical de controle e uma árvore de natal para a disposição de água. A água separada é reinjetada no reservatório de Utsira, que produz óleo e gás. Com o sistema, a Statoil espera aumentar a vida útil do campo em 17 anos, e aumentar o fator de recuperação das reservas de 49% para 55%, equivalente a 35 milhões de barris de petróleo (World Oil, 2008).

³ Capela et al (2012) descreveram o sistema piloto de separação submarina água/óleo e reinjeção de água do Campo de Marlim, instalado pela Petrobras em 2011, onde se produz petróleo pesado. Este sistema se diferenciou dos outros que já existiam, como as instalações dos Campos de Troll e Tordis no Mar do Norte, em função da lâmina d'água (870m) e do objetivo de que o piloto servisse para futuras aplicações em águas profundas, uma vez que tecnologias convencionais de separação gravitacional, utilizadas nos projetos anteriormente citados, não puderam ser empregadas, sendo necessário o emprego de novas tecnologias.

no fator de recuperação do óleo para algo entre 40 e 50%, o que os torna bastante atrativos em contexto de valorização do preço da commodity e exploração de reservatórios com maior grau de complexidade, por conseguirem aumentar o retorno do investimento. O potencial de impacto de EOR no aumento da produção de petróleo/gás dos reservatórios é, portanto, bastante significativo. Estima-se que, caso as tecnologias de EOR, bem como os processos de produção adjacentes, sigam evoluindo o potencial de incremento de produção pode chegar a 1 trilhão de barris (POPE, 2011) nas próximas décadas.

Os processos de EOR podem ser químicos, biológicos, eletromagnéticos, térmicos ou por meio de solventes, como resumido na Figura 3, a seguir.

Figura 3 – Métodos e exemplos de materiais utilizados para EOR.

Métodos	Exemplos	
Solventes	CO2 imisc	CO2 misc
Térmico	Comb. In situ	Fluidos Aquec.
Químicos	Polímeros	Surfactantes
Biológico	Microbiológico	
Eletromagnético	Ondas	

Fonte: Elaboração Própria.

No que tange aos métodos químicos, por exemplo, eles podem ocorrer por meio da injeção de polímeros ou surfactantes. A injeção de polímeros é utilizada comercialmente desde os anos 1960 e é o processo mais simples e o mais comumente usado na indústria até hoje. A adição de polímeros aumenta a viscosidade da água injetada. Este processo torna-se mais eficaz quando aplicado a óleos de viscosidade média ou baixa ou à medida que aumenta a heterogeneidade do reservatório. Um fator adicional de estímulo a utilização deste processo é o fato de o preço do polímero mais comumente usado – poli(acrilamida hidrolisada) – ter aumentado significativamente menos do que o preço do petróleo ao longo do tempo e de que sua qualidade elevou⁴. A utilização de polímeros pode incrementar a recuperação do volume original de óleo em 12% mais ou menos, podendo chegar até a 30% em alguns casos (Zitha et al., 2011).

Por sua vez, a injeção de polímero surfactante (SP) só se tornou comercialmente interessante com a alta dos preços do petróleo nos anos 2000. A adição de alcalinos à solução surfactante (ASP) também contribuiu significativamente para a queda no custo do processo, na medida em que reduz substancialmente a necessidade do surfactante no processo. O incremento na recuperação de óleo varia bastante, mas, de forma geral fica entre 20% e 30% do óleo originalmente in place. Houve muitas melhorias qualitativas nos surfactantes disponíveis, que são adequados para casos nos quais HPAM apresentam limitações como ambientes de alta

⁴ Copolímeros de poli(acrilamida) ou poli(acrilamida hidrolisada) (HPAM) são os principais polímeros utilizados em processos químicos de EOR. Atualmente estão disponíveis HPAM de peso molecular e qualidade bastante superior aos encontrados na década de 1960/1970. Além disso, observa-se que seu preço relativo caiu desde então. No início dos anos 70 o barril do petróleo estava em torno de US\$3,00/bbl e o HPAM US\$1,50/lb. Este preço médio manteve-se até os dias de hoje, enquanto o preço do barril de petróleo chegou a patamares superiores a US\$100, embora já venha caindo recentemente.

salinidade e altas temperaturas. Além da redução no preço relativo dos surfactantes e aumento de sua qualidade, também ocorreram fortes avanços nos processos de escolha e nos testes de laboratórios dos surfactantes para avaliação de seu desempenho e adequação nos reservatórios (Pope, 2011). Da mesma forma, a coinjeção de gás com surfactantes tem sido bastante utilizada, pois dispensa o uso de polímeros e, assim, evita algumas de suas limitações.

De forma geral, existe, portanto, uma gama de processos de EOR à disposição dos operadores que decidem qual escolher baseados em análise integrada do reservatório e suas características a fim de definir qual o processo mais adequado, inclusive do ponto de vista econômico.

O escopo do estudo engloba a identificação de empresas, países e tecnologias mais importantes na área de separação de materiais produzidos pelo poço e EOR. Para tanto, a Seção 2 descreve a metodologia de pesquisa das patentes, enquanto a Seção 3 apresenta os resultados obtidos. Em particular, no caso das patentes de separação, a seção 3.1 também analisa o conteúdo das patentes relativas ao tema de separação submarina, que inclui sistemas, aparelhos e métodos de separação submarina de óleo, água e gás natural.

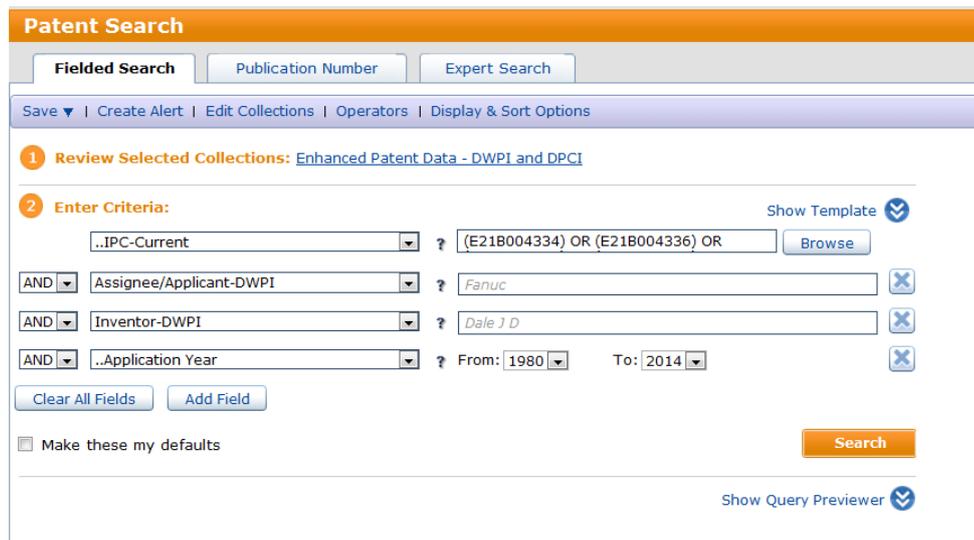
2. METODOLOGIA

A pesquisa das patentes relacionadas aos temas selecionados foi realizada por meio da ferramenta Thomson Innovation, da empresa Thomson Reuters. Ela permite pesquisar e analisar patentes utilizando diferentes critérios, como o código de classificação internacional, palavras chave, empresa que depositou as patentes, data de depósito ou concessão, entre outros.

No tema separação, optou-se por pesquisar a partir dos códigos de classificação internacional de patentes (IPC), conforme observado na Figura 4. Os códigos selecionados para pesquisa foram obtidos dentro da Seção E (construções fixas), perfuração do solo ou rocha; métodos ou aparelhos para obter óleo, gás, água, matérias solúveis ou fundíveis ou de lama minerais de poços (E21B 43), nas subclasses:

- ✓ E21B 43/34: Disposições para separar materiais produzidos pelo poço (aparelhos separadores per se, subclasses 36/38/40);
- ✓ E21B 43/36: Disposições para separar materiais produzidos pelo poço: Disposições de separação subaquáticas;
- ✓ E21B 43/38: Disposições para separar materiais produzidos pelo poço: no poço;
- ✓ E21B 43/40: Disposições para separar materiais produzidos pelo poço: Separação combinada com reinjeção de materiais separados.

Figura 4 – Tela de pesquisa de patentes no tema de separação de materiais produzidos pelo poço.



Fonte: Elaboração própria.

A busca das patentes de separação de materiais produzidos pelo poço entre 1980 e 2014 resultou em 2363 resultados, que estão detalhados nas seções 3.1 e 4.1.

Já no tema de EOR, os códigos selecionados para a pesquisa foram obtidos dentro das subclasses E21B0043, e C09K00085 e englobaram os seguintes segmentos dentro de cada subclasse:

- Subclasse C09k000858, refere-se a composições para recuperação avançada de hidrocarbonetos caracterizados por:

- ✓ C090008582: Uso de bactérias específicas
- ✓ C090008584: Uso de surfactantes específicos
- ✓ C090008588: Uso de polímeros específicos

- E21B0043, refere-se a métodos de recuperação avançada de óleo a partir de:

- ✓ E21B004316: EOR (lama, fraturamento)
- ✓ E21B004322: Produtos químicos ou bactérias
- ✓ E21B004324: Calor

A busca das patentes de EOR entre 1980 e 2014 resultou em 902 resultados, que estão detalhados na Seção 3.2.

3. RESULTADOS

A seguir são apresentados resultados das patentes encontradas nos temas de separação de materiais produzidos pelo poço (Seção 3.1.) e EOR (Seção 3.2.).

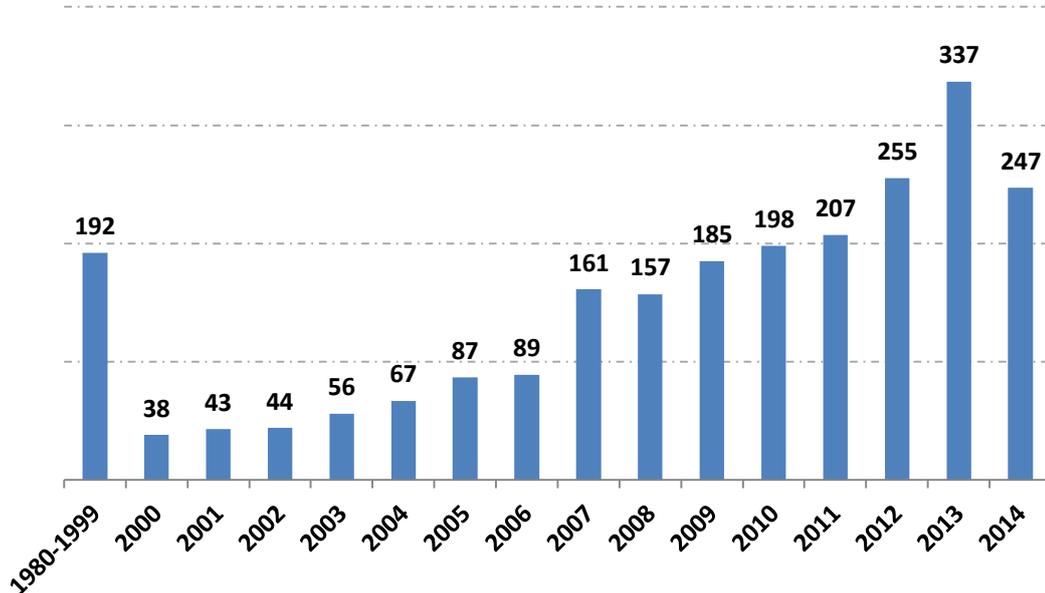
3.1. Separação de materiais produzidos pelo poço

Foi realizada análise quantitativa das patentes depositadas a partir de três critérios principais: país de origem (país do primeiro depósito), ano de aplicação e instituição depositante. Verificou-se que o volume de patentes depositadas na área de separação cresceu nos últimos 15 anos, com EUA e China como destaques entre os países, enquanto as companhias petrolíferas e as prestadoras de serviço no setor predominam como as que mais depositam patentes, em detrimento de Universidades e outras instituições de pesquisa.

3.1.1. Evolução do volume de patentes por ano e por país

A elevação dos preços de petróleo nos anos 2000 viabilizou projetos de exploração e produção de fontes não convencionais e de fontes convencionais em regiões que demandam equipamentos e processos inovadores. A ampliação dos investimentos em novas tecnologias estimulou o depósito de patentes no tema de separação de materiais produzidos pelo poço, que vem apresentando tendência crescente nos últimos 15 anos (Figura 5).

Figura 5 – Quantidade de patentes depositadas por ano – data de aplicação.



Fonte: Elaboração própria.

Em especial, a partir de 2007 se observa mudança de patamar no volume de patentes depositadas, com os primeiros depósitos de patentes de separação de materiais produzidos pelo poço mais concentrados na China e nos Estados Unidos (Tabela 1). A partir de 2010, a China tornou-se o país que mais recebeu primeiros depósitos de patentes no tema, tendência também identificada para o setor de petróleo em geral, pois CNPC e Sinopec lideraram o

ranking de depósito de patentes por empresas no setor de energia entre 2010 e 2013, de acordo com Pinho, Regueira e Ramos de Souza (2014).

Tabela 1 - Quantidade de patentes de separação depositadas por país de origem e por ano.

	US	CN	NO	EP	GB	BR	WO	RU	CA	FR	Outros	Total
2014	50	138	7	3	6	0	0	14	3	6	20	247
2013	65	202	10	0	6	0	5	28	7	0	14	337
2012	65	139	3	2	8	0	0	21	0	2	15	255
2011	55	97	5	9	3	0	3	17	8	0	10	207
2010	50	87	9	9	8	0	2	19	8	0	6	198
2009	70	59	6	9	12	2	0	13	6	3	5	185
2008	58	48	11	2	8	3	2	10	6	5	4	157
2007	51	57	10	9	7	0	0	12	7	2	6	161
2006	39	5	8	0	7	0	2	15	3	3	7	89
2005	47	7	4	3	8	0	0	6	4	0	8	87
2004	36	1	7	0	6	0	2	10	3	0	2	67
2003	35	0	2	3	5	0	1	7	2	0	1	56
2002	24	2	2	3	6	0	0	3	2	1	1	44
2001	17	1	6	3	4	1	0	3	4	0	4	43
2000	21	0	3	1	3	0	1	6	2	0	1	38
1980-1999	113	0	10	4	15	3	0	0	7	21	19	192
TOTAL	796	843	103	60	112	9	18	184	72	43	123	2363

Legenda: US - Estados Unidos; CN –China; NO – Noruega; EP – Europa⁵; GB - Grã Bretanha; BR – Brasil; WO – Mundo⁶; RU – Rússia; CA – Canadá; FR – França

Fonte: Elaboração própria.

Países da Europa, em particular os que compõem a Grã Bretanha e Noruega, também se destacam com quantidade elevada de primeiro depósito de patentes (112 e 103, respectivamente). Estes países têm produção concentrada em campos *offshore* no Mar do Norte, o que demanda busca de tecnologias na área de separação. A Noruega possui conhecimento avançado em equipamentos e processos de separação submarina..

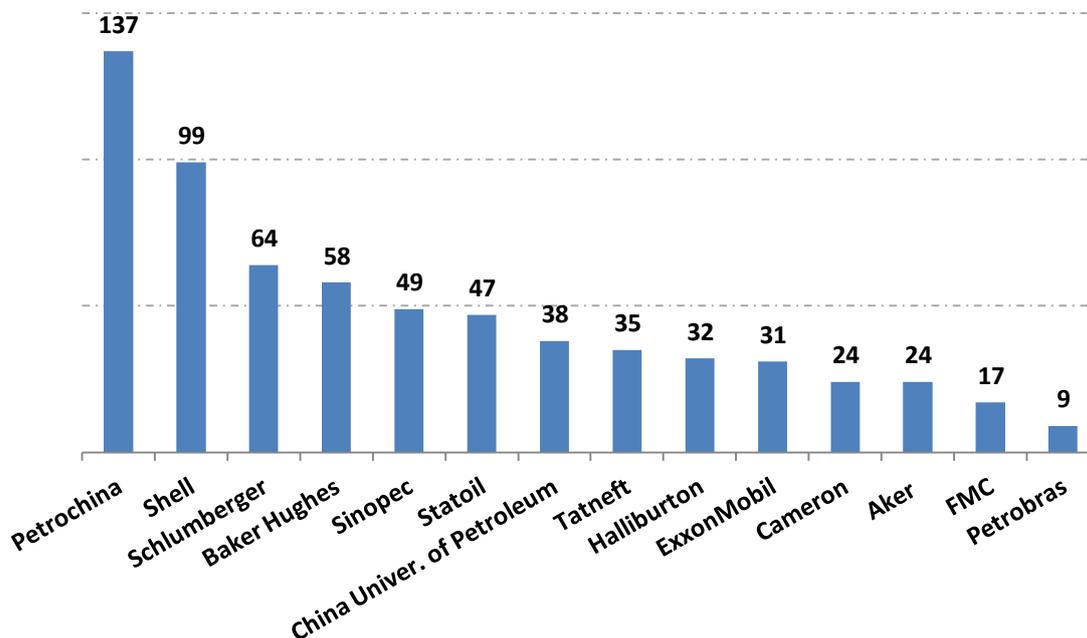
3.1.2. Patentes por empresa

Entre as 10 instituições que mais depositaram patentes, destacam-se Petrochina, Shell, Schlumberger, Baker Huges, Sinopec, Statoil, Tatneft, Halliburton e ExxonMobil. A China University of Petroleum, com 38 patentes depositadas, é a única representante das universidades no ranking das maiores depositantes de patentes (Figura 6). As patentes depositadas por Cameron, Aker, FMC e Petrobras também foram investigadas, por serem importantes companhias do setor e que possuem projetos na área de separação de materiais produzidos pelo poço.

⁵ Primeiro depósito no Escritório Europeu de Patentes (EPO).

⁶ Primeiro depósito no PCT

Figura 6 – Maiores depositantes de patentes na área de separação.



Fonte: Elaboração própria a partir de Thomson Innovation.

Observam-se diferentes estratégias na localização do primeiro depósito das patentes de acordo com o foco das instituições (Tabela 2). As companhias chinesas (Petrochina e Sinopec), a China University of Petroleum, a Tatneft (Rússia), e a Petrobras realizaram o primeiro depósito em país de origem, indicando que o foco dessas instituições é atuar no desenvolvimento tecnológico em seus países e onde concentram grande parte de suas operações.

As norueguesas Statoil e Aker concentram os primeiros depósitos no país de origem, mas também realizaram primeiros depósitos em outras regiões do mundo, em especial na Grã Bretanha, onde possuem atuação importante.

Já a FMC Technologies, empresa fornecedora de bens e serviços do setor petróleo que atua globalmente, possui menos patentes depositadas (17) quando comparada a outras companhias do segmento (Baker Hughes – 58; Schlumberger – 64, Halliburton – 32, Cameron – 24). Seu foco de depósitos de patentes na área de separação é a Noruega, onde desenvolveu patentes na área de separação submarina. Em 2004, a FMC foi contratada por Statoil e Petrobras para realização de estudos buscando avançar no conhecimento de tecnologias de separação submarina que estavam em desenvolvimento no período (Offshore, 2004).

A Baker Hughes e Halliburton concentraram seus primeiros depósitos de patentes nos EUA, enquanto Schlumberger e Cameron possuem patentes depositadas nos EUA e Europa.

A Shell é a companhia privada que possui a maior quantidade de patentes depositadas na área de separação (99) e concentrou os primeiros depósitos nos EUA (65) e Europa (28). Já ExxonMobil possui patentes depositadas prioritariamente nos EUA (25) e Canadá (6).

Tabela 2 – Quantidade de patentes das maiores depositantes, por país.

PAÍS	Shell	Petrochina	Baker Hughes	Schlumberger	Halliburton	Cameron	Statoil	FMC	Petrobras	Sinopec	Aker	Tatneft	ExxonMobil	China Univer. of Petroleum	Total
US	65		58	45	31	4	1	6			1		25		236
CN		137								49				38	224
NO	5						32	10			19				66
EP	28			8		7									43
GB				10		13	7				4				34
BR									9						9
WO					1		4								5
CA							1						6		7
FR				1											1
TW	1														1
NL							1	1							2
RU												35			35
Outros							1								1
Total	99	137	58	64	32	24	47	17	9	49	24	35	31	38	664

Fonte: Elaboração própria. TW – Taiwan, NL – Holanda.

3.1.3. Análise do conteúdo das patentes

Com o objetivo de aprofundar a análise de patentes, esta seção detalha o conteúdo das patentes de separação submarina. Considerando que a pesquisa de patentes no tema de separação de materiais produzidos pelo poço resultou em 2363 patentes, torna-se muito trabalhosa a análise de conteúdo de cada patente depositada. Assim, optou-se por definir critérios mais restritos em busca de analisar patentes na área de separação submarina.

Inicialmente, confrontou-se a quantidade de patentes por empresa e por código de classificação IPC (Tabela 3). Verificou-se que o código E21B 43/34 apresenta a maior quantidade de patentes associadas depositadas pelas instituições selecionadas para a análise. Cabe lembrar que uma patente pode estar associada a mais de um código de classificação IPC.

Tabela 3 – Quantidade de patentes por empresa e classificação IPC.

Códigos IPC	Classificação
E21B 43/34	Disposições para separar materiais produzidos pelo poço (aparelhos separadores per se, subclasses 36/38/40)
E21B 43/38	Disposições para separar materiais produzidos pelo poço: no poço
E21B 43/40	Disposições para separar materiais produzidos pelo poço: Separação combinada com reinjeção de materiais separados
E21B 43/36	Disposições para separar materiais produzidos pelo poço: Disposições de separação subaquáticas

IPC	Shell	Petrochina	Baker Hughes	Schlumberger	Halliburton	Cameron	Statoil	FMC	Petrobras	Sinopec	Aker	Tatneft	ExxonMobil	China Univer. of Petroleum	TOTAL
E21B 43/34	19	90	9	9	3	2	15	7	1	34	8	19	0	9	225
E21B 43/38	25	32	25	23	7	1	6	1	1	10	6	11	3	19	170
E21B 43/40	9	14	6	5	2	1	5	6	3	3	1	2	4	13	74
E21B 43/36	13	2	2	3	2	19	17	10	7	1	5	1	1	1	84

Fonte: Elaboração própria.

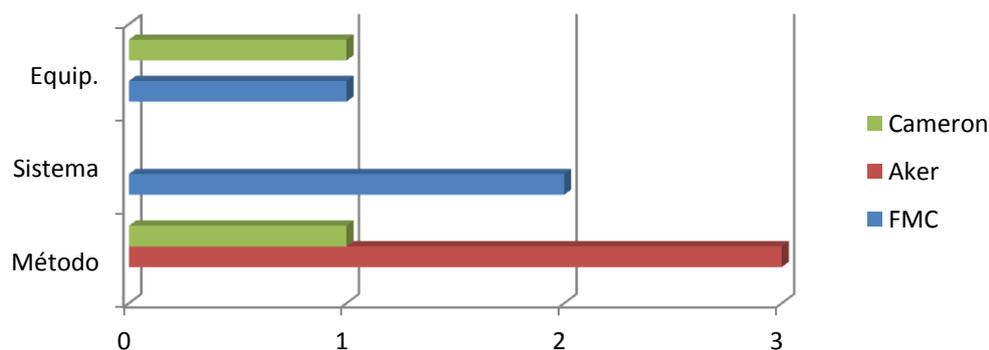
Dentre os códigos pesquisados, o E21B 43/36, disposições para separar materiais produzidos pelo poço: disposições de separação subaquáticas, foi identificado como aquele que mais apresentava patentes na área de separação submarina, objeto de análise deste estudo. Por isso, o conteúdo das patentes de Shell, Statoil, Petrobras, Cameron, FMC e Aker foram analisados, por serem as companhias que mais depositaram patentes associadas a este código. O corte temporal utilizado foi de 2005 a 2014, buscando patentes mais recentes sobre o tema. A descrição das patentes selecionadas é apresentada a seguir.

3.1.3.1. Patentes de separação submarina

Foi realizada análise preliminar das patentes do código IPC E21B 43/36 no período de 2005 a 2014 para identificar aquelas que estavam associadas a métodos, sistemas e equipamentos de separação submarina. Nesse período, 16 patentes foram depositadas, de acordo com a seguinte distribuição: Shell (2), FMC (3), Petrobras (2), Aker (3), Statoil (4) e Cameron (1).

Identificou-se que, conforme esperado, as empresas fornecedoras de produtos e serviços FMC e Cameron focaram suas patentes em sistemas e equipamentos, com exceção da Aker, que teve como alvo as patentes em métodos (Figura 7).

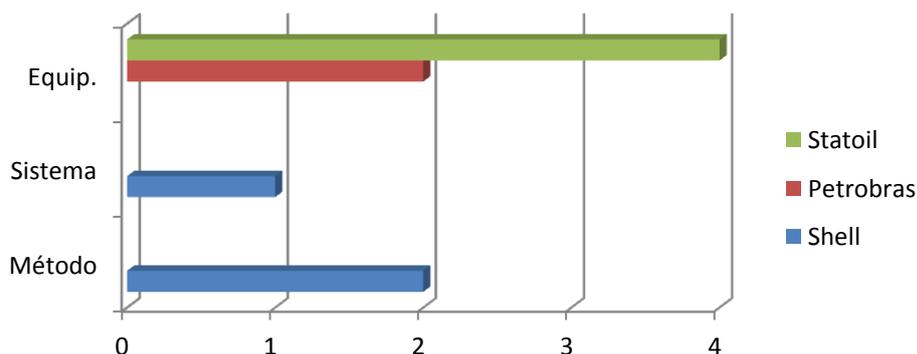
Figura 7 – Patentes de equipamentos, sistemas e métodos da Aker, FMC e Cameron.



Fonte: Elaboração própria.

Já as empresas que operam campos petrolíferos, como Petrobras e Statoil, depositaram patentes de equipamentos. Essa tendência não é seguida pela Shell que diversificou patenteando sistemas e métodos.

Figura 8 – Patentes de equipamentos, sistemas e métodos de Petrobras, Shell e Statoil.



Fonte: Elaboração própria a partir de Thomson Innovation.

De forma geral, existe forte tendência em se criar patente em equipamentos, porém a Aker, apesar de ser uma empresa fortemente voltada para fornecer equipamentos, tem uma estratégia diferenciada, focando suas patentes em método de extração subsea. Esse fato contrasta, com a também norueguesa Statoil que foca seu depósito de patentes em equipamentos. Talvez não seja essa uma coincidência, visto serem do mesmo País.

Fato relevante também é a Shell segue estratégia de patentear em métodos e sistemas subsea de separação de fluidos.

O detalhamento das patentes analisadas encontra-se no Anexo 1.

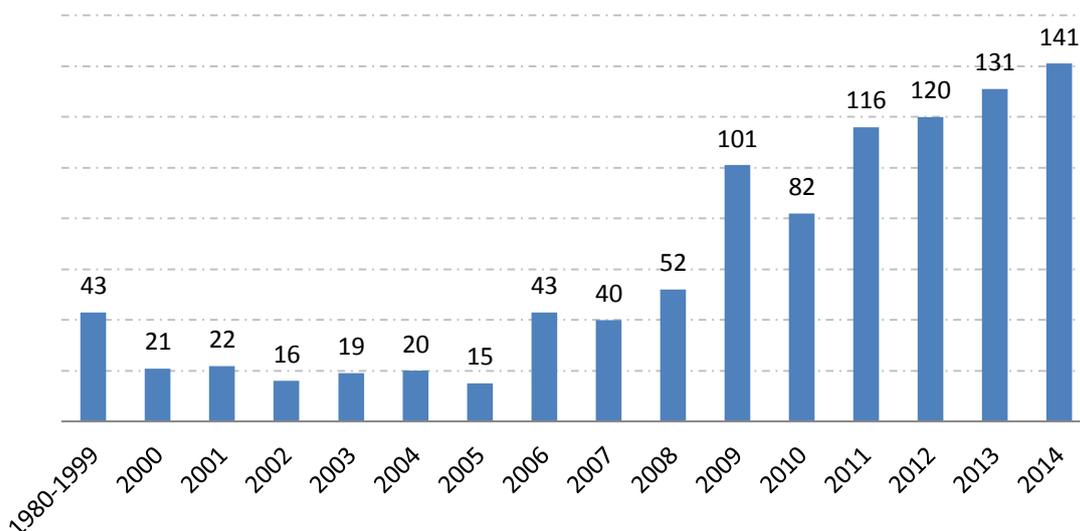
3.2. Enhanced Oil Recovery (EOR)

Foi realizada análise quantitativa das patentes depositadas a partir de quatro critérios principais: país de origem (país do primeiro depósito), ano de aplicação, instituição depositante e tipo de instituição (indústria ou universidade/instituto de pesquisa). De forma geral, verificou-se que o volume de patentes depositadas na área de EOR cresceu significativamente nos últimos 15 anos, passando de 9 em 1999 para 141 em 2014. Os EUA foram de longe o principal país depositante (39%), sendo seguido pela China (8%). Por sua vez, as companhias petrolíferas e as empresas prestadoras de serviço para a indústria são os principais agentes depositantes em relação às universidades e instituições de pesquisa, embora haja exceção, como será melhor indicado no item 3.3.1.

3.2.1. Evolução do volume de patentes por ano e por país

A elevação dos preços de petróleo nos anos 2000 foi um forte fator de estímulo à utilização de processos de EOR, bem como do avanço de pesquisas nesta área de conhecimento, isto porque se tornou economicamente vantajoso a utilização de processos até então pouco atrativos no segmento de EOR, ao mesmo tempo em que estimulou pesquisas que conseguissem viabilizar o maior percentual possível de recuperação de óleo dos reservatórios já em produção/maduros (como é o caso do declínio na produtividade dos campos de petróleo e gás do mar do Norte, por exemplo) ou ainda em fase de análise de comercialidade. Além disso, os preços mais altos também estimularam a pesquisa em campos de conhecimento subsidiários e adjacentes a EOR. Essa tendência se reflete no número de depósitos de patentes depositadas, como pode ser verificado na Figura 9, a seguir.

Figura 9 – Número de patentes depositadas por ano – data de aplicação.



Fonte: Elaboração própria a partir de Thomson Innovation.

A partir da Figura 8, também percebemos que apesar do incremento no número de patentes de EOR já vir aumentando ao longo da década de 2000, a partir de 2006 há uma mudança ainda maior no patamar de depósitos e o mesmo evento ocorre novamente em 2009.

Em ambos os casos, a mudança no patamar reflete o aumento do número de depósitos nos EUA e no mundo (WO)⁷, como ilustra a Tabela 4.

No que tange ao desempenho individual dos países, os Estados Unidos destacam-se representando praticamente 40% dos depósitos ao longo do período analisado, como pode ser visto na Tabela 4. A China também se destacou individualmente, particularmente a partir de 2012, fato que está em consonância com a tendência apresentada no setor de petróleo em geral, pois, como já mencionado na seção anterior, a CNPC e Sinopec lideraram o ranking de depósito de patentes por empresas no setor de energia entre 2010 e 2013, de acordo com Pinho, Regueira e Souza (2014).

Tabela 4 – Número de patentes depositadas por ano em EOR – país de origem e ano.

	US	CN	JP	EP	GB	BR	WO	RU	CA	FR	KR	Outros	Total
2014	59	27	0	2	0	0	49	0	0	0	3	1	141
2013	53	20	0	5	1	0	39	0	1	2	1	9	131
2012	42	16	1	5	1	0	43	0	4	4	1	3	120
2011	48	4	2	4	0	0	51	1	1	2	2	1	116
2010	29	1	3	7	0	0	38	0	1	0	1	2	82
2009	46	2	1	4	0	0	41	3	1	1	0	2	101
2008	22	4	0	3	0	0	23	0	0	0	0	0	52
2007	20	2	3	0	1	0	10	2	0	0	0	2	40
2006	18	2	2	0	2	1	13	0	0	2	1	2	43
2005	7	0	1	3	0	0	4	0	0	0	0	0	15
2004	6	0	3	1	1	0	8	0	0	0	0	1	20
2003	11	0	0	0	1	0	6	0	0	0	1	0	19
2002	9	0	1	1	0	0	5	0	0	0	0	0	16
2001	3	0	3	0	0	0	12	3	1	0	0	0	22
2000	8	0	0	2	0	0	6	2	1	0	0	2	21
1980-1999	2	0	4	11	1	0	20	0	2	1	0	2	43
	383	78	24	48	8	1	368	11	12	12	10	27	982

Legenda: US - Estados Unidos; CN –China; JP - Japão; EP – Europa⁸; GB - Grã Bretanha; BR – Brasil; WO – Mundo⁹; RU – Rússia; CA – Canadá; FR – França; KR – Coreia.

Fonte: Elaboração própria.

3.2.2. Patentes por empresa

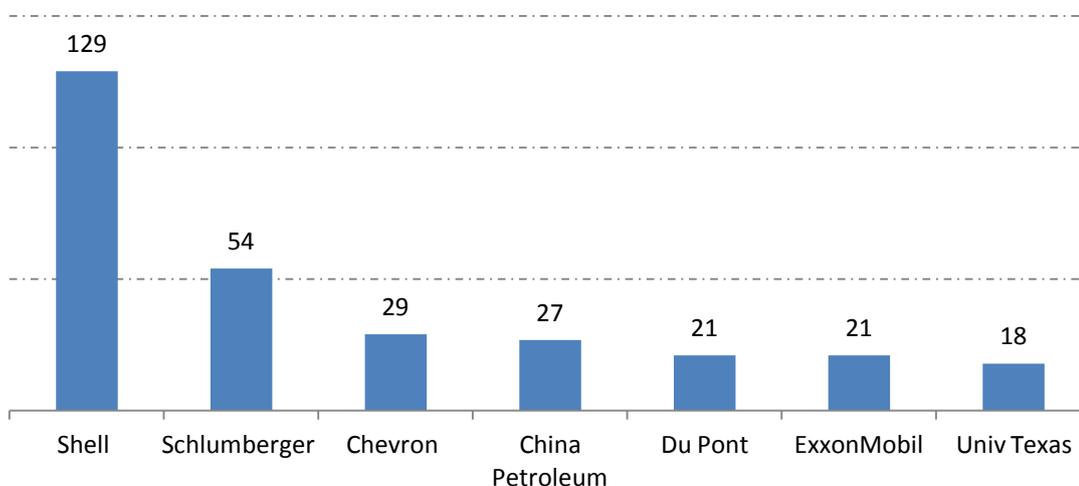
Entre as instituições que mais depositaram patentes, destaca-se a Shell, seguida pela Schlumberger. A Universidade do Texas, com 18 patentes depositadas, é a única representante das universidades no ranking das sete maiores depositantes de patentes (Figura 10).

⁷ Via PCT (Patent Cooperation Treaty).

⁸ Primeiro depósito no Escritório Europeu de Patentes (EPO).

⁹ Primeiro depósito no PCT

Figura 10 – Maiores depositantes de patentes na área de EOR.



Fonte: Elaboração própria a partir de Thomson Innovation.

Uma informação interessante extraída do trabalho é de que, embora se verifique o predomínio das empresas de petróleo ou prestadoras de serviço para a indústria de O&G como principais depositantes de patentes, em detrimento das universidades e instituições de pesquisa, essa característica não ocorreu em todos os campos analisados.

No levantamento do histórico de depósitos de patentes para o segmento C09K0000858 (Composições em métodos de melhoria para recuperação de hidrocarbonetos), a participação das universidades é de 19%, sendo todas dos EUA (10,5%) ou da China (8,5%). A Tabela 5, a seguir, ajuda a visualizar este cenário. Essa participação destoa bastante da encontrada nos outros subgrupos pesquisados, no qual foi encontrada participação de 3% em média, e mesmo do mercado de uma forma ampla, no qual a participação de universidades em depósitos de patentes é de cerca de 2% (Vespargen, 2006. p. 622).

Tabela 5 – Quantidade de patentes, por segmento e país, na classificação IPC C09K0000858 - composições em métodos de melhoria para recuperação de hidrocarbonetos.

Segmento	China	US (14 vazias)	WO	CA	EP	FR	JP	RU	Total
indústria	34	30	62	1	12	3	1	2	145
Universidade	15	12	7*	0	0	0	0	0	34
TOTAL	49	42	69	1	12	3	1	2	179

*Todas universidades dos EUA.

Fonte: Elaboração própria.

4. CONCLUSÃO

A análise das patentes de separação de materiais produzidos pelo poço identificou que o tema apresenta crescente interesse, resultando em volumes cada vez maiores de patentes depositadas nos últimos 15 anos. A Noruega se destaca pela quantidade de sistemas instalados e de patentes de separação submarina, e concentra as patentes de Aker, Statoil e FMC neste tema, enquanto Estados Unidos e China lideram o volume de patentes depositadas na área de separação. Entretanto, a redução recente nos preços internacionais de petróleo afetou os planos de investimentos das companhias¹⁰ e isto pode reduzir o volume de recursos destinados à pesquisa, desenvolvimento e inovação.

Por outro lado, com o aumento esperado da importância da produção *offshore* mundial no setor de petróleo e gás, as tecnologias de processamento e separação submarina tendem a ganhar mais importância e investimentos em seu avanço. Outras opções também estudadas para diminuir custos da produção *offshore*, como a redução do tamanho e peso dos equipamentos instalados na plataforma buscando aumentar a capacidade de processamento da planta, podem se tornar concorrentes ou complementares aos desenvolvimentos tecnológicos submarinos.

No que tange ao tema de EOR, podemos concluir que, apesar de o interesse no aumento da taxa de recuperação do petróleo e gás presentes nos reservatórios ser recorrente na indústria e de que processos de recuperação avançada já estarem sendo utilizados desde as décadas de 60/70, foi a partir da segunda metade dos anos 2000 que se começa a observar aumento significativo do número de patentes depositadas sobre o tema. A principal razão para esse fato foi certamente a tendência de valorização do preço do petróleo, verificada até meados de 2014, e que viabilizou a utilização de processos de EOR até então inviáveis comercialmente, bem como incentivou o aumento da pesquisa em EOR e em campos de conhecimento adjacentes. A busca de novas soluções para o aumento da recuperação pode também ter sido fortemente influenciada pela queda da produção de petróleo no Mar do Norte.

Outro ponto de destaque foi o aumento recente de participação da China no volume de depósitos de patentes sobre em EOR, embora a predominância dos EUA tenha-se mantido por todo o período analisado.

Por fim, também vale mencionar a significativa participação das universidades norte-americanas e chinesas nos depósitos de patentes no segmento de Composições em métodos de melhoria para recuperação de hidrocarbonetos (C09K), no qual atingiu cerca de 19% do total. Este nível de participação é bastante superior à média encontrada no mercado, que é de cerca de 2%, que, por sua vez, é bastante similar à encontrada no segmento de métodos de recuperação avançada de óleo (E21B), 3%, que também foi analisado.

Como conclusão final, podemos, portanto, indicar que o período entre 2000 e 2014 foi extremamente positivo para o aumento de pesquisa nos campos de conhecimento analisados no presente trabalho, se utilizarmos como indicador o volume de depósitos de patentes.

¹⁰ De acordo com a WoodMackenzie (2015), as companhias de petróleo reduziram, em média, 30% do volume de investimentos previstos em 2015 em relação à 2014.

Paralelamente também observamos o aumento significativo da participação da China em todos os campos de conhecimento analisados. Estes dois fatos podem ser explicados principalmente pela forte alta dos preços do petróleo no período, bem como pelas altas taxas de crescimento econômico da China e de seu correspondente aumento no consumo de petróleo e derivados. Resta saber, entretanto, como se comportará o mercado nos próximos anos, uma vez que o cenário atual parece apontar para manutenção da tendência de baixa dos preços do petróleo e menores taxas de crescimento econômico chinês, embora este não necessariamente se reflita em menor consumo de energia fóssil.

REFERÊNCIAS

- Capela et al. (2012). SSAO – Concepção de Projeto e Qualificação das Tecnologias Adotadas. Rio Oil and Gas 2012.
- INPI (2015). <http://ipc.inpi.gov.br/ipcpub/#refresh=page>, Classificação Internacional de Patentes, acesso em 19 de fevereiro de 2015.
- Offshore (2004). Petrobras, Statoil award subsea processing studies. Offshore, Vol. 64 Issue 11, p16-16, novembro de 2004.
- Prescott, Clifford Neal (2012). Subsea Separation and Processing of Oil, Gas & Produced Water - Past, Present and Future. Why We Need It Now. Fluor Offshore Solutions, USA. 13 January 2012.
- Pinho, A.K.J, Regueira, K. W.S. e Ramos de Souza, E. (2014). Portfólio de Patentes das 10 Maiores Empresas de Energia do Mundo, Rio Oil and Gas 2014.
- Pope, Gary A. (2011). Recent Developments and Remaining Challenges of Enhanced Oil Recovery. R&D Grand Challenges. Journal of Petroleum Technology, July 2011.
- Statoil (2015). <http://www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/FieldDevelopment/AboutSubsea/SubseaPresentation/Pages/Troll.aspx>, acesso em 18 de fevereiro de 2015.
- Thomson Innovation (2014) <https://www.thomsoninnovation.com/login>, acessos em novembro e dezembro de 2014.
- WoodMackenzie (2015), <http://www.woodmac.com/public/media-centre/12526936>, acesso em junho de 2015.
- World Oil (2008). Full speed ahead with subsea processing. World Oil, Vol. 229 Issue 6, p32-32. 1p, junho de 2008.
- Vespargen, Bart (2006). University Research, Intellectual Property Rights and European Innovation Systems. Journal of Economic Surveys. Vol. 20, N°4. Eindhoven Centre for Innovation Studies, The Netherlands, 2006.
- Zitha, P; Felder, R; Zornes, D; Brown, K; Mohanty, K. (2011). Increasing Hydrocarbon Recovery Factors. The Society of Petroleum Engineers. Julho de 2011.

ANEXO 1- Detalhamento de patentes selecionadas relacionadas a métodos, sistemas e equipamentos de separação submarina.

Código da Patente	Ano de Depósito	País Prioritário	Empresa	Tipo	Resumo
EP2149673A1	2008	Europa (EP)	Shell	Método	Método de processamento submarino, utilizando sistema de processamento submarino que envolve bomba multifásica com motor elétrico, cuja velocidade é controlada por um sistema variável de rotação de ação rápida
WO2014031728A1	2013	Mundo (WO)	Shell	Sistema e método	Sistema e método de separação submarina de fluidos
WO2009133028A1	2009	Europa (EP)	Shell	Método	Método de separação submarina gás/líquido
WO2014154470A2	2014	Noruega (NO)	FMC	Sistema	Sistema de separação submarina com trocador de calor
WO2013135600A2	2013	Noruega (NO)	FMC	Equipamento	Equipamento separador de óleo e gás submarino
WO2008115074A2	2008	Noruega (NO)	FMC	Sistema e método	Sistema e método de separação submarina
WO2009047521A2	2008	Brasil (BR)	Petrobras	Equipamento	Equipamento e sistema de bombeamento submarino, que inclui separação submarina
BR200605667A	2006	Brasil (BR)	Petrobras	Equipamento	Equipamento de separação óleo/água submarino
WO2010005312A1	2009	Noruega (NO)	Aker	Método	Método de controle do separador submarino ciclônico
WO2011081529A1	2010	Noruega (NO)	Aker	Método	Método de controle do separador submarino ciclônico
WO2013187773A1	2013	Noruega (NO)	Aker	Método	Método para facilitar o transporte do hidrocarboneto obtido, evitando que ele congele na linha, que inclui separação gás/líquido

GB2504695A	2012	Grã Bretanha (GB)	Statoil	Equipamento	Aparelho separador de gás/líquido submarino
WO2006118468A1	2006	Noruega (NO)	Statoil	Equipamento	Separador de fluidos submarino tubular , separa óleo, gás e água
WO2010048969A1	2008	Mundo (WO)	Statoil	Equipamento	Separador gravitacional submarino para aplicação em águas ultraprofundas
WO2009108063A1	2009	Noruega (NO)	Statoil	Equipamento	Conjunto de aparelhos para separação gás/líquido submarina
US20120267094A1	2012	EUA (US)	Cameron	Equipamento e método	Aparelhos e métodos de recuperação dos fluidos que entram e saem do poço, inclusive da árvore de natal em aparelhos separadores submarinos