

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
ENGENHARIA DE CAMPO - SMS**

NEANDER DA SILVA RANGEL

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA PERFURAÇÃO DE
POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS *OFFSHORE*: FLUIDOS E
CASCALHOS DE PERFURAÇÃO**

VITÓRIA, ES

2015

NEANDER DA SILVA RANGEL

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA PERFURAÇÃO DE
POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS *OFFSHORE*: FLUÍDOS E
CASCAHOS DE PERFURAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de especialização em Engenharia de Campo SMS da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do grau de especialista em Engenharia de Campo SMS.

Orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Siman

VITÓRIA, ES

2015

NEANDER DA SILVA RANGEL

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA PERFURAÇÃO DE
POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS *OFFSHORE*: FLUÍDOS E
CASCAHOS DE PERFURAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de especialização em Engenharia de Campo SMS da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do grau de especialista em Engenharia de Campo SMS.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Renato Ribeiro Siman
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Daniel Rigo
Universidade Federal do Espírito Santo
Coordenador do Programa

Dedico este trabalho a Maria de Lourdes Martins,
pelo amor, incentivo e dedicação a nossa família.

AGRADECIMENTOS

Ao DEUS ETERNO, que me deu FÉ e me ensinou o CAMINHO DA VIDA e anda comigo por onde quer que eu vou me ajudando a vencer os desafios que a vida me impõe.

A minha família pelo apoio incondicional.

Ao Professor Renato Ribeiro Siman pelo apoio dado, pelos ensinamentos, paciência e por me guiar na elaboração deste trabalho.

Aos colegas do PROMINP pela amizade pelo aprendizado e por fazerem que esse período de curso fosse mais descontraído e divertido, obrigado pelas risadas.

“SENHOR, tu me sondaste, e me conheces; Tu sabes o meu assentar e o meu levantar, de longe entendes o meu pensamento; Cercas o meu andar, e o meu deitar, e conheces todos os meus caminhos; Não havendo ainda palavra alguma na minha língua, eis que logo, ó Senhor, tudo conheces; Tu me cercaste em volta, e puseste sobre mim a tua mão; Tal ciência é para mim maravilhosíssima, tão alta que não a posso atingir”.

Salmo do Rei Davi

RESUMO

A perfuração de poços de petróleo e gás *offshore* é uma atividade de alta complexidade, alto volume de investimentos, aporte de tecnologia de última geração, e que tem atingido profundidades cada vez maiores na tentativa de extrair mais óleo e gás. A atividade de perfuração apresenta grande risco de impacto ambiental pela natureza das operações e pelo grande volume de resíduos produzidos. Cascalhos e fluidos de perfuração são os resíduos que caracterizam a atividade perfuração e seu gerenciamento tem sido um desafio à indústria petrolífera e aos órgãos ambientais. Ainda não há no Brasil regulamentação específica para o gerenciamento e descarte de fluidos e cascalhos de perfuração, esses resíduos que atualmente são controlados no âmbito do licenciamento ambiental de atividades de exploração de petróleo e gás *offshore* por meio de medidas e procedimentos previstos nos Termos de Referência para elaboração dos respectivos estudos ambientais. A análise de relatórios de controle ambiental das atividades de perfuração na área geográfica do Espírito Santo realizadas pela PETROBRAS no período compreendido entre setembro de 2009 e março de 2014 revelou que 82% dos resíduos gerados são de fluidos de perfuração que são classificados como resíduos classe I (perigosos) pela NBR 10.004. Do total de resíduos gerados 65,2% tiveram como destinação final o descarte marítimo. Em 2014 foi posta em consulta pública uma minuta de Nota Técnica elaborada pela Coordenação Geral de Petróleo e Gás da Diretoria de Licenciamento Ambiental do IBAMA a respeito das diretrizes para uso e descarte de fluidos e cascalhos de perfuração. Somente agora, após 5 anos da publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a norma específica posta em discussão pelo IBAMA aponta finalmente para um avanço efetivo na regulação do descarte desses resíduos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema simplificado de uma sonda de perfuração.....	15
Figura 2 - Esquema de sistema de elevação.....	16
Figura 3 - Esquema de sistema de circulação.....	17
Figura 4 - <i>Blowout Preventer</i> (BOP).....	18
Figura 5: Percentual dos resíduos gerados em relação ao total.....	45
Figura 6: Quantitativo gerado por tipo de resíduo.....	45
Figura 7: Quantidade de cascalhos e fluidos de perfuração descartados por ano em metros cúbicos.....	46
Figura 8: Percentual de cascalho descartado de acordo com tipo fluido usado....	47
Figura 9: Percentuais de fluidos descartados em função de sua base.....	48
Figura 10: Percentual das classes de resíduos gerados em relação ao total, segundo classificação.....	51
Figura 11: Percentual das formas de destinação dos resíduos.....	52
Figura 12: Percentual das formas de destinação de resíduos, segundo classificação de periculosidade da ABNT.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formulação padrão de fluido a base de água.....	22
Tabela 2: Formulação padrão de fluido à base de óleo.....	24
Tabela 3: Formulação padrão para fluidos de base sintética.....	25
Tabela 4: Teor de HPA (expresso como fenantreno) em fluidos não aquosos.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2 PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO.....	14
3 RESÍDUOS DA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO.....	19
3.1 FLUÍDOS DE PERFURAÇÃO.....	19
3.1.1 Tipos de fluídos.....	20
3.1.2 Funções dos fluídos de perfuração.....	25
3.1.3 Composição e aplicações.....	27
3.1.4 Toxicidade de fluídos de perfuração.....	29
3.1.5 Biodegradação.....	31
3.1.6 Bioacumulação.....	32
3.2 CASCALHOS DE PERFURAÇÃO.....	32
3.2.1 Geração dos cascalhos de perfuração.....	33
4 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA PERFURAÇÃO.....	34
5 ASPECTOS LEGAIS DA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS.....	38
6 RESÍDUOS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS <i>OFFSHORE</i> NA BACIA DO ESPÍRITO SANTO.....	44
6.1 ANÁLISE DOS DADOS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE PERFURAÇÃO...44	
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Em razão da crescente demanda por energia e do elevado consumo mundial de derivados de petróleo, a indústria de petróleo e gás adquiriu grande importância no cenário econômico mundial, sendo essencial para o desenvolvimento econômico do Brasil. O cenário de abertura para exploração de petróleo possibilitado pela flexibilização do monopólio estatal na década de 1990 e as recentes descobertas de reservas *offshore* na camada pré-sal mudaram completamente a perspectiva da segurança energética brasileira para as próximas décadas e criaram grandes expectativas com relação aos benefícios resultantes do crescimento econômico e tecnológico.

Entretanto, juntamente com estes benefícios, as atividades de exploração e produção de petróleo e gás podem trazer alguns impactos relacionados ao uso do solo, emissão de poluentes atmosféricos, lançamento de efluentes e disposição de resíduos. Na realização das atividades de exploração e produção de petróleo e gás são gerados resíduos que, uma vez lançados no meio ambiente, apresentam grande potencial para afetar a biota local. Dentre estes resíduos, destacam-se os fluidos e cascalhos de perfuração (VEIGA, 1998).

O fluido e cascalho de perfuração são resíduos característicos da perfuração de poços de petróleo e gás. A partir da década de 1980 a indústria de petróleo passou pelo exame minucioso de organizações ambientais em relação ao manuseio de produtos químicos utilizados nos campos de petróleo e ao descarte de resíduos. Os fluidos e cascalhos de perfuração receberam atenção especial na procura por materiais perigosos e tóxicos. O problema em torno da utilização e descarte destes resíduos os colocaram no centro das discussões sobre a questão ambiental na etapa de exploração *offshore* de óleo e gás, o que provoca a necessidade de uma legislação própria que regule a matéria no Brasil, principalmente após a abertura do setor no país (ARARUNA, 2014).

No Brasil, não há regulamentação específica para o gerenciamento e descarte de fluidos e cascalhos de perfuração. Esses resíduos, atualmente, são controlados no âmbito do licenciamento ambiental de atividades de exploração de petróleo e gás *offshore*, por meio de medidas e procedimentos previstos nos termos de referência

para elaboração dos respectivos estudos ambientais. Em 2014, foi posta em consulta pública uma minuta de nota técnica elaborada pela coordenação geral de petróleo e gás da diretoria de licenciamento ambiental do IBAMA a respeito das diretrizes para o uso e descarte de fluidos e cascalhos de perfuração.

1.1 Objetivo Geral

O principal objetivo deste trabalho é descrever aspectos relacionados ao gerenciamento de resíduos da perfuração de poços de petróleo e gás *offshore*.

1.2 Objetivos Específicos

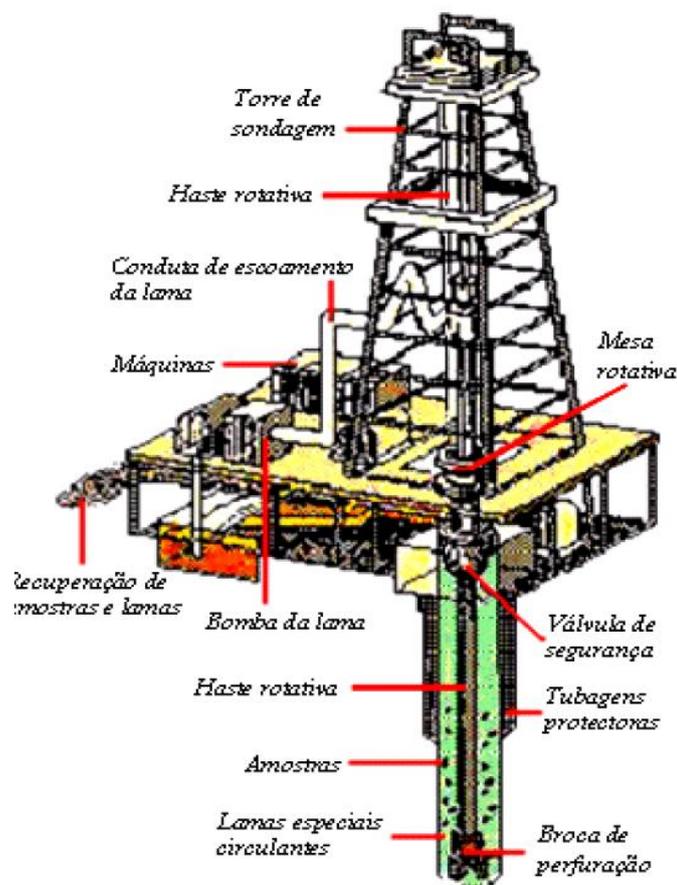
A partir do objetivo geral foram desdobrados os seguintes objetivos específicos detalhados a seguir:

- Descrever o processo de perfuração de poços de petróleo e gás *offshore*, os resíduos característicos dessa atividade e os aspectos ambientais relacionados;
- Analisar o processo de licenciamento ambiental da atividade de perfuração de poços de petróleo e gás;
- Consolidar as informações referentes ao gerenciamento de fluidos e cascalhos de perfuração de atividades de perfuração de poços petróleo e gás *offshore* na bacia do Espírito Santo descritas em relatórios ambientais.

2 PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO

A perfuração de um poço de petróleo é um trabalho contínuo e que só se conclui ao ser atingida a profundidade final programada pelos estudos geológicos. A perfuração é feita utilizando-se uma sonda de perfuração conforme pode ser ilustrado na Figura 1, uma grande estrutura que contém diversos equipamentos auxiliares, tais como bombas de lamas, colunas de tubos e comandos, tanques de lama e outros equipamentos responsáveis pela construção do poço. Ao se atingir a profundidade programada, a coluna de perfuração é retirada do poço e uma coluna de revestimento de aço é introduzida no poço (THOMAS, 2001).

Figura 1: Esquema simplificado de uma sonda de perfuração utilizada em empreendimentos *on* e *off shore*.



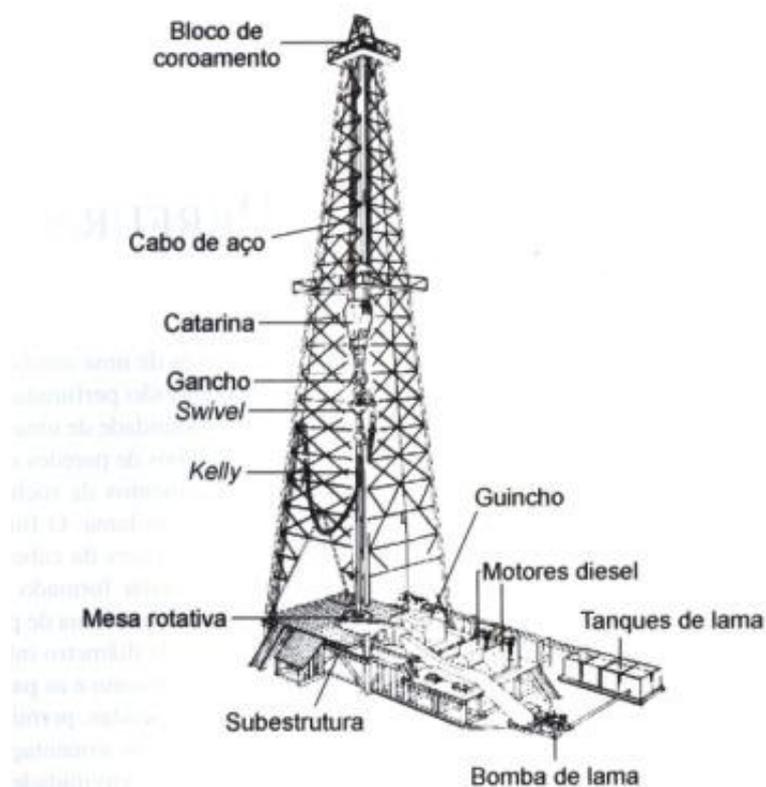
Fonte: Diário do Pré Sal. Acessado em 23 de maio, 2015. Disponível em <<https://diariodopresal.wordpress.com/o-que-e-o-pre-sal/petroleo-sonda-de-perfuracao-petrolifera>>.

Na perfuração de poços de petróleo e gás *offshore* as sondas de perfuração são instaladas sobre plataformas. As sondas de perfuração são compostas de três sistemas essenciais: sistema de elevação, sistema de circulação e sistema de rotação. Há mais dois sistemas, não essenciais, que são o sistema de compensação de ondas e o de prevenção de erupções (CORRÊA, 2003).

2.1 Sistema de Elevação

O sistema de elevação é composto pela torre de perfuração que suporta o gancho e elevadores, por meio de um bloco de polias, chamado Catarina, dos cabos de perfuração, um bloco de polias da torre chamado de bloco de coroamento e o guincho e seus motores, conforme pode ser notado na Figura 2.

Figura 2: Esquema de sistema de elevação.

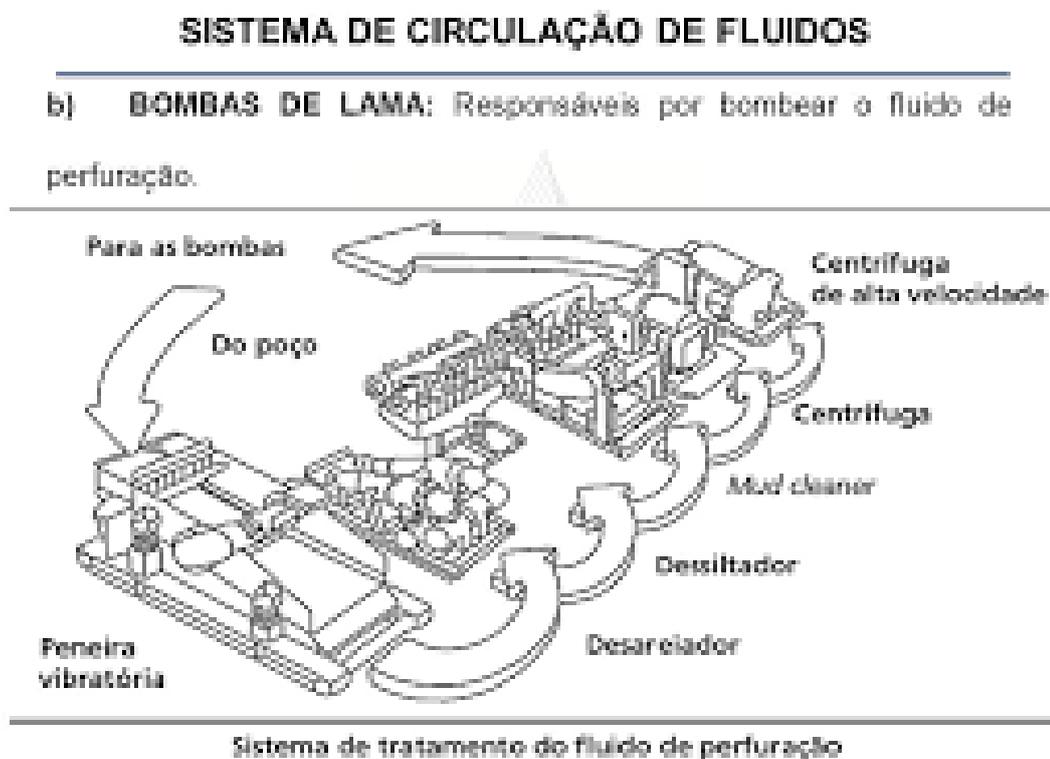


Fonte: THOMAS, 2001.

2.2 Sistema de Circulação

O sistema de circulação é composto pelos equipamentos que permitem a circulação e tratamento dos fluidos de perfuração. Durante a perfuração, as bombas de lama são utilizadas para circular os fluidos de perfuração dos tanques o qual é bombeado através da coluna de perfuração até a broca e retorna pelo espaço anular até a superfície. Assim, os cascalhos gerados pelo corte das formações rochosas, pela broca, são carregados do fundo do poço para a superfície onde recebe o tratamento adequado.

Figura 3: Esquema de sistema de circulação



Fonte: THOMAS, 2001.

2.3 Sistema Rotativo

O sistema rotativo é basicamente constituído pela mesa rotatória e seus motores, a haste quadrada e o *swivel*. A coluna de perfuração é girada pela mesa rotativa permitindo a livre rotação da coluna de perfuração, sendo responsável pela penetração da broca na rocha.

2.4 Sistema de Prevenção de Erupções

É um conjunto de válvulas utilizado para evitar que erupções de gás, água, óleo e outros fluidos venham a chegar a superfície; o mais importante destes é o *Blowout Preventer* (BOP). O conjunto é constituído por uma serie de válvulas de alta pressão colocadas uma em cima da outra e fixadas por parafusos.

Figura 4: *Blowout Preventer* (BOP).



Fonte: Completion Info. Disponível em: < http://completioninfo.com/blowout_preventer.html>. Acessado em 23 de maio 2015.

2.5 Sistema de Compensação de Ondas

Durante a perfuração do poço, um compensador de movimentos controla o peso sobre o broca. O operador da sonda abaixa a Catarina para permitir a perfuração e manter os cilindros de compensação dentro de suas capacidades de curso, enquanto o compensador da coluna mantém, automaticamente, o peso desejado sobre a broca. Quando a plataforma se eleva pela ação das ondas, os cilindros de compensação se retraem e o gancho da Catarina se move para baixo, a fim de manter os pesos desejados.

Basicamente, existem dois métodos de perfuração de poços, o método percussivo no qual a perfuração é feita golpeando a rocha com uma broca causando a sua fragmentação por esmagamento. E o método rotativo, no qual a perfuração é realizada através do movimento de rotação e o peso de uma broca comprimindo a rocha e causando sua fragmentação. O método de perfuração rotativa é o mais empregado pela indústria de petróleo.

Os fragmentos de rocha gerados durante o processo de perfuração são continuamente removidos por meio de um fluido injetado por bombas para o interior da coluna de perfuração, e que faz a circulação retornando à superfície através do espaço anular formado pelas paredes do poço e a coluna. O fluido com os cascalhos em suspensão retornam à superfície onde os cascalhos são separados do fluido. Com isso, os principais resíduos gerados pela atividade de perfuração de poços de petróleo são os cascalhos e fluidos de perfuração.

3 RESÍDUOS DA PERFURAÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS

O cascalho e o fluido de perfuração são os resíduos que caracterizam a perfuração de poços de petróleo e gás. O gerenciamento desses resíduos tem recebido atenção especial na indústria de petróleo e gás devido ao seu potencial de contaminação e da grande quantidade gerada. De acordo com levantamento realizado pelo IBAMA a utilização de fluidos de base não aquosa pode variar de 100 bbl (110 m³) a 31.000 bbl (4.900 m³) por poço. Esta variação ocorre por diversos motivos, como características das rochas a serem perfuradas, profundidade da lâmina d'água e profundidade dos poços, entre outras. Os cascalhos também são produzidos em grande quantidade nas operações de perfuração. A regra geral é calcular o volume aproximado de cascalhos gerados em barris por 1.000 pés dobrando o tamanho do poço em polegadas. Para uma única operação de perfuração de 10.000 pés o volume é de 1.500 bbl (239 m³). Há também outros resíduos secundários que fazem parte da atividade de perfuração, contudo, os cascalhos e fluidos de perfuração são os principais e resultam diretamente em impactos no meio ambiente.

Para realizar um correto gerenciamento de resíduos gerados em qualquer atividade é preciso conhecer os resíduos gerados por essa atividade, dessa forma, serão apresentados de forma detalhada as características e propriedades dos fluidos e cascalhos de perfuração bem como a influência do fluido de perfuração na operação de perfuração de poços de petróleo e gás, tipos de fluidos e as vantagens e desvantagens da utilização em cada fase da perfuração e as preocupações ambientais relacionadas ao manuseio e descarte desses resíduos em ambiente marinho.

3.1 Fluidos de Perfuração

Fluidos de perfuração são misturas de compostos químicos naturais e sintéticos usados para resfriar e lubrificar a broca de perfuração, limpar o fundo do poço, carrear os cascalhos até a superfície, controlar as pressões das formações e melhorar o funcionamento das ferramentas e da coluna de perfuração no poço. Do ponto de vista químico, podem assumir aspectos de suspensão, dispersão coloidal ou emulsão (THOMAS, 2001). A base é o componente majoritário do fluido de perfuração e representa de 60% a 90% de seu volume físico. O mercado brasileiro de bases para fluidos foi de 200 a 300 milhões de dólares em 2011, ou

aproximadamente 50% a 60% do mercado total de fluidos de perfuração (Bain & Company, 2014).

3.1.1 Tipos de Fluidos de Perfuração

Os fluidos de perfuração são constituídos por uma fase continua que pode ser água, óleo ou gás, a essa fase são adicionados produtos químicos para conferir ao fluido os parâmetros e características requeridas para a aplicação a qual se destina.

Os fluidos de perfuração são divididos em fluidos de base aquosa e fluidos de base não aquosa. Os Fluidos de base água como próprio nome sugere tem como base a água, os Fluidos de base não aquosa são subdivididos conforme sua base em: fluidos de base óleo, fluidos de base sintética e fluidos de base aerada, dependendo da fase continua do fluido de perfuração. O tipo de fluido usado depende das necessidades da perfuração e da formação geológica, bem como dos requisitos para descarte do fluido após sua utilização.

3.1.1.1 Fluidos de Perfuração de Base Água

O fluido de perfuração de base água tem a água como fase continua. A água pode conter várias substâncias dissolvidas, entre elas, bases, sais, surfactantes, polímeros orgânicos em estado coloidal, gotas de óleo emulsionado e varias substâncias insolúveis, como barita e argila. Utilizados principalmente nas fases iniciais de perfuração de poços. São usados em formações submetidas a pressões baixas ou moderadas e em formações com baixa permeabilidade ou sensibilidade à água.

Frequentemente, a composição do fluido selecionado para uso depende das substâncias dissolvidas na água ou dos materiais solúveis nas formações a serem perfuradas. Os fluidos de base água tem grande aceitação ambiental e possuem baixo custo em comparação aos demais, além de serem biodegradáveis e se dispersarem facilmente na coluna d'água. Apesar da sua aceitação, os fluidos de base água apresentam deficiências consideráveis em relação aos fluidos de base óleo quanto à sua capacidade relativamente baixa de inibição de folhelhos, lubricidade e estabilidade térmica. Para superar essas deficiências, aditivos específicos podem ser adicionados às formulações do fluido para proporcionar

propriedades próximas ao desempenho de fluidos de base óleo, minimizando o impacto ambiental.

Os aditivos químicos mais comumente utilizados em fluidos de base água são mostrados na tabela 1:

Tabela 1:Formulação padrão de fluido a base de água

MATERIAL / PRODUTO QUÍMICO	FUNÇÃO	CONCENTRAÇÃO LIBRAS/BARRIL
KCl	Inibição de argilas	10 - 70
Bentonita	Viscosificante redutor de filtrado	2 – 10
Poliacrilamida parcial hidrolisada (PHPA)	Inibição de argilas encapsulamento	0,5 – 2
Goma Xantana	Viscosificante/Modificador reológico	0,5 – 1,5
KOH	pH	0,5 – 1,5
Carbonato de Sódio	Controle de Ca^{2+}	0,5
Baritina $BaSO_4$	Densidade	-
Éster graxo de glicol etoxilado	Lubrificante	-
Glutaraldeído	Bactericida	-

Fonte: Estudo de químicos para E&P, UFRJ, 2014.

3.1.1.2 Fluidos de Perfuração Não aquosos

Fluidos de Base Óleo

Os fluidos de perfuração de base óleo foram desenvolvidos para superar certas características indesejáveis dos fluidos de base água. Essas deficiências ocorrem principalmente devido às propriedades da água: sua capacidade de dissolver sais, de interferir no fluxo de óleo e gás pelas rochas porosas, de promover a desintegração e a dispersão das argilas, e de causar um efeito sobre a corrosão do ferro. Além de fornecer um meio para evitar essas características indesejáveis dos fluidos de base água, os fluidos de base óleo oferecem potenciais vantagens:

melhores qualidades lubrificantes, maiores pontos de ebulição e menores pontos de congelamento. Como o custo da preparação de um fluido de base óleo é sempre maior do que de um fluido de base água de mesma densidade, a justificativa econômica para selecionar um fluido de base óleo deve vir do seu desempenho superior sob as condições específicas de uso (CAENN, 2014)

Os fluidos de base óleo são utilizados em perfurações nas quais a estabilidade e a inibição do inchamento de rocha são necessárias. Este tipo de fluido também é apropriado para seções profundas de poços, onde a pressão e temperaturas são altas ou para fases de ganho de ângulo, quando existe um aumento do atrito entre a coluna de perfuração e as paredes do poço. Os fluidos de base óleo são mais caros que os de base água e podem resultar em maiores impactos ambientais devido à baixa degradabilidade. Sua base pode conter misturas como diesel ou parafinas. As parafinas são hidrocarbonetos saturados com baixo conteúdo de compostos aromáticos.

Devido à sua fase contínua, os fluidos de base óleo são famosos por proporcionar atributos de desempenho inigualáveis quanto à taxa de penetração, inibição de folhelhos, estabilidade de poço, alta lubricidade, alta estabilidade térmica e alta tolerância a sal. Entretanto, por serem prejudiciais ao meio ambiente quando descartados no mar, estão sujeitos a rigorosa restrição ambiental em relação a descarga e reciclagem (CAENN, 2014).

O desempenho dos fluidos à base de óleo é muito melhor que as dos fluidos de base água, e essa diferença no desempenho se acentua à medida que o poço se torna mais fundo; normalmente, ao longo da perfuração do poço, o fluido de base água é substituída pelo fluido de base óleo à medida que o poço vai se aprofundando.

Os aditivos mais comumente utilizados em fluidos de base óleo são mostrados na tabela 2:

Tabela 2: formulação padrão de fluido à base de óleo

MATERIAL / PRODUTO QUÍMICO	FUNÇÃO	CONCENTRAÇÃO LIBRAS/BARRIL
Óleo mineral com baixíssimo teor de aromáticos	Fase contínua	65% - 95% (m ³ /m ³)
Água doce	Fase dispersa	5% - 35%(m ³ /m ³)
Cloreto de cálcio	Salinidade e atividade da água	100 - 250 kg/m ³
Poliamida hidrofobizada com óleo	Emulsificante primário	10 - 25 kg/m ³
Poliamida	Emulsificante secundário/Controle de filtrado	6 - 20 kg/m ³
Copolímero	Controle de filtrado	0 - 20 kg/m ³
Hectorita organofilizada	Viscosificante	20 - 30 kg/m ³
Dímero de ácido graxo	Modificador reológico	0 - 10 kg/m ³
Hidróxido de cálcio	Alcalinizante	0 - 25 kg/m ³
Baritina BaSO ₄	Adensante	-

Fonte: Estudo de químicos para E&P, UFRJ, 2014.

3.1.1.3 Fluidos de Perfuração Sintéticos

Os fluidos de perfuração sintéticos foram desenvolvidos como uma alternativa às limitações técnicas e operacionais dos fluidos de base água e em resposta às restrições ambientais impostas aos fluidos de base óleo. Os fluidos sintéticos são muito utilizados em perfurações de poços *offshore* onde é proibido o descarte do cascalho quando se perfura com fluidos de base óleo.

Os fluidos de base sintética tem propriedades semelhantes às dos fluidos de base óleo, porém, sua menor emissão de compostos tóxicos os torna importantes para aplicações em locais de trabalho fechados, como sondas *offshore*. Estes fluidos também tem maior biodegradabilidade e menor toxicidade para o ambiente marinho.

Em contrapartida, fluidos de base sintética são mais caros e podem demandar maior volume de aditivos químicos para aumentar sua estabilidade (Bain & Company, 2014).

Sua base é produzida por óleos produzidos através de reações químicas. Os óleos mais utilizados são as alfa olefinas lineares (LAO), poli alfa olefinas (PAO), olefinas internas (IO) e os ésteres graxos. As olefinas possuem ligações duplas entre seus carbonos, que as tornam mais reativas que as parafinas e resultam em características superiores de biodegradabilidade. Dentre as olefinas, as olefinas internas tem maior biodegradabilidade. O Brasil possui excedente de óleo de soja, que pode ser utilizado na produção de ésteres e olefinas LAO, PAO e IO, bases de fluidos de perfuração sintéticos.

Os aditivos químicos mais comumente utilizados em fluidos de base sintética são mostrados na tabela 3:

Tabela 3: formulação padrão para fluidos de base sintética

MATERIAL / PRODUTO QUÍMICO	FUNÇÃO	CONCENTRAÇÃO LIBRAS/BARRIL
Óleo sintético a base de alfa olefina linear	Fase continua	60 – 90 % (m^3/m^3)
Água doce	Fase dispersa	5 – 40 % (m^3/m^3)
Cloreto de cálcio	Salinidade e atividade da água	15 – 30 % peso água
Argila organofílica	Viscosificante/modificar reológico	10 - 25 kg/m^3
Sal de ácido graxo	Emulsificante primário/controlado de filtrado	6 - 20 kg/m^3
Agente de molhamento	Emulsificante secundário	0- 20 kg/m^3
Dímero de ácido graxo	Modificador reológico	20 - 30 kg/m^3
Hidróxido de cálcio	Alcalinizante	0 - 25 kg/m^3
Baritina $BaSO_4$	Adensante	-

Fonte: Estudo de químicos para E&P, UFRJ, 2014.

3.1.1.4 Fluidos de base gás

Embora o gás natural ou outros gases possam ser utilizados, o ar é mais comum nesses fluidos de perfuração. O ar é usado para produzir os chamados fluidos de espuma, em que bolhas de ar são circuladas por um filme de água contendo uma substância estabilizadora de espuma ou materiais de reforço de filme, como polímeros orgânicos ou bentonita.

Esse tipo de fluido não é recirculado e é particularmente usado para perfuração em pressão reduzida, a fim de melhorar a estabilidade do poço em formações com risco de desabamento. Entretanto, esse tipo de fluido tem algumas limitações no que diz respeito à perfuração de formações produtoras de água, bem como uma tolerância limitada a sal.

A finalidade original da utilização de fluidos de base gás era evitar a perda de água e o dano resultante para zonas produtoras. Um benefício secundário que se tornou extremamente importante em áreas de rocha dura era uma taxa mais rápida de perfuração.

3.1.2 Funções dos Fluidos de Perfuração

O propósito inicial ao utilizarem-se fluidos de perfuração era o de servir como um veículo para remoção de cascalhos do poço, mas em função da necessidade de atender a condições cada vez mais complexas na perfuração de poços de petróleo e gás, muitos requisitos são exigidos dos fluidos de perfuração, o que dificulta a atribuição de funções específicas.

A seguir são apresentadas as principais funções executadas pelo fluido de perfuração:

3.1.2.1 Remoção dos Cascalhos

Os cascalhos são pequenos fragmentos de rocha gerados pela ação da broca durante a atividade de perfuração. Esses cascalhos precisam ser removidos para agilizar a perfuração e não reduzir a taxa de penetração da broca nas formações. O cascalho é carregado para superfície pelo fluido de perfuração bombeado pelo interior da tubulação de perfuração. O fluido deve ser capaz de manter os cascalhos em suspensão abrindo caminho para penetração da broca.

3.1.2.2 Lubrificar e Resfriar a Broca

O peso e a rotação da broca em contato com as formações rochosas geram problemas de atrito e aquecimento. O fluido de perfuração tem a função de resfriar e lubrificar a broca reduzindo o atrito entre a coluna de perfuração e as laterais do poço a fim de aumentar a vida útil do equipamento.

3.1.2.3 Controle da Pressão no Interior do Poço

A pressão hidrostática do fluido de perfuração deve contrabalançar a pressão natural das formações rochosas. Quando a pressão do fluido no poço é menor do que a pressão natural das formações pode ocorrer à entrada de fluidos para o interior do poço a partir das rochas permeáveis penetradas. Portanto, um equilíbrio deve ser procurado onde a pressão do fluido de perfuração contra as paredes do poço seja suficiente para contrabalançar a pressão exercida pelas formações rochosas, e ao mesmo tempo não ser muito alta para não destruir as paredes do poço.

3.1.2.4 Manter a Estabilidade das Formações Rochosas

O fluido de perfuração deve fornecer uma pressão hidrostática suficiente para evitar o colapso das paredes do poço submetidas a esforços da broca giratória. A pressão exercida pelo fluido sobre as paredes do poço faz com que parte dele penetre nos poros da formação. Partículas sólidas presentes no fluido aderem nas paredes do poço formando uma camada fina e impermeável que estabiliza as formações. A formação de uma camada fina e impermeável além de estabilizar as paredes do poço reduz a absorção de fluido de perfuração pelas formações.

3.1.2.5 Aquisição de Dados a Respeito das Formações Perfuradas

Os cascalhos carreados pelo fluido de perfuração até a superfície trazem importantes informações a respeito das formações que estão sendo perfuradas. Os cascalhos e o fluido de perfuração são analisados por profissionais como geólogos e químicos para obter informações preciosas a respeito das formações perfuradas.

Além dessas funções principais, os fluidos de perfuração devem possuir varias características que podem aumentar significativamente a eficiência da operação de perfuração. Um fluido de perfuração eficiente deve apresentar inúmeras características, como propriedades reológicas desejadas, prevenção de perda de

fluido, estabilidade sob varias temperaturas e condições de pressão de operação, estabilidade contra fluidos contaminantes como água salgada, sulfato de cálcio e cimento e fluidos contaminados por potássio (CAENN, 2014).

3.1.3 Composição e Aplicações

Diversos aditivos são empregados na formulação de fluidos de perfuração com o objetivo de melhorar ou controlar suas propriedades. Há inúmeras composições de fluidos e cada composição é escolhida em função do tipo de perfuração, uma vez que os fluidos sofrem alterações na sua composição e nas suas propriedades no decorrer da perfuração, aditivos são utilizados para adequar o fluido às formações rochosas. A medida que a perfuração prossegue e a profundidade do poço aumenta é necessário aumentar a densidade do fluido, para suportar as pressões estáticas do poço, e aumentar uma propriedade importante a força gel para conseguir remover os cascalhos do fundo do poço.

Portanto, os aditivos tem como função básica desenvolver um fluido específico para cada formação rochosa perfurada. Os aditivos também podem ser inseridos no decorrer da perfuração, não sendo necessário interromper a perfuração para que o fluido seja substituído, sendo possível adiciona-los de maneira continua.

A seguir esses aditivos são discutidos em detalhes quanto á sua natureza e funcionalidade (CAENN, 2014):

- Agentes adensantes

São aditivos utilizados para aumentar a densidade do fluido de perfuração com objetivo de controlar a pressão hidrostática no interior do poço. Uma das funções do fluido de perfuração é controlar a pressão no interior do poço; a pressão é controlada alterando a densidade do fluido através da adição de sólidos pesados ao fluido. Existem vários aditivos utilizados para aumentar o peso de um fluido incluindo óxidos de ferro, carbonato de cálcio e barita. Dentre esses, a barita ou sulfato de bário ($BaSO_4$) é o mais utilizado, ela é preferível em relação a outros materiais devido à sua alta densidade, baixo custo de produção, baixa abrasividade e facilidade de manuseio. O uso da barita é controlado pelos órgãos ambientais e sofre restrições em função da possibilidade de contaminação com metais pesados como mercúrio, cádmio e chumbo. Aspectos ambientais sugerem substituir a barita

por carbonato de cálcio se um alto peso do fluido não for exigido pelas condições de perfuração.

- Lubrificantes

Durante a perfuração, a coluna de perfuração pode desenvolver um torque rotacional inaceitável ou, no pior dos casos, ficar presa devido ao atrito com as paredes do poço. Quando isso acontece, a coluna de perfuração não pode ser elevada, abaixada ou girada. Para reduzir esse atrito, são adicionados lubrificantes ao fluido de perfuração. Alguns aditivos usados como lubrificantes são o óleo diesel, ésteres e gliceróis. Embora reduzam o atrito, muitas dessas formulações são tóxicas para a vida marinha.

- Inibidores de corrosão

Corrosão e deposição de incrustações são os dois problemas mais caros nas indústrias de petróleo. Superfícies corrosíveis são encontradas em todo o processo de produção, transporte e refino de petróleo. A corrosão nos equipamentos de perfuração é causada por gases como oxigênio e o sulfeto de hidrogênio. Os inibidores de corrosão são adicionados aos fluidos de perfuração, principalmente aos fluidos de base água, com objetivo de proteger tanques de armazenamento, colunas de perfuração, tubulações e outras estruturas metálicas.

- Controle de bactérias

São aditivos que controlam os processos fermentativos devido à ação de microorganismos. A contaminação bacteriana dos fluidos de perfuração contribui para um grande número de problemas. A formulação de muitos fluidos contém polímeros à base de açúcares que são uma fonte de alimentação eficaz para populações bacterianas. Isso pode levar à degradação do fluido. Além disso, o metabolismo bacteriano pode gerar produtos deletérios.

O mais notável entre eles é o sulfeto de hidrogênio, que pode levar à decomposição dos polímeros do fluido, à formação de sólidos como sulfeto de ferro e a ação corrosiva sobre os tubos e equipamentos de perfuração.

O controle bacteriano é importante não apenas nos fluidos de perfuração, mas, também em outras operações de óleo e gás.

- Agentes viscosificantes

O aditivo mais utilizado para conferir viscosidade ao fluido de perfuração é a bentonita, um gel que em contato com a água incha conferindo viscosidade ao fluido. A adição de bentonita em excesso pode provocar a redução da permeabilidade do reservatório perfurado.

- Emulsificantes

Agentes emulsificantes são utilizados para estabilizar das emulsões. Emulsões desempenham um papel importante nos fluidos de perfuração. Alguns aditivos usados como emulsificantes são os ácidos graxos e alquil sulfonados.

- Agentes floculantes

São utilizados para aumentar a capacidade de carreamento de cascalhos pelos fluidos de perfuração e também da sustentação de partículas durante os períodos em que as bombas de fluido estiverem desligadas. O efeito de polímeros como goma xantana, hidróxi etil celulose e carboxi metil celulose são muito utilizados para aumentar a força gel do fluido.

3.1.4 Toxicidade de fluidos de perfuração

A toxicidade consiste na capacidade de uma substância química produzir um efeito nocivo quando interage com um organismo vivo (BAIRD, 2011). A toxicidade dos fluidos de perfuração influencia diretamente no impacto ambiental sobre a comunidade marinha.

A primeira geração de fluidos de perfuração de base óleo, que utilizava óleo diesel, apresentava uma toxicidade significativa como resultado da presença de hidrocarbonetos aromáticos e poliaromáticos solúveis em água. Com a introdução de óleos minerais mais altamente refinados e dos fluidos de base sintética, a toxicidade dos fluidos de base não aquosa foi reduzida significativamente. Fluidos mais recentes de base mineral de baixa toxicidade possuem consideravelmente menos hidrocarbonetos aromáticos e são menos tóxicos. A nova geração melhorada de óleos minerais, parafinas e sintéticos tem pouco ou nenhum teor de aromáticos e são ainda menos tóxicos (VEIGA, 1998).

No Brasil a aprovação para a descarga dos cascalhos de perfuração no mar exige a realização de testes de toxicidade a fim de determinar o potencial de efeitos adversos sobre a vida aquática.

Os fluidos de base não aquosa foram agrupados de acordo com as concentrações de hidrocarbonetos aromáticos como segue abaixo (IOGP, 2013):

Grupo I: fluidos não aquosos (elevado conteúdo aromático)

Esses foram os primeiros FBNA e incluem diesel e fluidos à base de óleo mineral convencional refinados de petróleo e contem parafinas, aromáticos e poliaromáticos HPA. Grupo I dos FBNA são caracterizados por ter níveis de HPA maior do que 0,35%. Os fluidos de base óleo apresentam teor de hidrocarbonetos poliaromáticos na faixa de 2-4% e o teor de hidrocarbonetos aromáticos é de até 25%.

Os fluidos de base óleos minerais convencionais foram desenvolvidos como um primeiro passo na abordagem das preocupações sobre a toxicidade potencial de fluidos de base óleo diesel. O conteúdo de HPA é de 1-2%.

Grupo II: fluidos não aquosos (médio conteúdo aromático)

Estes fluidos referidos como fluidos de base óleo mineral de baixa toxicidade foram desenvolvidos como um segundo passo na abordagem das preocupações sobre a toxicidade potencial de fluidos de base diesel. O teor de hidrocarbonetos aromáticos fica na faixa de 0,5 - 5%, menores que o do grupo I e o conteúdo de HPA é menor do que 0,35% mas maior do que 0,001%.

Grupo III: fluidos não aquosos (baixo a desprezível conteúdo aromático)

Esses fluidos são caracterizados por conteúdo de HPA inferior a 0,001% e o conteúdo total de aromáticos inferior a 0,5%. O grupo III inclui os fluidos de base sintética e podem incluir fluidos de base óleo mineral melhorado (IOGP, 2013).

Tabela 4: teor de HPA (expresso como fenantreno) em fluidos não aquosos

CLASSIFICAÇÃO	TIPO DE FLUIDO NÃO AQUOSO FBNAS	TEOR DE HIDROCARBONETOS POLIAROMÁTICOS
GRUPO I	Óleo (mineral e diesel)	HPA > 0,35%
GRUPO II	Óleo mineral de baixa toxicidade	0,001% < HPA < 0,35%
GRUPO III	Óleo mineral melhorado e Sintéticos	HPA < 0,001%

Fonte: IOGP, relatório nº342, 2013.

3.1.5 Biodegradação

A biodegradação é a decomposição de um material pela ação de organismos vivos, normalmente micro-organismos e, em especial as bactérias (BAIRD, 2011). Biodegradação é um fator importante dos fluidos de perfuração para assegurar que estes não irão persistir no meio ambiente por longos períodos de tempo.

Compostos orgânicos presentes nos fluidos irão se biodegradar pela ação de microrganismos de ocorrência natural. A biodegradação ocorre mais rapidamente sob condições aeróbias (com oxigênio) do que sob condições anaeróbicas (na ausência de oxigênio). Se o fluido estiver bem disperso na água, normalmente há mais oxigênio disponível para a biodegradação aeróbia. Fluidos de base água se dispersam na coluna d'água, pois, são solúveis em água. Enquanto fluidos de base não aquosa não se dispersam tão bem e tendem a se fixar em alguma área do leito marinho próximo à plataforma. Cascalhos gerados de fluidos sintéticos quando descartados no mar tendem a agregar-se em grandes partículas que se depositam rapidamente no assoalho marinho. Os fluidos sintéticos foram desenvolvidos para apresentar biodegradabilidade nas condições presentes nos sedimentos em áreas *offshore*. Os resultados de testes de biodegradabilidade para fluidos sintéticos indicaram que os ésteres geralmente biodegradam mais rapidamente que outros fluidos de base sintética (CAENN, 2014). As taxas de biodegradação de fluidos de base não aquosa dependerão das condições do ambiente do fundo do mar

(temperatura, disponibilidade de oxigênio) bem como das concentrações e dos tipos de fluidos.

No Brasil o IBAMA exige a aprovação em testes de biodegradabilidade para descarga no mar de cascalhos contaminados com fluidos de perfuração não aquosos.

3.1.6 Bioacumulação

A bioacumulação é a absorção e retenção nos tecidos de um organismo de um produto químico a partir de todas as possíveis fontes externas (água, alimento e substrato). A bioacumulação pode ser um problema quando os organismos aquáticos acumulam resíduos químicos nos seus tecidos em níveis que podem resultar em toxicidade para o organismo aquático ou para o consumidor desse organismo aquático (IOGP, 2003).

O potencial de bioacumulação é avaliado pelo coeficiente de partição entre o octanol e a água que é uma medida físico química da propensão de uma substância química para particionar em octanol em relação a água. O teste verifica se certa substância química se dissolve mais facilmente em octanol ou na água.

Portanto, a bioacumulação de produtos químicos presentes nos fluidos de perfuração pelos organismos aquáticos pode ter consequências ecológicas significativas.

3.2 Cascalhos de Perfuração

Os cascalhos de perfuração de poços de petróleo são fragmentos de rochas impregnados com fluidos usados durante a perfuração. O cascalho é um resíduo classificado como heterogêneo, perigoso, com concentração significativa de hidrocarbonetos, metais pesados e sais insolúveis em água. As características físicas e químicas dos cascalhos de perfuração são muito variáveis, uma vez que dependem da geologia das formações rochosas local, do tipo de fluido de perfuração utilizado, da técnica de perfuração empregada e do tipo de broca usado na perfuração. Por meio do fluido de perfuração esses cascalhos são carregados do fundo do poço até a superfície, onde serão separados do fluido por meio de um sistema de controle de sólidos. Mesmo após o processo de separação os cascalhos

ainda permanecem impregnados com um percentual de fluido de perfuração (AL-ANSARY e AL-TABBAA, 2007).

A caracterização físico-química dos cascalhos impregnados com fluidos de perfuração sintéticos, à base de n-parafinas, olefinas e ésteres mostrou que considerando os metais, ânions e compostos analisados e considerando os testes de toxicidade constantes na literatura, podem ser classificados como de classe II-A, ou seja, resíduos não perigosos e não inertes segundo a NBR 10.004 (BORGES, 2006).

3.2.1 Geração de Cascalhos de Perfuração

O volume de cascalhos gerados na perfuração de um poço de petróleo é função da profundidade do poço, do diâmetro do poço e das características geológicas das formações rochosas perfuradas. Teoricamente é possível determinar o volume de cascalho produzido, que será igual ao valor do volume geométrico do poço perfurado, mas, no cálculo de volume de cascalho produzido é utilizado um coeficiente de segurança em torno de 20% devido a eventuais desabamentos das formações para dentro do poço, normais durante a perfuração.

Se o fluido usado na perfuração for de base água, o descarte desses cascalhos gerados juntamente com o fluido associado, bem como o excesso de fluido por diluição, geralmente não é um problema. Entretanto, se o fluido utilizado na perfuração for de base não aquosa (óleo ou sintética) devem haver medidas e procedimentos especificando o manuseio e o descarte corretos dos cascalhos e do excesso de fluido. O fluido de base não aquosa pode ter componentes tóxicos, por exemplo, o óleo diesel contém compostos aromáticos. A introdução de fluidos de base não aquosa no meio ambiente marinho está associada aos fluidos que permanecem aderidos aos cascalhos descarregados pós-tratamento, uma vez que a descarga integral de fluidos de base não aquosa geralmente não é permitida. Portanto, os cascalhos gerados durante a perfuração com esses fluidos devem ser rigidamente controlados quanto ao descarte (IOGP, 2003).

O custo referente ao manuseio e transporte desses resíduos da perfuração, porém, pode ser uma porcentagem significativa da operação de perfuração. Em operações *offshore*, o custo para transportar esses resíduos até a terra pode ser proibitivo.

4 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA PERFURAÇÃO

Embora a busca pela mitigação dos impactos ambientais decorrentes do uso e descarte dos fluidos e cascalhos de perfuração configure uma das medidas requeridas pelo IBAMA para o controle da poluição provocada pelos empreendimentos de exploração e produção de óleo e gás, esse tema ainda não é abordado em detalhes por nenhum instrumento normativo. A Nota Técnica nº 01/2011 CGPEG/DILIC/IABAMA que apresenta as diretrizes para implementação do projeto de controle da poluição exigido no processo de licenciamento ambiental dos empreendimentos de exploração e produção *offshore* de petróleo e gás, sinaliza que o monitoramento do descarte e da disposição em terra de fluidos e cascalhos de perfuração serão abordados em outro instrumento regulador específico para essa temática.

Devido ao fato do controle desses resíduos não ser realizado no âmbito da Nota Técnica nº 01/2011 do IBAMA, as informações sobre a destinação desse tipo de resíduo não são contempladas nos relatórios de acompanhamento dos projetos de controle da poluição. Todavia, os volumes de fluidos utilizados na perfuração de poços são bastantes elevados e as informações disponíveis sobre os fluidos utilizados na perfuração de poços se encontram nos relatórios de cumprimento de condicionantes dos empreendimentos licenciados.

Segue uma breve descrição da forma como os cascalhos e fluidos de perfuração são gerenciados no processo de perfuração de poços de petróleo e gás:

À medida que é circulado no poço durante a perfuração, o fluido acumula sólidos inerentes à formação rochosa perfurada, o que interfere nas suas propriedades e consequentemente no seu desempenho. Dessa forma o fluido pode ser reaproveitado após o processo de separação e aditivação para recuperar suas propriedades ou pode ser descartado gerando um passivo ambiental difícil de recuperar. A minimização dos custos de manutenção do fluido começa com a utilização de técnicas adequadas de controle de sólidos.

Para ser reaproveitado o fluido precisa passar por um sistema de controle de sólidos, um conjunto de equipamentos capaz de reter boa parte dos fragmentos de

rochas contidos no fluido. O processo de separação do fluido dos sólidos começa com a passagem por peneiras vibratórias onde as partículas mais grosseiras são retidas. Continuando o circuito o fluido é processado por um conjunto de hidrociclones para acelerar a decantação de partículas presentes no fluido. Em seguida o fluido passa por um dessiltador. O dessiltador irá remover partículas mais finas de areia e argila que ainda estejam presentes. Dependendo do caso, uma centrífuga também pode ser utilizada para completar a separação. O desaerador irá remover gases presentes no fluido de perfuração. Após o processo de separação o fluido é enviado para um tanque denominado misturador de lama onde receberá aditivos para recuperar suas propriedades e posteriormente será bombeado para dentro do tubo de perfuração recomeçando o ciclo.

O grande desafio do sistema de controle de sólidos é o de remover os sólidos e minimizar a perda de aditivos importantes e valiosos, como a baritina utilizada para conferir peso ao fluido. Se o controle de sólidos no fluido não é realizado de maneira eficiente, a diluição com fluido de perfuração fresco pode ser necessário para manter as propriedades e o desempenho do fluido.

Na perfuração de poços *offshore*, o descarte de fluidos ao mar depende do tipo de base do fluido (aquosa ou não aquosa) uma vez que o descarte de fluidos de base não aquosa FBNA é proibido. O descarte ao mar de fluidos de perfuração de base aquosa FBAs ocorre de duas formas distintas: o fluido pode ser descartado junto ao cascalho gerado durante a perfuração e descartado ao final de sua utilização após teste para verificar se o fluido não está contaminado com óleo livre.

Os FBNA não podem ser descartados no mar e os cascalhos gerados durante a perfuração com esse tipo de fluido poderão ser descartados caso apresentem teor de base orgânica aderida inferior a 6,9% em peso úmido de cascalho; no caso de n-parafinas e fluidos à base de óleos minerais tratados ou 9,4% em peso úmido de cascalho, no caso de base orgânica de olefinas internas, olefinas alfa lineares, polialfa olefinas, ésteres, éteres e acetais para média acumulada do poço (IBAMA). Mesmo que o fluido de perfuração seja removido dos cascalhos através do sistema de controle de sólidos, ainda assim os cascalhos apresentam fluido residual aderido. O descarte de FBAs e de cascalhos gerados com FBA ao mar é uma prática de rotina, exceto em áreas altamente sensíveis (CAENN, 2014).

O cascalho gerado com FBNA contaminado com hidrocarbonetos só poderá ser descartado caso essa contaminação por óleo seja menor que 1%. Os fluidos de perfuração contaminados e os cascalhos com FBNA aderido fora da especificação não podem ser descartados no mar e devem ser encaminhados para destinação final em terra. O método de tratamento utilizado para esses resíduos depende do tipo de resíduo, composição e parâmetros de gerenciamento. Na tomada de decisão relativa à eliminação desses resíduos é preciso considerar não só os potenciais impactos ambientais, mas, também outros impactos que incluem o custo, emissões atmosféricas, riscos do transporte e manuseio, riscos ocupacionais e exposição a substâncias químicas; cada opção de descarte apresenta vantagens e desvantagens do ponto de vista econômico, operacional e ambiental. Uma vez em terra há uma série de opções para o tratamento e destinação final.

De acordo com a International Association of Oil and Gas Producers (OGP) em relatório denominado “Aspectos ambientais do uso e descarte de fluidos de perfuração não aquosos associados com operações *offshore* de petróleo e gás” publicado em 2003:

As principais opções de destinação final para os cascalhos de perfuração são:

- Descarga *offshore*: onde os cascalhos são descartados no mar depois de submetidos a tratamento por equipamentos de controle de sólidos.
- Re-injeção *offshore*: onde os cascalhos de perfuração são moídos para tamanhos de partículas mais finas e re-injetados em formações subterrâneas permeáveis.
- Eliminação *onshore*: onde os cascalhos são recolhidos e transportados para tratamento, se necessário, e encaminhando à destinação final por técnicas como aterros, espalhamento em terra, injeção ou reutilização.

Na tomada de decisões relativas a eliminação de cascalhos, é preciso considerar não apenas o potencial dos impactos ambientais de uma opção, mas, também os potenciais impactos das alternativas. Outros impactos incluem custos, utilização de recursos, emissões atmosféricas, transporte e risco de manipulação, riscos ocupacionais e exposição a substâncias químicas. Na maioria de áreas operacionais em todo o mundo, o descarte de fluidos de base água e cascalhos gerados com fluidos base água é prática de rotina, exceto em áreas altamente sensíveis.

Cascalhos gerados com fluidos de base não aquosa são descarregados no mar conforme regulamentações locais.

A descarga *offshore* de fluidos de base não aquosa não é uma prática ambiental aceitável e até proibida em muitos países. Quando uma infraestrutura em terra está disponível os FBNA's são recuperados e reciclados. Esses fluidos podem ser reutilizados na perfuração de outros poços na área.

No Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos tem como objetivo criar uma estrutura para o gerenciamento e destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, incluindo os perigosos. Entretanto, no caso específico do setor petrolífero não há previsão expressa aos resíduos gerados por esse setor.

5 ASPECTOS LEGAIS DA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS

Todas as atividades capazes de alterar negativamente as condições ambientais estão submetidas ao controle ambiental. O licenciamento ambiental é uma das modalidades de controle ambiental específico para atividades que, devido às suas dimensões, sejam potencialmente capazes de causar degradação ambiental. O licenciamento ambiental é o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e operação de determinada atividade ou empreendimento considerado potencialmente poluidor, considerando as disposições legais e regulamentares, e as normas aplicáveis ao caso (ARARUNA, 2014).

Para as atividades de exploração *offshore* de petróleo e gás o licenciamento ambiental é a ferramenta legal de maior significância. No Brasil a competência para licenciar as atividades de exploração e produção *offshore* de petróleo e gás natural é do IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis. Em caso de atividades de exploração e produção em terra a competência é dos órgãos ambientais estaduais, se, porém, os impactos do empreendimento ultrapassar as fronteiras de um estado, a competência do licenciamento volta a ser do IBAMA. Até a década de 1990, o Brasil não possuía uma legislação ambiental específica que controlasse as atividades de exploração de petróleo e gás. Foi somente em 1993 que o IBAMA estabeleceu os procedimentos que deveriam ser observados para o licenciamento das atividades de exploração e produção de óleo e gás (SCHAFFEL, 2002).

Em seu livro sobre gerenciamento de resíduos da indústria de petróleo e gás, ARARUNA, descreve um resumo do processo de licenciamento ambiental de atividades de exploração e produção *offshore* de óleo e gás:

O licenciamento ambiental das atividades de exploração e produção *offshore* de óleo e gás é conduzido pela Coordenação Geral de Petróleo e Gás da Diretoria de Licenciamento Ambiental do IBAMA através de procedimentos regulamentados pelas resoluções CONAMA n° 237/97 e n° 350/04, e pela Portaria MMA n° 422/2011.

O empreendedor, após a aquisição da área exploratória, deve iniciar o processo de licenciamento ambiental do projeto para que as atividades possam ser iniciadas.

Nesse processo, o IBAMA sugere medidas de controle e monitoramento para que sejam permitidas as atividades de perfuração. Instaurado o processo, um termo de referência é solicitado pelo empreendedor junto ao IBAMA. O termo de referência tem como objetivo estabelecer as diretrizes, conteúdo mínimo e abrangência do estudo exigido. O termo de referência contempla detalhes para identificação e caracterização da atividade do empreendedor, descrição geral e área de influência da atividade, diagnóstico ambiental, identificação e avaliação dos impactos ambientais, análise e gerenciamento de riscos, medidas mitigadoras, compensatórias e projetos ambientais.

Após o recebimento do termo de referência, inicia-se a fase de estudos ambientais que podem ser entendidos como todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para análise da licença requerida. O empreendedor contrata uma empresa de consultoria cadastrada no IBAMA para desenvolvimento dos estudos ambientais requeridos.

Após sua conclusão os estudos ambientais são submetidos a análise do IBAMA, que faz a análise e verificação da documentação e encaminha o estudo ambiental para consulta aos órgãos federais, órgãos estaduais e órgãos gestores de unidades de conservação abrangidas pela área de influência do empreendimento, estabelecendo um prazo para que os mesmos se manifestem.

Os órgãos então apresentam a respectiva análise técnica e, posteriormente, o IBAMA analisa os estudos e emite os pareceres técnicos, com prazo para emissão do parecer final previamente estipulado, a contar do requerimento da licença, para deferir ou indeferir o pleito. O órgão ambiental pode ainda, após análise do estudo ambiental, solicitar através de pareceres técnicos esclarecimentos e complementações dos estudos ambientais realizados pelo empreendedor.

A licença só é expedida após os esclarecimentos de todos os questionamentos feitos pelo órgão com base nos estudos ambientais apresentados e após as inspeções tanto da unidade de perfuração quanto das embarcações de apoio.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, por meio da resolução N° 23/94 estabeleceu critérios específicos para o licenciamento ambiental das atividades

relacionadas a exploração de óleo e gás no Brasil. De acordo com essa resolução o empreendedor que desejar obter licença para desenvolver atividades de exploração deverá apresentar ao órgão ambiental um estudo ou relatório. O órgão ambiental por sua vez deverá fornecer um termo de referencia para que o empreendedor se baseie nele para desenvolver o estudo ou relatório solicitado.

A resolução CONAMA 237/1997 considerou a necessidade de revisão dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental, instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente.

O atual arcabouço regulatório do licenciamento ambiental das atividades de exploração *offshore* de óleo e gás, é composto por diversas resoluções CONAMA, tornando a regulação por vezes difusa e contraditória, o que significa insegurança jurídica para o processo de licenciamento. Além disso, a maioria dessas resoluções é antiga e, portanto, não recepciona avanços recentes no gerenciamento da informação ambiental, nem reflete adequadamente o estado atual do conhecimento científico sobre os impactos e riscos das atividades de pesquisa e produção de óleo e gás, sinalizando que uma nova regulamentação unificada possibilitaria ao mesmo tempo um suporte jurídico mais adequado aos procedimentos atualmente executados no licenciamento ambiental e pavimentaria a possibilidade de inovações futuras, acompanhando a evolução dos instrumentos normativos e, conseqüentemente, conhecimentos disponíveis (ARARUNA, 2014).

A lei 9.966/2000 dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob a jurisdição nacional. No artigo 20 da referida lei diz: “A descarga de resíduos sólidos das operações de perfuração de poços de petróleo será objeto de regulamentação específica pelo órgão federal de meio ambiente”. Esta lei é a única referência legal para o descarte de resíduos provenientes das atividades de perfuração de poços *offshore* de petróleo e gás. A lei 9.966/2000 transfere toda responsabilidade do controle da descarga dos resíduos sólidos das atividades de perfuração para o órgão federal de meio ambiente; IBAMA (SCHAFFEL, 2002).

O IBAMA faz o controle do descarte de resíduos de perfuração por meio de medidas de procedimentos previstos nos termos de referência para elaboração dos

respectivos estudos ambientais. Não há regulamentação específica sobre o uso e descarte dos fluidos sintéticos ou cascalhos impregnados com esses fluidos. Para controlar o gerenciamento o IBAMA tem requerido que o relatório de controle ambiental apresente testes de toxicidade. Além disso, a composição do fluido e a estimativa da quantidade a ser utilizada por poço, bem como a estimativa da quantidade de cascalho gerado também são requeridas. O IBAMA também determina a implantação de projetos de controle da poluição e monitoramento ambiental. No projeto de controle de poluição, devem-se realizar testes de eficiência de separação fluido/cascalho. O volume de fluidos e cascalhos gerados deve ser apresentado para cada intervalo do poço.

Conforme explica o IBAMA, através de minuta de nota técnica posta em consulta pública em 2014, desde o início do licenciamento das atividades de perfuração de poços *offshore* de petróleo e gás natural os procedimentos estabelecidos para aprovação do uso e descarte de fluidos e cascalhos de perfuração baseavam-se na avaliação prévia das características físico-químicas e ecotoxicológicas dos fluidos de perfuração apresentadas pelas empresas operadoras. Especialmente no caso da PETROBAS, as características e formulações dos fluidos, em função da dinâmica da atividade e da logística de aquisição de insumos, mostraram-se muito variáveis, necessitando, para seu efetivo controle, de um grande número de formulações novas com seus respectivos testes de ecotoxicológicos e demais informações pertinentes.

Na medida em que a análise dos fluidos foi se aprofundando, novas informações foram sendo solicitadas e maior precisão das mesmas foi sendo exigido, este procedimento esbarrava em uma dificuldade cada vez maior por parte das empresas em atender as solicitações do IBAMA. Este fato não só gerava atraso nos cronogramas das empresas, como demandava um tempo cada vez maior de análise e gestão nos processos administrativos de fluidos e também nos processos de licenciamento das atividades de perfuração (IBAMA, 2014).

Durante o ano de 2012 verificou-se que a avaliação prévia dos fluidos de perfuração não tinha a eficácia esperada, tendo em vista a prática operacional de algumas empresas, que ocorre de forma bem diferente daquela que vinha sendo informada ao IBAMA, adotando procedimentos de transporte, mistura e reuso de fluidos de

perfuração de base não aquosa que implicam na descaracterização de parâmetros aprovados para operação nos termos dos processos administrativos de fluidos de perfuração e complementares existentes.

Embora os fluidos utilizados sejam apresentados nos estudos ambientais dos processos de licenciamento ambiental de cada bloco ou área geográfica, as informações de permissão de uso, tais como características físico-químicas e ecotoxicológicas, são controladas nos Processos Administrativos de Fluidos de Perfuração e Complementares. O desrespeito aos procedimentos e medidas nele estabelecidos acarreta em descumprimento de todas as licenças cuja emissão seguiu este ritual. Esta forma de tratar os projetos e programas ambientais por meio de processos administrativos específicos foi desenvolvida pelo IBAMA a partir de proposta inicial da Petrobras. Objetivou-se com isto evitar a reanálise de aspectos repetitivos da atividade, concentrar informações para melhor geri-las, melhorar o acompanhamento do IBAMA, potencializar os resultados tanto para o ambiente como para as comunidades impactadas, além de atender à dinâmica da atividade petrolífera, onde as incertezas e as constantes mudanças de projeto são inerentes à atividade. Este procedimento foi inicialmente implantado para os processos da Petrobras e, devido ao seu êxito, foi estendido para todas as outras empresas em operação, por meio da abertura de Processo Administrativo de Fluidos e Complementares específico para cada empresa. No entanto, os procedimentos de mistura e reuso de fluidos de perfuração de base não aquosa (óleo ou sintética) resultaram em quebra da condicionante específica das licenças ambientais, que o uso e descarte de fluidos de perfuração e complementares seja feito em concordância com as formulações aprovadas no Processo Administrativo de Fluidos e Complementares. Desta forma, um novo modelo de gestão para uso e descarte de fluidos é proposto, considerando a prática operacional das empresas e priorizando o controle do efluente em detrimento à aprovação prévia do uso de fluidos (IBAMA, 2014).

Em 2014 foi posta em consulta pública uma minuta de Nota Técnica elaborada pela Coordenação Geral de Petróleo e Gás da Diretoria de Licenciamento Ambiental do IBAMA a respeito das diretrizes para uso e descarte de fluidos e cascalhos de perfuração (IBAMA, 2014). Devido à necessidade de reformulação dos procedimentos para regulação do uso e descarte de fluidos e cascalhos gerados

durante a atividade de perfuração marítima de poços de exploração e produção de petróleo e gás natural, o IBAMA, por meio dessa Minuta de Nota Técnica coloca em discussão novas diretrizes para o controle desses resíduos, fluidos complementares e pastas de cimento nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás natural.

6 RESÍDUOS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS OFFSHORE NA BACIA DO ESPÍRITO SANTO

A bacia do Espírito Santo localiza-se ao longo do litoral centro-norte do Estado do Espírito Santo e sul do Estado da Bahia. Seu limite sul é a feição geológica conhecida como Alto de Vitória, que a separa da Bacia de Campos. A bacia possui uma área sedimentar total de 123.130 km² até a lâmina d'água de 3.000 m (17.900 km² em terra). A bacia apresenta um volume original provado de 71 milhões de m³ de óleo e 9 bilhões de m³ de gás. A atividade de perfuração marítima na Área Geográfica do Espírito Santo (AGES) permitirá a continuidade da exploração de petróleo e gás na região, tendo importância significativa para o aumento da produção brasileira e dessa área como pólo de desenvolvimento da atividade petrolífera. (PETROBRAS, 2013).

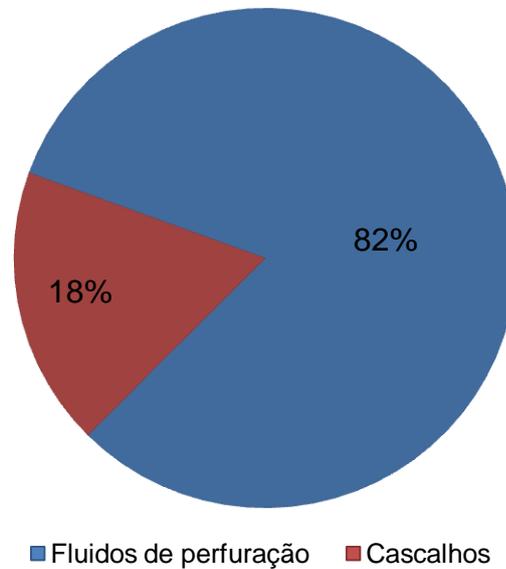
Os fluidos de perfuração utilizados pela PETROBRAS na AGES foram de dois tipos: fluidos de base água e fluidos sintéticos. Essa escolha foi feita levando em consideração as características das formações geológicas das áreas dos poços. Cada fluido é específico para uma fase da perfuração do poço. Os fluidos de base água são eficazes em quase todos os casos. Já os fluidos de base sintética possuem n-parafinas ou éster em sua composição e são empregados quando não é possível o uso daqueles de base aquosa.

6.1 Análise dos dados de geração de resíduos de perfuração

Esta seção apresenta os resultados do levantamento com relação aos resíduos de perfuração *offshore* gerados na área geográfica do Espírito Santo pela PETROBRAS no período compreendido entre setembro de 2009 a março de 2014. Os dados sobre a geração de resíduos de perfuração na bacia do Espírito Santo analisados nesse trabalho constam em relatórios ambientais consolidados que foram solicitados a PETROBRAS através do portal de acesso a informação.

Considerando o total de resíduos gerados pelas atividades de perfuração *offshore* durante o período analisado foi observado que 82% constituem-se de fluidos de perfuração e 18% de cascalhos como mostra a figura 5:

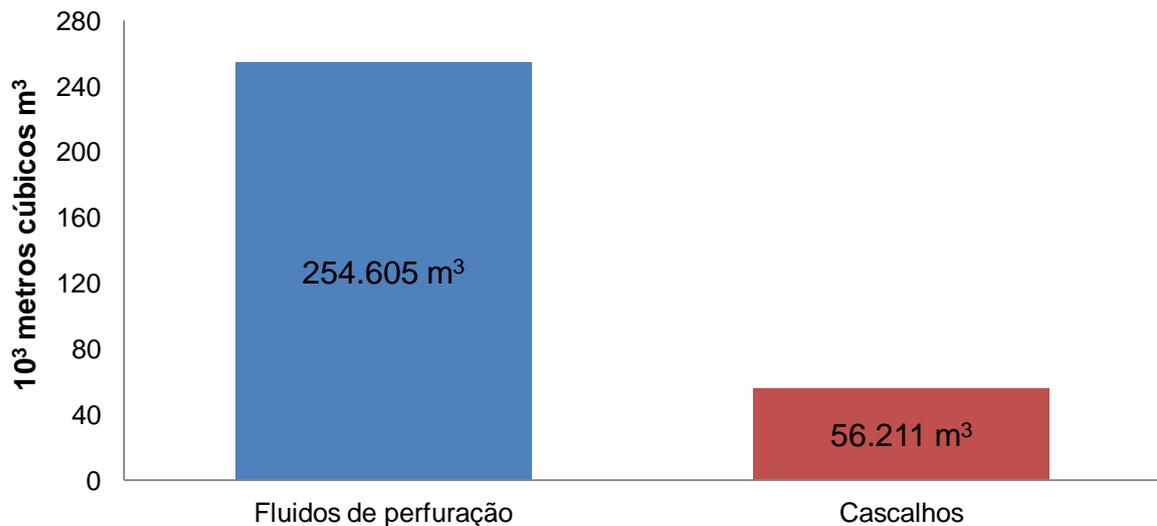
Figura 5: Percentual dos resíduos gerados em relação ao total



Fonte: acervo pessoal

As atividades de perfuração *offshore* de óleo e gás na AGES pela PETROBRAS produziram um total de 310.816 metros cúbicos de resíduos. A figura 6 apresenta os quantitativos totais em metros cúbicos por tipo de resíduo gerado durante o período analisado. É possível verificar a diferença de escala dos quantitativos de resíduos gerados por tipo, o maior volume de resíduos produzidos nas operações de perfuração foi referente ao fluido de perfuração.

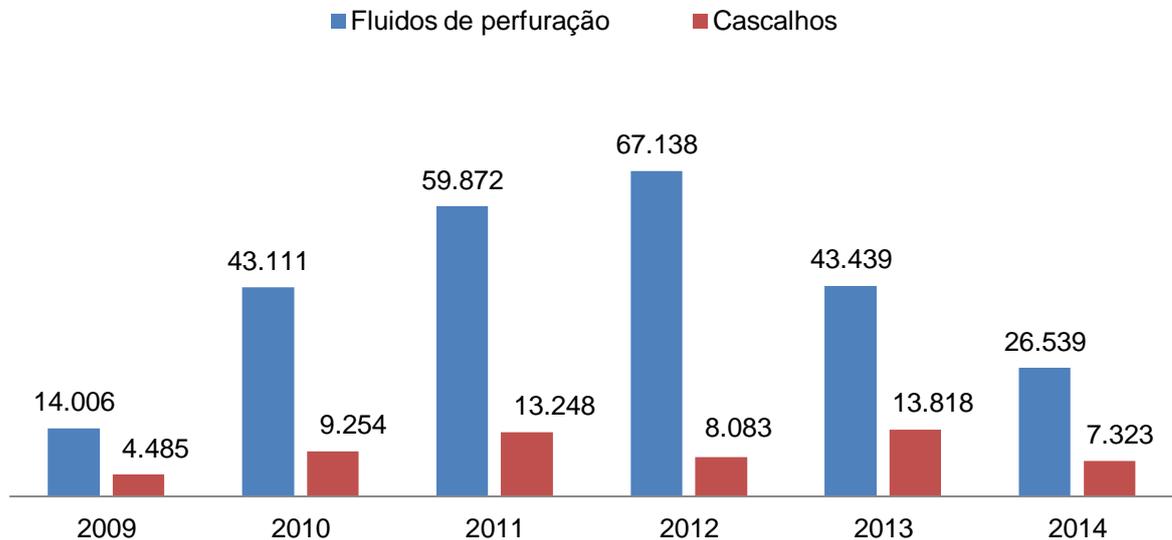
Figura 6: Quantitativo gerado por tipo de resíduo



Fonte: acervo pessoal

Os volumes de cascalhos e fluidos de perfuração descartados em cada ano durante o período analisado são apresentados na figura 7:

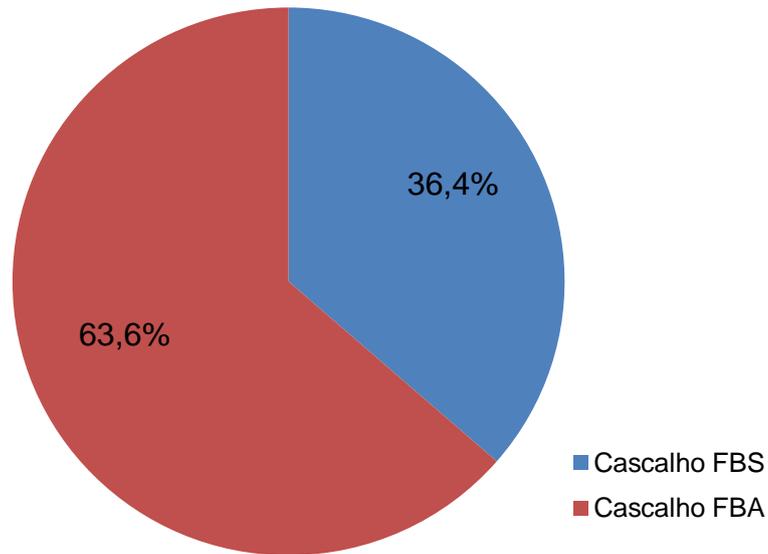
Figura 7: Quantidade de cascalhos e fluidos de perfuração descartados por ano em metros cúbicos



Fonte: acervo pessoal

Todo o volume de cascalho gerado na operação de perfuração foi descartado no mar, os cascalhos gerados com uso de fluidos de base água FBA, bem como, os cascalhos gerados com uso de fluidos de base sintética FBS. Como pode ser observado na figura 8 abaixo, 63,6% dos cascalhos foram gerados com uso de fluidos de base água enquanto que os 34,4% dos cascalhos foram gerados com uso de fluidos de base sintética. A PETROBRAS utilizou fluido sintético à base de parafina, após a passagem pelo sistema de controle de sólidos o cascalho foi descartado no mar praticamente livre de fluido de perfuração, com percentual máximo de 5% de fluido aderido. Foi utilizada uma tubulação 10 metros abaixo da lamina d'água para descarte do cascalho para minimizar a formação de pluma de sedimentos próxima à superfície.

Figura 8: Percentual de cascalho descartado de acordo com tipo fluido usado.

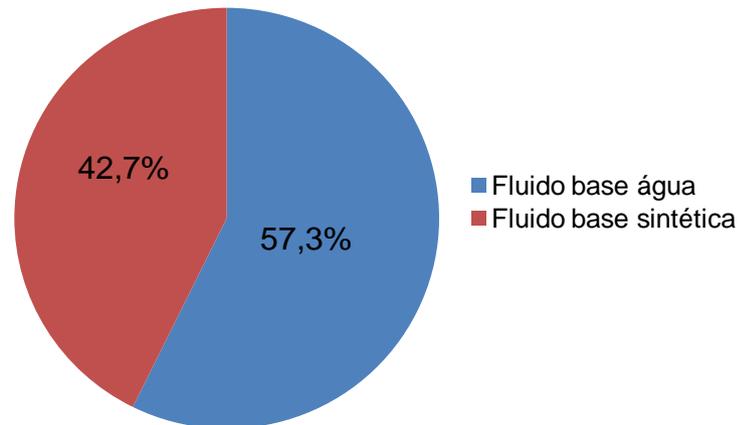


Fonte: acervo pessoal.

O tipo de fluido utilizado na perfuração marítima tem grande influência no comportamento do cascalho após seu descarte no mar. Ao ser descartado no mar o cascalho gerado com utilização de fluido de base água se dispersa pela coluna d'água formando pluma de dispersão aberta, e vai sendo lavado em seu percurso de descida até o fundo do mar. Enquanto que o cascalho gerado com utilização de fluidos de base não aquosa, ao ser descartado no mar o cascalho tende a se agregar em blocos ou placas que não se dispersam na coluna d'água e afundam rapidamente formando pluma de dispersão fechada até se depositarem no fundo do mar.

A figura 9 apresenta os percentuais de fluidos descartados em função de sua base (água ou sintética):

Figura 9: Percentuais de fluidos descartados em função de sua base



Fonte: acervo pessoal

Os fluidos de perfuração de base água e todo cascalho gerado durante as atividades de perfuração foram descartados no ambiente marinho. Deve-se ressaltar que estes fluidos foram testados sob o aspecto da toxicidade antes do descarte no mar e os cascalhos também passaram pelo sistema de controle de sólidos para reduzir o percentual de óleo aderido. O IBAMA considera como boa prática em águas brasileiras o descarte de cascalho com até 10% de fluido aderido. Isto se dá por não haver no Brasil regulamentação específica para uso e descarte de fluidos e cascalhos de perfuração (SCHAFFEL, 2002). Os fluidos de base sintética foram descartados numa embarcação e transportados para o Terminal CPVV Companhia Portuária de Vila Velha por embarcações de apoio. Nesse local, o resíduo foi recolhido pela empresa Vitória Ambiental, que é responsável pelo seu gerenciamento e encaminhado para reciclagem. Os fluidos de base sintética usados são reciclados em vez de descarregados no mar devido a requisitos ambientais e regulatórios e também devido ao custo desse tipo de fluido.

A Política Nacional de Resíduos sólidos - PNRS, instituída pela Lei Federal 12.305/2010, tem como objetivo criar uma estrutura para gerenciamento e destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, incluído os perigosos, gerados no Brasil. Para tanto no caso específico do setor petrolífero, PNRS deve ser analisada com a Lei Federal 9.966/2000, que trata sobre lançamento de óleo em águas brasileiras. Na PNRS, não há previsão expressa aos resíduos produzidos no setor petrolífero. Enquanto a lei federal 9.966/00 prevê que os operadores elaborem um manual de procedimentos interno para gestão de resíduos de óleo ou

substâncias nocivas ou perigosas. Ao tratar especificamente de resíduos sólidos de perfuração de poços de petróleo, como cascalho, por exemplo, foi estabelecido na lei que se aplicaria regulamentação ambiental específica. Nesse sentido, foram elaboradas notas técnicas pelo IBAMA (Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA N° 01/11 e N°07/11 que tratam sobre resíduos sólidos das atividades de exploração e produção de petróleo. Contudo, os fluidos de perfuração e cascalho foram expressamente excluídos dessa regulamentação (FERREIRA, 2014).

Portanto, falta hoje no Brasil uma regulamentação específica para o descarte dos resíduos que caracterizam as atividades de perfuração de polos marítimos de petróleo e gás.

SCHAFFEL em sua tese sugere que uma regulamentação brasileira específica para o descarte de cascalho e fluido de perfuração deveria contemplar os pontos que serão apresentados a seguir, utilizando como parâmetros regulatórios:

- a sensibilidade ambiental da área analisada,
- a distância da costa da área analisada,
- a lâmina d'água da área analisada,
- a base do fluido de perfuração utilizado (água ou sintético),
- a eficiência do sistema de controle de sólidos da plataforma.

Com base nos parâmetros acima, a referida regulamentação deveria padronizar e controlar o descarte marítimo de cascalho e fluidos de perfuração em águas brasileiras, contemplando:

- A padronização do descarte marinho de cascalho:

Devem estar previstas em lei as condições para que ocorram:

- descarte na superfície do mar,
- descarte com utilização obrigatória de duto de descarte,
- descarte proibido.

Tais condições devem comportar para os dois primeiros casos a distância da costa e profundidade de lâmina d'água a partir das quais o descarte fica permitido, além do percentual máximo de fluido de perfuração que pode estar agregado ao cascalho. No caso da utilização de duto de descarte, deve ser estabelecida e respeitada por parte do operador, a profundidade mínima que o duto deverá penetrar dentro d'água, com base em modelagem matemática do comportamento da pluma de cascalhos. No caso da proibição do descarte, o operador deve apresentar e justificar a destinação final dos cascalhos seja a coleta para disposição em terra ou o transporte do resíduo para descarte em águas profundas.

- Controle do descarte marítimo de fluidos de perfuração:

- Padronização dos procedimentos dos testes de toxicidade quanto ao método e limites de toxicidade,

- Padronização dos procedimentos dos testes de biodegradação, para fluidos de base sintética, quanto ao método e limites de biodegradação,

- Padronização dos procedimentos dos testes de bioacumulação, para fluidos de base sintética, quanto ao método e limites de bioacumulação,

- Concentração dos fluidos de perfuração descartados.

Com base nas informações dos Relatórios de Controle Ambiental, poderia ser constituído um banco de dados para controle e catalogação dos fluidos de perfuração que são utilizados em águas brasileiras, por bacia. Com esta documentação, após meses de ocorrido certo descarte, haveria como identificar os fluidos que lá foram descartados, contribuindo para a análise dos efeitos crônicos que possam se manifestar sobre a biota.

- Controle do descarte marítimo de cascalho:

- Definição da eficiência mínima do sistema de controle de sólidos, em caso da permissão do descarte de cascalho, principalmente quando são utilizados fluidos de base sintética,

- Definição da vazão máxima de descarte, devido à dispersão da pluma de cascalhos no mar.

Sem base legal específica para regulamentar o descarte de cascalho e fluido de perfuração, o IBAMA é obrigado a proceder ao licenciamento ambiental com base nas chamadas “boas práticas” (SCHAFTEL, 2002).

Nos Estados Unidos e na Europa essa legislação já existe há alguns anos e é bastante exigente. Em fevereiro de 1999 a Agência de Proteção Ambiental Americana EPA publicou as diretrizes iniciais para o descarte de fluidos de sintéticos sobre cascalhos, nos EUA. Essas diretrizes documentaram que os fluidos de perfuração devem ser mais biodegradáveis do que uma olefina interna com uma cadeia de 16 a 18 carbonos para ser considerada para descarga. A aprovação para descarte baseia-se na conformidade com os limites de toxicidade dos efluentes no ponto de descarga. A EPA estipulou que o teor de fluido sintético aderido aos cascalhos descartados em plataformas *offshore* não pode ultrapassar 6,9% em massa e o descarte de cascalhos contaminados com fluido base óleo estão proibidos. A Comissão Oslo/Paris, na Convenção para Proteção do Meio Ambiente Marinho do Nordeste do Atlântico estabeleceu que o teor de fluido a base de óleo nos cascalhos descartados em alto mar em território Europeu deve ser inferior a 1% em massa.

Apesar da ausência de regulamentação específica, aqueles que causarem poluição poderão ser responsabilizados na esfera ambiental e até mesmo responsabilização criminal, tanto da pessoa jurídica como física. Há, portanto, um contra senso, entre a ausência de normas e a possibilidade de responsabilização, deixando clara situação de insegurança jurídica, especialmente para os empreendedores atuantes (FERREIRA, 2014).

A Norma ABNT 10.004/2004 dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos, com finalidade de fornecer subsídios para seu gerenciamento e destinação. Para os efeitos dessa norma os resíduos são classificados em:

- A) Resíduos classe I - Perigosos;
- B) Resíduos classe II - Não perigosos;
 - resíduos classe II A - Não inertes
 - resíduos classe II B - Inertes

Os resíduos classe I são aqueles cujas propriedades químicas, físicas ou infecto-contagiosas podem acarretar em riscos a saúde pública e/ou riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Para que um

resíduo seja classificado como classe I, deve estar contido nos anexos A ou B da NBR 10.004/2004 ou apresentar uma ou mais das seguintes características:

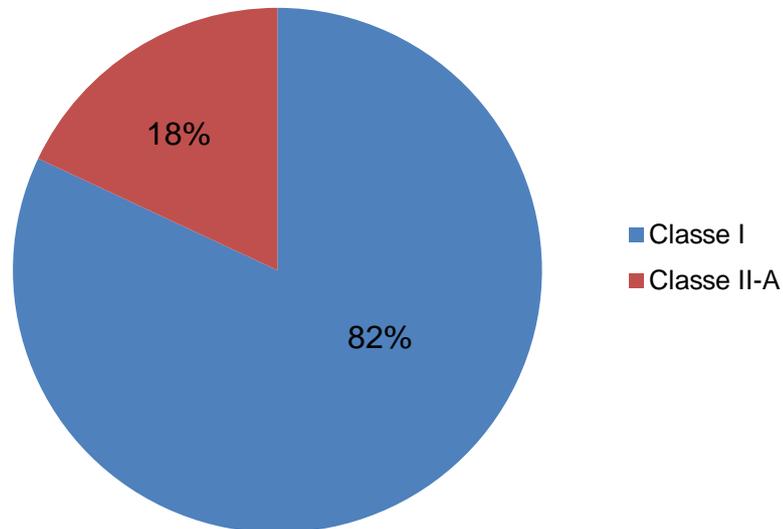
- Inflamabilidade
- Corrosividade
- Reatividade
- Toxicidade
- Patogenicidade

Os resíduos classe II dividem-se em:

- Resíduo classe II A - Não inertes: apresentam propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduo classe II B - Inertes: são quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10.006, não tiverem nenhum dos seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G, da ABNT NBR 10.004 (NBR 10.004).

Considerando o total de resíduos gerados em metros cúbicos durante o período analisado (310.816 metros cúbicos) na AGES foi observado que 82% constituem-se de resíduos classe I (resíduos perigosos) e 18% resíduos classe II A (não perigosos e não inertes) como observado na figura 10:

Figura 10: Percentual das classes de resíduos gerados em relação ao total, segundo classificação ABNT 2004.

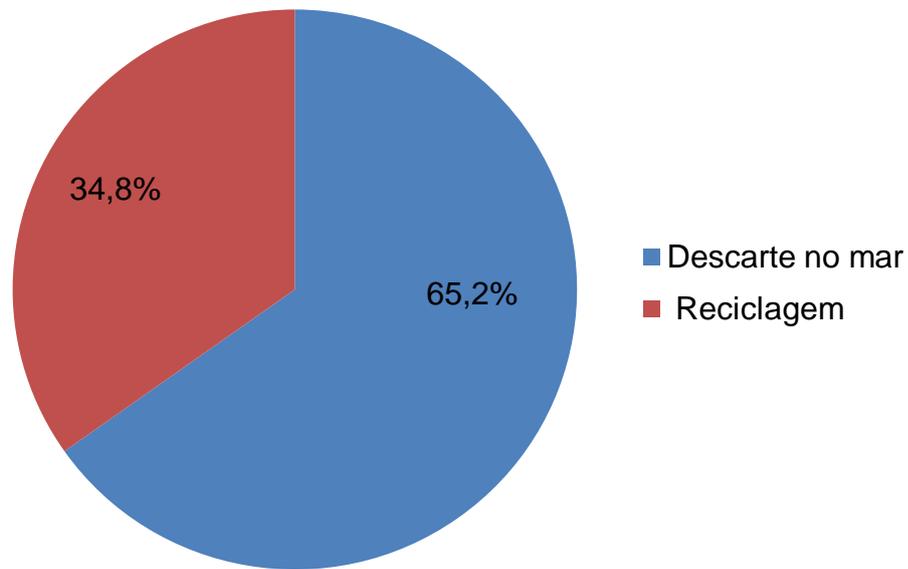


Fonte: acervo pessoal.

A composição total dos resíduos classe I é formada por fluidos de perfuração. A composição total de resíduos classe II A é formada por cascalhos. Conforme pode ser observado na figura 9 os resíduos perigosos gerados representam um quantitativo elevado, em comparação aos resíduos não perigosos.

Abaixo são apresentados resultados relativos às formas de destinação dos resíduos gerados pela atividade de perfuração de poços *offshore* de óleo e gás realizados pela PETROBRAS na AGES. Os percentuais das formas de destinação dos resíduos gerados durante o período analisado por ser observado na figura 11:

Figura 11: Percentual das formas de destinação dos resíduos.

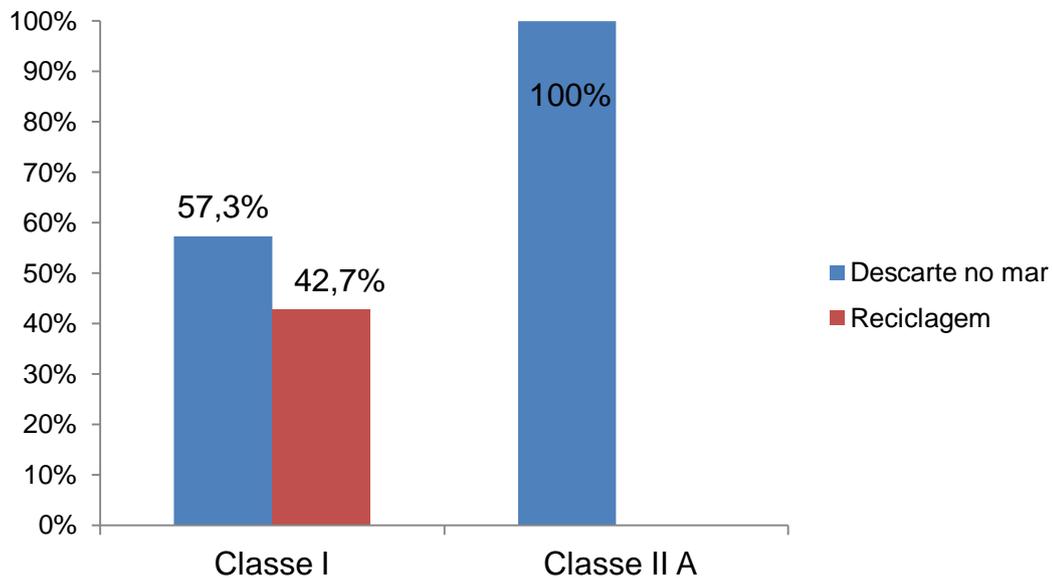


Fonte: acervo pessoal.

De acordo com a figura 11, 65,2% dos resíduos gerados foram descartados no mar, esses resíduos são constituídos de fluidos de base água e cascalhos. Enquanto que 34,8% dos resíduos (fluidos base sintética, n-parafinas) foram encaminhados para reciclagem em terra. Em perfurações de poços *offshore*, a descarga no mar, quando aplicável é a opção mais segura e econômica para o gerenciamento dos resíduos. Todas às opções de gerenciamento de resíduos têm vantagens e desvantagens em relação ao impacto ambiental (CAENN, 2014).

Também foram calculados os percentuais das formas de destinação final dos resíduos de acordo com sua classe de periculosidade. A figura 12 apresenta os resultados:

Figura 12: Percentual das formas de destinação de resíduos, segundo classificação de periculosidade da ABNT.



Fonte: acervo pessoal.

As destinações para os resíduos classe I foram descarte marítimo e encaminhamento para reciclagem. As formas de destinação são aquelas estabelecidas em função da prática verificada no licenciamento das atividades e também da experiência das próprias empresas. Os resíduos classe II A tiveram como destinação o descarte direto no mar, uma prática comum no Brasil para esse tipo de resíduo proveniente das atividades de perfuração de poços *offshore*.

De acordo com IBAMA, com relação aos cascalhos e fluidos de perfuração o órgão adota medidas mitigadoras de impactos decorrentes do descarte de tais resíduos com finalidade de controlar a poluição provocada pelos empreendimentos. Uma norma técnica específica a ser publicada pelo IBAMA deverá prever as condições para aprovação, descarte e monitoramento desses resíduos. Conforme o órgão ambiental, a partir da implementação desta regulamentação, será possível gerar dados referentes aos fluidos não aquosos, fluidos aquosos contaminados e cascalhos contaminados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme evidenciamos a indústria de petróleo e gás vem registrando crescimento contínuo e avançando cada vez mais no desenvolvimento de tecnologias que permitam a exploração e produção de petróleo em águas profundas. O Brasil e a PETROBRAS hoje são líderes mundiais na exploração e produção de petróleo e gás *offshore*. A indústria de petróleo é o setor com a principal fonte da matriz energética brasileira, com projeções de crescimento e conseqüentemente, com aumento da geração de resíduos. A perfuração de poços de petróleo e gás tem gerado anualmente milhões de toneladas de resíduos que precisam ser adequadamente gerenciados (ARARUNA, 2014).

Conforme visto nesse trabalho, não há hoje no Brasil uma regulamentação específica que estabeleça as diretrizes para descarte de fluidos e cascalhos de perfuração que são os resíduos mais importantes e que caracterizam as atividades de perfuração de poços de petróleo e gás. A lei federal Nº 9.966/2000 é hoje a única referência legal para o descarte de resíduos das atividades de perfuração de poços marítimos de óleo e gás. Ao tratar de resíduos da perfuração de poços de petróleo, a lei estabeleceu que seria aplicado regulamentação ambiental específica, transferindo toda a responsabilidade para o IBAMA. O IBAMA por sua vez elaborou Notas Técnicas (Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA Nº 01/11 e nº 07/11) que tratam sobre os resíduos sólidos das atividades de exploração e produção de petróleo. Entretanto, os fluidos de perfuração e cascalhos foram expressamente excluídos dessa regulamentação. Sem base legal específica para regulamentar o descarte de cascalhos e fluidos de perfuração, o IBAMA realiza o licenciamento ambiental e o controle desses resíduos com base em medidas e procedimentos previstos nos termos de referência expedidos pelo órgão ambiental para servirem de base aos empreendedores para elaboração de seus relatórios de controle ambiental. Apenas em 2014 o IBAMA disponibilizou para consulta pública minuta de Nota Técnica sobre as novas diretrizes para uso e descarte de fluidos de perfuração e cascalhos, fluidos complementares e pastas de cimento nos processos de licenciamento ambiental. Somente em 2014, após 4 anos da publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos foi colocada em discussão uma norma específica para tratar sobre o uso e descarte de fluidos de perfuração e cascalhos.

Na consolidação das informações contidas nos relatórios disponibilizados pela PETROBRAS foram analisados dados sobre os tipos de fluidos de perfuração utilizados nas atividades de perfuração na Área Geográfica do Espírito Santo, os volumes de fluidos descartados no mar e reciclados, os volumes de cascalhos descartados no mar e o percentual de óleo aderido aos cascalhos. Através de informações colhidas da análise dos relatórios constatou-se que 82% dos resíduos gerados nas atividades de perfuração foram de fluidos de perfuração que são classificados como resíduos perigosos. Do total de resíduos gerados 65,2% teve como destinação o descarte no mar, mesmo os resíduos classificados como perigosos, uma prática comum na indústria de petróleo e gás, e os 34,8% restantes dos resíduos foram encaminhados para reciclagem. Além disso, todo o resíduo de cascalho de perfuração gerado nas atividades de perfuração foi descartado no mar após a redução do teor de fluido aderido.

A destinação dos resíduos de perfuração de poços de óleo e gás tem sido um desafio para o IBAMA e também para empresas petrolíferas pela falta de padronização para uso e descarte desses resíduos devido à ausência de regulamentação específica. A redução do volume de resíduos gerados é uma possibilidade distante em razão das características das atividades de perfuração, pois a geração de cascalhos é inerente a atividade de perfuração.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-ANSARY, M. S.; AL-TABBAA, A. Comparison of Stabilized/Solidified Mixed of Model Drill Cuttings Based on the North Sea and Red Sea Areas. Texas: **SPE Publication 106799**. SPE E&P Environmental and Safety Conference held in Galvesion, 5-7 March, 2007.

ARARUNA, J. T. **Gerenciamento de resíduos da indústria de petróleo e gás: Os desafios da exploração marítima no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier: PUC-Rio, 2014.

ARAUJO, G.P. **Avaliação do resíduo de cascalho de perfuração de poços de petróleo da bacia potiguar e alternativas para sua destinação e reaproveitamento**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em engenharia de petróleo e gás, Universidade Potiguar. Natal, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004 - **Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BAIN & COMPANY. Potencial de diversificação da indústria química Brasileira – Relatório N°3 - Químicos para E&P. Rio de Janeiro, 2014.

BORGES, Francisco, A.T. **Biodegradação de fluidos de base e de cascalhos oriundos da perfuração de poços de petróleo e gás**. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental). Programa de Pós-Graduação em engenharia ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo UFES. Vitória. 2006.

CAENN, RYEN. **Fluidos de Perfuração e Completação**. Tradução da 6ª edição, Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CAMPOS, Ricardo L.V. **Avaliação do potencial de contaminação de aquíferos porosos a partir da perfuração de poços de petróleo utilizando fluido n-parafina**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em recursos minerais e hidrogeologia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

CORRÊA, O.L. **Petróleo: noções sobre exploração, perfuração, produção e microbiologia.** Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

FERREIRA, Luciana Gil. **Regulamentação dos aspectos envolvendo descarte de resíduos de petróleo e água de produção.** Energia: Petróleo & Gás, São Paulo, 2014.

FIALHO, Poliane Fernandes. **Cascalho de perfuração de poços de petróleo e gás. Estudo do potencial de aplicação em concreto.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

IBAMA. **Nota Técnica IBAMA/DILIC/CGPEG nº 07/2011.** 2011. KOEHLER, P.H.W. **Diagnóstico da Situação Atual dos Resíduos Sólidos das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural nas Bacias Sedimentares Marítimas do Brasil.** Brasília: IPEA, 2012.

IBAMA. **Minuta de Nota Técnica N°xxx/2014/CGPEG/DILIC/IBAMA. Novas diretrizes para o uso e descarte de fluidos perfuração e cascalhos, fluidos complementares e pastas de cimento nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás natural.** 2014.

IOGP – **International Association of Oil and Gas Producers. Environmental aspects of the use and disposal of non-aqueous drilling fluids associated with offshore oil and gas operations.** Report 342, 2003.

Kirschner, Bruno Dantas. **Avaliação da estabilidade de fluidos de perfuração de base água.** Programa de recursos humanos da Agência Nacional de Petróleo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/instrumentos-da-politica-de-residuos/sistema-nacional-de-informacoes-sobre-a-gestao-dos-residuos>> Acesso em: 10 jun. 2015.

THOMAS, J.E., organizador. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência / PETROBRÁS, 2001.

PEREIRA, Marina Seixas. **Caracterização de cascalho e lama de perfuração ao longo do processo de controle de sólidos em sondas de petróleo e gás**. Dissertação de Mestrado em engenharia Química. Programa de Pós graduação em engenharia química, Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, set/2009.33p. (II Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, abr/2010.25p. (III Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, set/2010.28p. (IV Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, mar/2011.19p. (V Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, set/2011.33p. (VI Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, mar/2012.38p. (VII Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, set/2012.39p. (VIII Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, mar/2013. 54p. (IX Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, set/2013. 130p. (X Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

PETROBRAS. **Atividades de Perfuração e Completação de Poços na Área Geográfica do Espírito Santo - AGES**. Vitória, mar/2014. 134p. (XI Relatório Semestral de andamento dos Projetos Ambientais).

WORLD Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Onshore Oil and Gas Development. Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development / **World Bank**. 2007.

SCHAFFEL, Silvia Blajberg. **A questão ambiental na etapa de perfuração de poços marítimos de óleo e gás no Brasil**. 2002. Dissertação (Mestrado em ciências em planejamento energético). Programas de Pós-Graduação de engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

SOUZA, Cristiano Oliveira. **Logística verde aplicada ao gerenciamento de resíduos de sondas de exploração offshore**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em engenharia de produção. UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, 2010.

VEIGA, L. F. **Estudo da Toxicidade Marinha de Fluidos de Perfuração de Poços de Óleo e Gás**. 1998. Dissertação (Mestrado em Biologia Marinha). Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1998.