

G. Caracterização das Substâncias Passíveis de Descarga

Neste item, será apresentada a caracterização física, química e toxicológica das substâncias passíveis de descarga durante a instalação e operação do FPSO P-54, Módulo 2 do campo de Roncador.

G.1. Água Produzida

Considerações Gerais sobre Água Produzida

Durante a produção de hidrocarbonetos é comum a produção conjunta de água. Esta pode ser proveniente do aquífero localizado numa zona inferior da formação produtora (reservatório) ou, então, do mecanismo de recuperação secundária por injeção de água, necessário, muitas vezes, para manter as condições de pressão na rocha do reservatório (Ramalho, 2002), conforme previsto para a recuperação do campo de Roncador. A água produzida é o principal resíduo gerado nas atividades de produção de petróleo e gás *offshore*, sendo oriunda do composto trifásico (gás, óleo e água), obtido durante o processo de recuperação do reservatório. Em águas profundas, este resíduo é quase sempre descartado ao mar pelas operadoras, após tratamento adequado, de acordo com a legislação brasileira pertinente.

Os reservatórios de óleo e gás contêm uma mistura de óleo, gás e água em equilíbrio, sendo que apenas uma pequena fração dos hidrocarbonetos estará dissolvida na água, como resultado de sua solubilidade natural (OGP¹, 2002)

A água produzida inclui a água de injeção empregada na recuperação secundária e manutenção da pressão do reservatório, a água de formação (ou aquífero, gerada no reservatório junto com o óleo em condições de alta pressão e temperatura), além dos químicos utilizados tanto no poço (principalmente anti-corrosivos e biocidas), quanto na água de injeção e no processo de separação água/óleo (desemulsificantes).

A água de formação, proveniente do reservatório, é caracterizada pela sua alta salinidade, comumente com altos teores de cloreto.

No campo de Roncador, os três fluidos oriundos do reservatório serão separados e destinados a plantas de tratamento específicas a bordo da P-54, sendo a água produzida tratada, a fim de reduzir o teor de óleo e garantir o descarte sem gerar interferências no ambiente, de acordo com o previsto na legislação pertinente.

De acordo com Thomas *et al.* (2001), a quantidade de água produzida gerada varia em função de uma série de fatores, destacando-se as características do reservatório, a idade dos poços produtores e os métodos de recuperação utilizados (volume de água injetada na recuperação secundária). Nas atividades de produção, a água produzida geralmente

¹ OGP: International Association of Oil and Gas Producers. Aromatics in produced water: occurrence, fate & effects, and treatment. Report nº1.20/324.

corresponde a cerca de 98% de todos os resíduos gerados pela atividade, dependendo, é claro, do estágio de desenvolvimento do campo explorado. Campos recentes normalmente tendem a produzir um volume bem pequeno de água durante os primeiros anos de produção. De acordo com a OSPAR, o aumento dos volumes de água produzida descartada no mundo vem aumentando devido à maturidade dos campos petrolíferos do Mar do Norte (OSPAR², 2000)

Em termos de regulamentação, no Brasil aplica-se a Resolução CONAMA N° 357/2005, que trata do descarte de efluentes de fontes poluidoras em águas interiores e marinhas. Segundo esta resolução, para ser lançado direta ou indiretamente em um corpo d'água, todo resíduo deve apresentar concentração de óleo igual ou inferior a 20 ppm e temperatura inferior a 40°C, de forma a não gerar impacto térmico no corpo d'água receptor.

Nos Estados Unidos, a EPA (*Environmental Protection Agency* - Agência de Proteção Ambiental) promulgou o *Clean Water Act* (CWA) ou Ato da Água Limpa, tendo como objetivo restaurar e manter a integridade química, física e biológica das águas superficiais americanas, tanto interiores quanto marinhas. Este órgão elaborou o NPDES (*National Pollutant Discharge Elimination System* - Sistema Nacional de Descarte e Eliminação de Poluentes), que controla o descarte direto de resíduos em águas navegáveis, através de limites estabelecidos pela melhor tecnologia disponível (BAT – Best Available Technology) e de parâmetros da qualidade de água, requerendo o monitoramento do poluente.

Desta forma, a EPA regulamentou o descarte da água produzida na região da plataforma continental externa dos EUA (até 200 milhas náuticas) através de NPDES setoriais, destacando-se a GMG 290000 (1997), para o Golfo do México, especificamente Texas e Louisiana, e CAG 28000 (2000), aplicado ao estado da Califórnia. Os parâmetros considerados na regulamentação do descarte são: teor de óleo presente na água; concentração de químicos utilizados no processo de produção/processamento do óleo; e toxicidade aguda do efluente. A regulamentação visa excluir a possibilidade de impactos ambientais significativos decorrentes do descarte contínuo do efluente.

Nos NPDES, a EPA estabelece que a quantidade máxima de água produzida autorizada para descarte será diretamente proporcional ao grau de diluição do oceano receptor. Observa-se que os principais fatores oceanográficos que determinam o grau de diluição são a profundidade da lâmina d' água e o hidrodinamismo (regime de correntes e ventos). Desta forma, regiões de grandes profundidades e de grande dinamismo são favoráveis ao descarte da água produzida, não gerando conseqüências deletérias ao ambiente.

O principal aspecto ambiental relativo ao descarte da água produzida é a concentração de óleo, presente na água mesmo após passagem pelos sistemas de separação óleo/água, devido à coesão entre as moléculas de óleo e água. A EPA estabelece que a concentração média mensal de óleo na água descartada em operações *offshore* deve ser inferior a 29 ppm de óleo na água, permitindo episódios diários de no máximo 42 ppm. Estes limites foram promulgados considerando a BAT (*Best Available Technology* - Melhor Tecnologia Disponível) estabelecida para as instalações de produção *offshore* americanas (EPA 40 CFR 435.13).

² Oslo Paris Convention. Quality Status Report 2000.

De uma forma geral, a tecnologia atualmente empregada no tratamento da água produzida visa remover hidrocarbonetos, substâncias hidrofóbicas, partículas em suspensão e adsorvidas ao óleo (EPCON, 2001), podendo desta forma remover poluentes orgânicos prioritários (p.ex., fenóis e ácidos orgânicos), químicos nocivos (BTEX e HPAs), elementos radioativos e metais pesados (principalmente o Zn e Hg).

A Convenção Oslo–Paris (OSPAR) definiu a concentração média mensal de 40ppm como o máximo permitido para descarte *offshore* (UKOOA, 1999), de forma a preservar o ambiente oceânico. Entretanto, a UKOOA (*United Kingdom Offshore Operators Association*) ressalta que o limite de 40 ppm foi determinado de acordo com as limitações técnicas e não apenas considerando as exigências ambientais, valor que pode ser redimensionado de acordo com as inovações tecnológicas no sistema de tratamento óleo/água.

De acordo com a OSPAR, em 1997 cerca de 90% dos operadores do Mar do Norte já haviam atingido a marca de 40ppm (OSPAR, 2000). Assim sendo, em 2001 a OSPAR recomendou a implementação do limite de 30ppm como meta a ser obtido até 2006 (EPCON, 2001). Observa-se que a eficiência do tratamento da água produzida está relacionada diretamente aos volumes envolvidos e às características químicas do óleo produzido.

Na Noruega, a OLF (*Oil Industries Association – Associação das Indústrias de Petróleo*) promulgou a política de desenvolvimento sustentável a ser executada no país. Esta política encontra-se baseada, principalmente, na política de zero de descarga, ou seja, na redução contínua de poluentes tendo como meta alcançar a inexistência de danos ambientais.

Ressalta-se que os valores adotados pela EPA e pela OSPAR para descarte da água produzida são menos conservadores do que o limite de 20 ppm estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, embora esta última não trate especificamente do descarte de água produzida *offshore*.

De acordo com a MARPOL, qualquer navio superior a 10.000 toneladas deve possuir sistema de filtração e monitoramento constante do descarte de resíduos que possam conter óleo, a fim de interromper o processo de descarte quando a concentração de óleo no efluente ultrapassar 15 ppm (IMO, 1997). Entretanto, a MARPOL não estabelece nenhum critério de tratamento e/ou monitoramento de água produzida em atividades *offshore* e nem os limites adequados para descarte.

A PETROBRAS/CENPES vem desenvolvendo estudos que visam avaliar os fatores operacionais ou de projeto que possam vir a gerar não conformidades em relação a concentração máxima de óleo na água produzida de acordo com a Resolução CONAMA Nº 357/2005. No trabalho de Júnior *et al.* (2001), foram identificados e avaliados os parâmetros de qualidade do efluente, bem como a influência dos parâmetros de processo sobre a qualidade da água produzida. O principal objetivo deste estudo foi propor modificações a serem implementadas no processo de produção como, por exemplo, a substituição de desgaseificadores por flotores na planta de tratamento da água. Diversos estudos têm demonstrado que o descarte da água produzida em águas profundas e ultra-profundas, principalmente na área da Bacia de Campos onde há

movimentação hidrodinâmica causada por grandes correntes marinhas, não gera efeitos representativos no ambiente, devido à rápida diluição após seu lançamento (GESAMP, 1993; EPCON, 2000; EPCON, 2001).

De acordo com a Chevron (1997), o poder de diluição do oceano receptor é muito grande, sendo a descarga diluída para 1:50 a 100m do ponto de descarte. Esta mistura é função do volume, temperatura e densidade da água descartada, além da profundidade e do dinamismo das massas d' água do local.

Segundo a GESAMP (1993), a composição química e o grau de diluição da água produzida fazem com que o impacto da água descartada seja significativo apenas em áreas continentais, não sendo representativo em águas oceânicas. Esta avaliação é corroborada por Thomas *et al.* (2001), que sugere que a descarga contínua de água produzida não causa danos consideráveis ao ambiente marinho, desde que o sistema de descarte garanta uma diluição rápida e efetiva do efluente.

Apesar de bastante estudada, principalmente em regiões situadas no Mar do Norte e no Golfo do México, ainda não existe um parecer consensual sobre a questão da água produzida. Todavia, os resultados obtidos evidenciam que o descarte contínuo da água produzida não causa danos sensíveis ao meio marinho, desde que o sistema de descarte atenda às especificações de projeto necessárias para a dispersão do efluente.

Água Produzida de Roncador

O projeto de produção da P-54 em Roncador prevê a produção de água desde o início das atividades de produção, com previsão de uma vazão máxima de 23.484,9 m³/d no ano de 2027, de acordo com o apresentado no item 2.4-F. Uma análise da curva de produção da água (Figura 2.4-24) mostra que, nos primeiros anos da atividade, a produção de água é bastante reduzida, com o volume aumentando gradativamente.

A região do campo de Roncador apresenta características oceânicas tipicamente tropicais, onde a temperatura da camada superficial do oceano é em torno de 25 °C e as correntes superficiais apresentam valores entre 0,5 a 1,0 m.s⁻¹ (valor médio da Corrente do Brasil, conforme o Diagnóstico Ambiental), o que favorece a rápida dispersão e biodegradação do efluente descartado. Para avaliar a dispersão da água produzida descartada pela P-54, foi realizada uma modelagem matemática apresentada no capítulo 5 do RAA encaminhado ao IBAMA, onde foi avaliado o impacto do descarte da água no ambiente oceânico local. Outra característica importante que favorece a rápida dispersão do efluente é a grande profundidade local (cerca de 1.320 m).

Durante a produção de óleo e gás em Roncador, toda a água possivelmente contaminada com hidrocarbonetos será tratada, por separação gravimétrica e através de flotador e hidrociclone, para redução da concentração de óleo, sendo descartada ao mar com no máximo 20 ppm e 40 °C de temperatura, em atendimento à Resolução CONAMA N° 357/2005.

A caracterização preliminar e avaliação da água a ser produzida em Roncador será baseada nas características da água de formação do reservatório, tendo em vista que o Módulo 2 do campo de Roncador não tem unidade instalada e, portanto, ainda não há

produção de água. São apresentadas também as características da água do mar oceânica injetada nos poços para a recuperação secundária dos poços.

Água de Formação

A água de formação extraída de reservatórios mantém grande afinidade com as formações de onde provêm (Thomas *et al.*, 2001), apresentando elevado teor de sais dissolvidos, sódio e cálcio, assim como valores um pouco elevados de bário, magnésio e estrôncio. A quantidade de água de formação depende da porosidade do reservatório e sua mobilidade está diretamente relacionada ao grau de saturação definido pela rocha e pelos tipos de fluidos presentes no reservatório.

O Quadro 2.4-15, a seguir, apresenta as características da água de formação representativa do Módulo 2 de Roncador coletada no poço 9-RO-33-RJS.

Quadro 2.4-15. Parâmetros (mg/L) da água de formação do reservatório de Roncador.

PARÂMETRO	POÇO 9-RO-33-RJS a 3214m
Na ⁺	36800
K ⁺	5000
Ca ²⁺	2000
Mg ²⁺	450
Fe ³⁺	18
Ba ²⁺	90
Sr ²⁺	27
SO ₄ ²⁻	28
Br ⁻	174
CH ₃ COO ⁻	166
HCO ₃ ⁻	64
Cl ⁻	64700
NaCl	106760
pH (a 25°C)	7,0

Fonte: PETROBRAS/CENPES/SUSEP/STRES, 1999.

De acordo com Siqueira *et al.* (2001), os valores encontrados para a água de formação de Roncador diferem bastante das características encontradas no campo de Namorado, principalmente com relação aos baixos valores de Bário obtidos para Roncador.

Água de Injeção

A água a ser utilizada nos poços de injeção para recuperação secundária do reservatório de Roncador é a própria água oceânica da região do campo, cujas características estão sintetizadas no Quadro 2.4-16 obtidas em Siqueira *et al.* (2001). Um maior detalhamento das condições oceanográficas do campo de Roncador é apresentada no Diagnóstico Ambiental (Capítulo 5 do RAA encaminhado ao IBAMA).

Quadro 2.4-16. Características da água oceânica de Roncador utilizada nos poços de injeção.

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
Na ⁺	11500
K ⁺	226
Ca ⁺⁺	504
Mg ⁺⁺	1390
Fe ⁺⁺⁺	0,05
Ba ⁺⁺	1
Sr ⁺	9
Salinidade	35100
pH	8,0
Cl ⁻	21300
SO ₄ ⁻	2834
HCO ₃ ⁻	150
Densidade	1,0273

Fonte: Siqueira *et al.* (2001).

Dentre os parâmetros citados, destaca-se o elevado teor de cloreto e sódio da água de formação (64700 e 36800mg/L, respectivamente), quando comparada com a água do mar oceânica (21300 e 11500, respectivamente). Entretanto, devido ao poder de diluição e a imensidão do corpo d'água receptor, a água a ser descartada não deverá acarretar nenhuma alteração significativa na salinidade local.

Para o FPSO P-54, o sistema de injeção de água está dimensionado para uma vazão máxima de 39.000 m³/dia, de acordo com o apresentado no item 2.4.C. Observa-se que a injeção de água será feita no aquífero do reservatório através dos poços de injeção a partir do primeiro ano de produção. Desta forma, a quantidade de água produzida aumenta gradativamente ao longo da produção do campo, como mencionado anteriormente (item 2.4-F).

De acordo com PETROBRAS/CENPES/SUSEP/STRES (1999), a proporção de água de injeção na água produzida pode ser determinada através do controle de sua salinidade, considerando a salinidade conhecida das águas originais (água de formação do reservatório e água do mar utilizada na injeção).

Toxicidade da Água Produzida

Os testes de toxicidade efetuados com a água produzida têm como principal objetivo avaliar o teor tóxico do efluente a ser descartado de maneira a controlar o seu efeito no ambiente (EPA, 2001).

Normalmente são realizados testes de toxicidade aguda e crônica com um determinado organismo exposto à ação do poluente. Os testes de toxicidade crônica, que avaliam o efeito subletal do poluente no organismo, são mais aplicáveis, uma vez que a água produzida é descartada continuamente.

Os produtos químicos utilizados durante a produção de óleo e gás e presentes na água produzida são rapidamente diluídos quando descartados ao mar, principalmente considerando as condições oceanográficas da Bacia de Campos. No Mar do Norte, onde o dinamismo é bastante acentuado, alguns autores consideram a toxicidade um fator pouco representativo (Palm & Rostock, 1996).

Estudos realizados com água produzida de diferentes regiões demonstram uma toxicidade aguda cuja Concentração Letal (CL₅₀) varia de 5 a 50%, estando concentrada apenas na camada de mistura da região ao redor da unidade de produção (Quadro 2.4-17). Adicionalmente, este autor reforça a necessidade da realização de ensaios agudo e crônico com diferentes organismos marinhos.

Quadro 2.4-17. Toxicidade aguda da água produzida em campos do mundo.

ORGANISMO-TESTE	LOCAL	CL 50(% DE ÁGUA)
<i>Vibrio fisheri</i> (Bactéria - Microtox)	Bass Strait, Austrália	7,09 %
<i>Vibrio fisheri</i> (Bactéria - Microtox)	Gullfaks, Mar do Norte	7,18%
<i>Artemia salina</i> (microcrustáceo)	Bass Strait, Austrália	58,8%
<i>Mysidopsis bahia</i> (microcrustáceo)	Golfo do México	10,05%
<i>Mysidopsis bahia</i> (microcrustáceo)	Mar de Java Oeste, Indonesia	55%
<i>Skeletonema costatum</i> (microalga)	Gullfaks, Mar do Norte	27,6%
<i>Cyprinodon variegatus</i> (peixe)	Golfo do México	21,55%

Fonte: Holdway, 2002 (modificado).

De acordo com o sugerido pela EPA (2001), deve-se avaliar o efluente como um todo, a fim de apreciar o efeito sinérgico dos diferentes componentes presentes na água de formação, no óleo, na própria água do mar natural utilizada na injeção dos poços e dos produtos químicos utilizados no processo. Desta forma, não é possível a realização de ensaios de toxicidade durante o processo de licenciamento da P-54, considerando que não há unidade produzindo no Módulo 2 de Roncador.

Por outro lado, tais ensaios serão realizados de acordo com o descrito no Projeto de Monitoramento Ambiental (item 7.2), a ser implementado no início das atividades de produção da UEP P-54. Desta forma, a caracterização química, físico-química e

toxicológica da água produzida será realizada assim que a UEP P-54 começar a produzir água.

Considerando as características oceanográficas da região do campo (águas ultra-profundas e com regime hidrodinâmico bem definido), que garantem rápida dispersão da água produzida (conforme evidenciado na modelagem matemática da dispersão da água produzida apresentada no capítulo 5 do RAA encaminhado ao IBAMA), assim como a eficiência da planta de tratamento de água prevista para a P-54, a toxicidade do resíduo deverá ser pouco representativa.

G.2. Óleo Produzido

Para a caracterização do óleo do reservatório de Roncador, amostras de óleo coletadas foram analisadas, sendo os resultados apresentados no quadro a seguir:

Quadro 2.4-18. Características do óleo similar ao da P-54 (Poço 7-ABL-11H-RJS).

PARÂMETRO	
Ponto de Fluidez (°C)	-27
Enxofre (%m/m)	0,75
Nitrogênio (% m/m)	0,47
Densidade relativa a 20/4°C (g/cm ³)	0,9469
Viscosidade (mm ² /s) a 20°C	1414
° API	17,4
TIAC° (Temperatura Inicial de Aparecimento de Cristais)	19
Níquel (mg/Kg)	12
Vanádio (mg/Kg)	26
Bário (mg/Kg)	-
Fe (mg/Kg)	-
Ca (mg/Kg)	-
Cu (mg/Kg)	-
Pb (mg/Kg)	-
Zn (mg/Kg)	-
Mn (mg/Kg)	-
Água e sedimentos (% v/v)	5,2
Água por destilação (% v/v)	5,0
Cinzas (% m/m)	0,076
Sal (mg NaCl/L)	5956,8
Cera (m/m%)	1,31

Fonte: PETROBRAS/CENPES/PDP/AP

A composição de hidrocarbonetos deste óleo similar ao da P-54 é apresentada nos Quadros 2.4-19, a seguir, e os laudos laboratoriais apresentados no Anexo 2-I deste documento:

Quadro 2.4-19. Composição do óleo similar ao que será produzido pela P-54 em Roncador.

HIDROCARBONETOS	%(m/m)
saturados	44,2
aromáticos	32,4
resinas	20,6
asfaltenos	2,8

Fonte: PETROBRAS/CENPES/PDP/AP

Com base nas informações apresentadas, e segundo a Portaria Nº 009 (21 de janeiro 2000) da ANP, o óleo a ser produzido é classificado como pesado, possuindo alto teor de hidrocarbonetos saturados, como as parafinas. Segundo Thomas *et al.*, (2001), o tipo de óleo comumente encontrado na Bacia de Campos é composto principalmente por parafinas (de 50-70% do total) e naftênicos, como os aromáticos (> 20%), sendo sua densidade e viscosidade maior do que aquela dos óleos mais leves.

Toxicidade da Fração Solúvel em Água (FSA) e da Fração Dispersa em Água (FDA) do Óleo Produzido em Roncador

O óleo produzido é uma mistura complexa de hidrocarbonetos e outros compostos de solubilidades distintas. Desta forma, um determinado componente no óleo pode afetar a solubilidade de outro, ou seja, existe influência de cada componente em relação a solubilidade final do óleo.

A solubilidade de hidrocarbonetos na água relaciona-se de forma inversa com seu tamanho molecular. Quanto menor for a molécula de um hidrocarboneto, maior sua solubilidade em água. Assim sendo, hidrocarbonetos aromáticos leves como o benzeno e o tolueno são reconhecidos como mais solúveis do que hidrocarbonetos alifáticos como as parafinas (GESAMP, 1993; OGP, 2002). O benzeno e o tolueno representam de 70 a 85% do total de aromáticos dissolvidos em um óleo cru. Quando hidrocarbonetos aromáticos são descartados no mar, a concentração elevada de sais na água do mar favorece a sua solubilidade (EPCON, 2001).

Outro aspecto que deve ser lembrado é a rápida degradação bacteriana dos componentes orgânicos solúveis do óleo. De acordo com a GESAMP (1993), existem cerca de 25 gêneros de fungos e bactérias degradadoras de óleo, cuja eficiência na degradação deste será função da composição e características físicas do óleo, que irão influenciar a “quebra” das moléculas de hidrocarbonetos, bem como será condicionada pelas características ambientais locais.

A PETROBRAS realizou testes de toxicidade aguda com o misidáceo *Mysidopsis juniae* e de toxicidade crônica com o estágio larval do ouriço *Lytechinus variegatus*, utilizando a

fração hidrossolúvel do óleo similar ao que será produzido pela P-54. Todos os ensaios foram realizados no Labtox – Laboratório de Análise Ambiental Ltda, Rio de Janeiro.

Os testes foram realizados de acordo com duas metodologias distintas. A primeira é baseada na toxicidade da Fração Solúvel em Água (FSA), de acordo com a metodologia preconizada por Anderson *et al.*³. (1974). Já a metodologia apresentada por Tarzwell⁴ (1969), propõe a realização de testes de toxicidade com a Fração Dispersa do óleo em Água (FDA). Observa-se que a realização de testes de toxicidade com a fração solúvel e com a fração dispersa possibilita uma melhor avaliação da presença de hidrocarbonetos mono e poliaromáticos no óleo analisado, uma vez que estes compostos podem se encontrar dissolvidos ou dispersos na água (OGP, 2002).

Os testes de toxicidade aguda seguiram a metodologia descrita em CETESB (1992), modificada, sendo ambos os testes realizados em sistema estático por 96 horas, quando foram avaliados os efeitos sobre a sobrevivência dos jovens de misidáceos com leituras a cada 24 horas.

A Fração Solúvel do óleo em Água (FSA – 1:9 v/v) foi preparada de acordo com o protocolo descrito em Anderson *et al.* (1974). Após agitação e decantação foram preparadas as soluções-teste, segundo um fator de diluição 2,0, sendo as mesmas: 0,78; 1,56; 3,13; 6,25; 12,5; 25; 50 e 100% da FSA. O teste é considerado válido quando o percentual de sobrevivência no controle for igual ou superior a 90%.

Para a avaliação da toxicidade da Fração Dispersa do Óleo em Água (FDA), foi preparada uma solução-estoque de 1000 ppm (v/v), colocando-se 3mL do óleo e avolumando para 3 litros de água do mar, de acordo com o descrito por Tarzwell (1969). Após agitação e decantação desta solução, a FDA foi retirada, e a partir desta foram preparadas as seguintes soluções-teste: 7,81; 15,63; 31,25; 62,5; 125; 250; 500 e 1000 ppm. O teste foi considerado válido quando o percentual de sobrevivência no controle foi igual ou superior a 90%.

O Quadro 2.4-20 apresenta um resumo dos resultados obtidos. Os laudos completos dos testes foram apresentados no Anexo 2-II.

Quadro 2.4-20. Resultados dos testes de toxicidade aguda da Fração Dispersa em Água (FDA) e da Fração Solúvel em Água (FSA) do óleo similar ao que será produzido pela P-54 com o misidáceo *Mysidopsis juniae*.

PARÂMETROS	MÉTODO DE TARZWELL (FDA)	MÉTODO DE ANDERSON (FSA)
CL50-96h	38,48 ppm da FDA	37,89% da FSA
Intervalo de Confiança	IC= 31,43-47,09ppm	IC= 32,49-44,20%
Sobrevivência no controle	90%	90%
Padrão (Zinco)	0,31 mg/L (IC= 0,28-0,35)	0,31 mg/L (IC= 0,28-0,35)

Fonte: Labtox - Laboratório de Análise Ambiental Ltda

CL50-96h– Concentração Letal a 50% dos organismos-teste em 96 horas.

³ Anderson, J.W. et al. Characteristics of dispersal and water soluble extracts of crude and refined oil and their toxicity to marine crustaceans and fish. Marine Biology 27, 75-78

⁴ Tarzwell, C.M. 1969. Standard Methods for determination of oil dispersants and mixtures of dispersants and various oil to aquatic organisms.

Desta forma, a Fração Solúvel em Água do óleo similar ao que será produzido pela P-54 apresentou efeito agudo para *Mysidopsis juniae* na concentração de 37,89 % da FSA, nas condições de teste. Já a Fração Dispersa do óleo em Água (FDA), apresentou efeito agudo para *Mysidopsis juniae* na concentração de 38,48 ppm da FDA, nas condições de teste. O percentual de sobrevivência no controle e o resultado do teste com a substância de referência (zinco) validam ambos os testes (FSA e FDA).

A toxicidade crônica do óleo similar ao que será produzido pela P-54 foi avaliada através do teste crônico de curta duração com embriões do ouriço *Lytechinus variegatus*, de acordo com a Norma CETESB (1999). Este teste baseia-se na exposição dos ovos do equinoderma a diferentes concentrações da amostra, avaliando-se a concentração que causa retardamento no desenvolvimento larval e/ou ocorrência de anomalias, nas condições de teste. A cada série de amostra testada é realizado um teste com o padrão (Dodecil Sulfato de Sódio – DSS), objetivando verificar se os organismos estão respondendo dentro da faixa de toxicidade previamente determinada.

Da mesma maneira que para o teste de toxicidade aguda, a Fração Solúvel do óleo em Água (FSA – 1:9 v/v) foi preparada de acordo com o protocolo descrito por Anderson *et al.* (1974), sendo testadas as seguintes diluições, utilizando-se um fator de diluição de 2,0: 0,78; 1,56; 3,13; 6,25; 12,5; 25; 50 e 100%. Já a FDA foi preparada de acordo com o descrito por Tarzwell (1969), sendo preparadas, também a partir de um fator de diluição 2,0, as seguintes soluções-teste: 7,81; 15; 63; 31,25; 62,5; 125; 250; 500 e 1000ppm.

Ambos os testes são considerados válidos quando o controle apresentar o mínimo de 80% de embriões no estágio *pluteus* e o resultado com a substância de referência estiver dentro do limite estabelecido para a espécie.

Os valores de CENO (maior concentração testada que não causa efeito significativamente diferente do observado no controle) e CEO (menor concentração utilizada que causa efeito significativamente diferente do controle), foram obtidos através do teste de hipóteses do programa TOXSTAT versão 3.3. O Valor Crônico (VC) foi obtido a partir da média geométrica de CENO e CEO e indica a concentração máxima aceitável da amostra.

O Quadro 2.4-21 apresenta um resumo dos resultados obtidos. Os laudos completos dos testes foram apresentados no Anexo 2-II.

Quadro 2.4-21. Resultados dos testes de toxicidade crônica da Fração Dispersa de óleo em Água (FDA) e da Fração Solúvel em Água (FSA) do óleo similar ao que será produzido pela P-54 com o ouriço *Lytechinus variegatus*.

PARÂMETROS	MÉTODO DE TARZWELL (FDA)	MÉTODO DE ANDERSON (FSA)
CENO	31,25 ppm da FDA	0,78% da FSA
CEO	62,5 ppm da FDA	1,56% da FSA
VC	44,19 ppm da FDA	1,10 % da FSA
Percentual médio de larvas saudáveis no controle	88% de pluteus	88% de pluteus
CE50 com substância de referência DSS	1,32 mg/L	1,32 mg/L

Fonte: PETROBRAS/Labtox - Laboratório de Análise Ambiental Ltda

CENO – concentração de efeito não observado

CEO – concentração de efeito observado

VC – valor crônico

A fim de subsidiar a análise dos resultados encontrados nos testes de toxicidade, a PETROBRAS realizou análises laboratoriais qualitativas do óleo similar ao que será produzido pela P-54 com a Fração Solúvel em Água (FSA – Método de Andersen) e com a Fração Dispersa em Água (FDA – método de Tarzwell), cujos resultados são sintetizados no Quadro 2.4-22, a seguir.

Quadro 2.4-22. Composição qualitativa da fração solúvel em água (FSA) do óleo similar ao que será produzido pela P-54 (poço 7-ABL-11H-RJS).

FSA	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	m+pXIL (µg/L)	o-Xileno (µg/L)	Σ BTEX (µg/L)	HPA (µg/L)	THP (µg/L)
Método Tarzwell	9,3	28,3	15,5	19,8	14,3	87,2	30,81	10725,5
Método Anderson	70,7	82	19,6	24,6	16,7	213,6	16,97	10958,6

Fonte: PETROBRAS/ Analytical Solutions

Os resultados analíticos completos foram apresentados no Anexo 2-II.

A análise do Quadro 2.4-22 acima mostra que a Fração Solúvel em Água do óleo similar ao que será produzido pela P-54 apresenta alto teor de hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX = 87,2 e 213,2 µg/L, métodos de Tarzwell e Anderson, respectivamente) e uma quantidade relativamente menor de poliaromáticos (HPAs = 30,81 e 16,97 µg/L, métodos de Tarzwell e Anderson, respectivamente). Destaca-se que os hidrocarbonetos Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno (BTEX), são compostos aromáticos de baixo peso molecular, portanto, bastante solúveis em água. Observa-se também que a metodologia de Anderson de solubilização reteve maior quantidade de hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX) na FSA, mas menor de poliaromáticos (HPAs).

Já o Total de Hidrocarbonetos de Petróleo (THP) apresentou valores relativamente similares variando entre 10725,46 µg/L (Método Tarzweil) e 10958,63 µg/L (Método Anderson).

Os hidrocarbonetos aromáticos são compostos que apresentam elevada resiliência no sedimento marinho, e em especial, os de baixo peso molecular (como o BTEX), apresentam toxicidade aguda para organismos marinhos (Woodhead *et al.*, 1999; White *et al.*, 2002). Geralmente, os aromáticos não são os principais componentes do óleo cru (White *et al.*, 2002), embora sejam bastante representativos na Fração Solúvel em Água, fração do óleo que apresenta maior potencial de toxicidade (Thomas *et al.*, 1995).

De acordo com Neff (1987), a toxicidade da fração orgânica solúvel do óleo presente na água produzida é desconhecida, embora a fração mais tóxica seja a mais provável de ocorrer no efluente, devido justamente a sua interação com a água. Entretanto, os hidrocarbonetos solúveis em água, também são reconhecidamente voláteis, evaporando rapidamente. Segundo McAuliffe (1979), diversos estudos indicam que não são encontradas concentrações detectáveis de hidrocarbonetos dissolvidos em águas oceânicas, principalmente se o aporte ocorreu pela superfície, onde os processos turbulentos do oceano (ventos, ondas e marés) favorecem a evaporação dos compostos dissolvidos.

De acordo com a OGP (2002), as concentrações de aromáticos na água produzida tratada são rapidamente atenuadas após o descarte no mar, e no caso específico do BTEX, a evaporação é responsável pela redução da concentração dos monoaromáticos no oceano.

Segundo Holdway (2002), a toxicidade aguda para organismos marinhos da fração hidrossolúvel do óleo varia entre 20 e 100%. Entretanto, de acordo com a OGP (2002), a toxicidade dos HPAs no oceano ainda é pouco conhecida. O Quadro 2.4-23 apresenta de forma sintética os resultados de testes de toxicidade aguda realizados com óleos de diferentes regiões no mundo.

Quadro 2.4-23. Toxicidade aguda da Fração Solúvel em Água (FSA) para diferentes organismos marinhos.

ORGANISMO TESTADO	LOCAL	CL 50
<i>Oncorhynchus gorbusha</i> (salmão)	Cook Inlet, Alasca	1,2 ppm do total de HPAs
<i>Oncorhynchus gorbusha</i> (salmão)	Norte do Alasca	2,8 ppm
<i>Platichthys stellatus</i> (lingado)	Cook Inlet, Alasca	1,8 ppm do total de HPAs
<i>Boeckosimus hypsinotus</i> (anfípoda)	Cook Inlet, Alasca	>1,9 ppm do total de HPAs
<i>Pandalus hypsinotus</i> (camarão)	Cook Inlet, Alasca	1,4 ppm do total de HPAs
<i>Evasterias toschelii</i> (estrela-do-mar)	Cook Inlet, Alasca	>1,3 ppm do total de HPAs
<i>Chlamys hericus</i> (molusco bivalve)	Cook Inlet, Alasca	2,0 ppm do total de HPAs
<i>Mytilus trossulus</i> (mexilhão)	Cook Inlet, Alasca	>3,0 ppm do total de HPAs

Fonte: Holdway (2002).

Os resultados apresentados no Quadro 2.4-22 corroboram a importância da fração dos poliaromáticos na avaliação da toxicidade aguda da fração hidrossolúvel. Entretanto, Holdway (2002), ressalta que o método de preparo da Fração Hidrossolúvel, bem como a composição específica dos diferentes óleos produzidos torna a comparação direta dos valores bastante problemática, principalmente considerando diferentes organismos-teste.

Em relação à toxicidade crônica, a maioria dos estudos realizados enfoca os efeitos subletais de organismos e sedimentos marinhos contaminados após um derramamento de óleo, que demonstram ainda incertezas em relação aos efeitos de longa duração do óleo derramado em ambientes marinhos (Holdway, 2002). Por isso, torna-se difícil a avaliação dos efeitos crônicos encontrados para o desenvolvimento larval do ouriço *Lytechinus variegatus*.

A toxicidade aguda da matriz água do óleo similar ao que será produzido pela P-54 encontrada para *Mysidopsis juniae* (CL50-96H =37,89% da FSA e 38,48 ppm da FDA), e crônica para as larvas de *Lytechinus variegatus* (VC=1,10% da FSA e 44,19ppm da FDA), nas condições de teste apresentadas, possivelmente está associada a grande contribuição dos hidrocarbonetos aromáticos na fração solúvel em água do óleo analisado.

Ressalta-se que a inexistência de padrões de toxicidade com os organismos endêmicos brasileiros, bem como a baixa quantidade de informações disponíveis, tornam a avaliação da toxicidade da fração hidrossolúvel do óleo ainda pouco consolidada.

G.3. Aditivos Químicos

G.3.1. Fluido de Preenchimento do Gasoduto

Conforme indicado no Quadro 2.4-10, apresentado no item E.2.2, os aditivos químicos que comporão o fluido de preenchimento do gasoduto serão o biocida NIPACIDE GT numa concentração de 416,7ppm, o seqüestrante de oxigênio SISBRAX SQO-40C a 216,2 ppm, e o corante Fluoresceína a 25 ppm (Anexo 2-III).

A fim de avaliar a toxicidade de cada aditivo químico do fluido de preenchimento dos dutos, bem como do fluido de preenchimento como um todo, foram realizados ensaios de toxicidade aguda com o misidáceo *Mysidopsis juniae* e crônica a partir do desenvolvimento embrionário do ouriço *Lytechinus variegatus*.

O teste de toxicidade aguda seguiu a metodologia descrita em CETESB (1992), modificada, sendo os testes realizados em sistema estático por 96 horas, quando foram avaliados os efeitos sobre a sobrevivência dos misidáceos com leituras a cada 24 horas do teste. O teste é considerado válido quando o percentual de sobrevivência no controle é maior ou igual a 90%, e a resposta (CL50) ao padrão de zinco estiver dentro da faixa de sensibilidade definida pelo Labtox – Laboratório de Análise Ambiental Ltda (CL50 96h 0,23 –0,38 mg Zn/L).

A toxicidade crônica foi avaliada através do teste embriológico com os embriões do ouriço *Lytechinus variegatus*, de acordo com a Norma CETESB (1999). Este tipo de teste baseia-se na exposição dos ovos do equinoderma a diferentes concentrações da amostra, avaliando-se a concentração que causa retardamento no desenvolvimento larval e/ou ocorrência de anomalias, nas condições de teste.

A cada série de amostra testada é realizado um teste com o padrão (Dodecil Sulfato de Sódio – DSS), objetivando verificar se os organismos estão respondendo dentro da faixa de toxicidade previamente determinada. O teste é considerado válido quando o número de larvas *pluteus* normais no controle é superior a 80% e a resposta (CE50) ao Dodecil Sulfato de Sódio estiver dentro da faixa estabelecida para a espécie pelo Labtox (0,83-3,20 mg.L⁻¹).

O preparo das amostras de cada aditivo químico foi feito através da diluição direta de cada produto em água do mar, obtendo-se assim uma solução-estoque, com a concentração a ser utilizada no fluido, que gerou as diferentes soluções-teste as quais foram expostos os organismos (Anexo 2-III).

O Quadro 2.4-24, a seguir, apresenta os resultados dos ensaios de toxicidade realizados com cada produto componente do fluido de preenchimento separadamente.

Quadro 2.4-24. Resultados dos testes de toxicidade de cada aditivo químico que irá compor o fluido de preenchimento do gasoduto.

PRODUTO	CENO <i>Lytechinus variegatus</i>	CEO <i>Lytechinus variegatus</i>	CL 50-96 H <i>Mysidopsis juniae</i>	Concentração a ser utilizada
NIPACIDE GT (biocida)	0,078 ppm	0,156 ppm	1,70 ppm	416,7 ppm
SISBRAX SQO-40C (seqüestrante de O ₂)	62,5 ppm	125 ppm	36,76 ppm	216,2 ppm
Fluoresceína (corante)	200 ppm	300 ppm	705,08 ppm	25 ppm

CL50-96h: Concentração letal a 50% dos organismos em 96 horas

CENO: Concentração de efeito não-observado

CEO: Concentração de efeito observado

Adicionalmente, foram realizados testes de toxicidade com a mistura de produtos a ser utilizada no alagamento do gasoduto. O preparo das amostras do teste de toxicidade do fluido como um todo baseou-se em uma solução-estoque com os produtos NIPACIDE GT, SISBRAX SQO-40C e FLUORENE R2 em concentrações na proporção a ser utilizada no fluido de preenchimento. Foi confeccionada uma solução-estoque de 0,1%, da qual foram retiradas oito alíquotas para as soluções-teste. As concentrações variaram entre 0,0007% e 0,1% para os testes de toxicidade aguda e de toxicidade crônica, conforme Anexo 2-IV deste documento. O Quadro 2.4-25, a seguir, apresenta os resultados de CENO, CEO e CL50-96h.

Quadro 2.4-25. Resultados dos testes de toxicidade do fluido de preenchimento do gasoduto.

AMOSTRA	CENO <i>Lytechinus variegatus</i>	CEO <i>Lytechinus variegatus</i>	CL 50-96h <i>Mysidopsis juniae</i>
NIPACIDE GT + SISBRAX SQO-40C + FLUORESCÉINA	0,0015 %	0,003%	0,04%

CL50-96h: Concentração letal a 50% dos organismos em 96 horas.

CENO: Concentração de efeito não-observado.

CEO: Concentração de efeito observado.

G.3.2. Demais produtos químicos

Durante as atividades de produção do FPSO P-54 serão utilizados alguns produtos químicos, em diferentes etapas, que podem estar associados à água a ser descartada. Destacam-se: etanol, anti-corrosivos, anti-incrustantes, anti-espumantes, seqüestrante de oxigênio, trietilenoglicol e desemulsificantes.

Estes produtos estão, em sua maioria, associados à fase líquida da produção, sendo descartados com a água produzida. Entretanto, os desemulsificantes e os anticorrosivos estarão muitas vezes associados ao óleo, não sendo, portanto, descartados ao mar. Existem ainda alguns produtos como o Trietilenoglicol (TEG) utilizado especificamente no tratamento do gás, os quais também não são descartados ao mar sendo regenerados num sistema fechado.

A água de injeção (água do mar ambiente) geralmente apresenta diversos microorganismos marinhos (bactérias, fungos, etc.) que são capazes de sintetizar substâncias corrosivas, prejudiciais aos equipamentos de produção (Thomas *et al.*, 2001). Desta forma, prevê-se a adição de biocidas para a eliminação destes organismos e compostos seqüestrante de oxigênio para a desoxigenação da água, garantindo a eficiência da produção.

Já a água oriunda do reservatório (água de formação) apresenta alguns compostos (óxidos, sulfetos, etc.) capazes de formar incrustações provenientes de processos corrosivos (Thomas *et al.*, 2001).

É esperado uma deposição maior de asfaltenos do que de parafinas nas linhas. Não há previsão de injeção de inibidor de parafina. No caso de formação de depósitos orgânicos nas linhas de produção estão previstas facilidades de limpeza (*pig*).

Os desemulsificantes são empregados no sistema de separação trifásico para auxiliar na “quebra” da emulsão água/óleo gerada durante o percurso do reservatório até a superfície. As emulsões são geradas pelo próprio dinamismo do processo e pela presença de agentes emulsificantes na mistura extraída (Thomas *et al.*, 2001). Entretanto, este produto também poderá ser injetado no próprio poço de produção, minimizando a emulsão a ser tratada na separação trifásica da planta de processo da UEP P-54.

De acordo com a EPA (2000), os produtos químicos utilizados durante as atividades de produção (desemulsificantes, anticorrosivos, etc.) não acarretam degradação significativa do ambiente marinho.

Os químicos a serem utilizados serão gerenciados pelo Sistema de Injeção de Químicos, que controlará sua injeção em cada ponto. Os procedimentos de injeção de químicos foram dimensionados a fim de minimizar a quantidade de químicos utilizados, o que traz benefícios ambientais e econômicos, contribuindo também para as condições operacionais do processo.

Neste contexto, o Projeto de Monitoramento Ambiental é uma ferramenta importante na avaliação de possíveis impactos ambientais associados aos produtos químicos utilizados, possibilitando, juntamente com o Projeto de Controle da Poluição, a identificação de não conformidades no sistema de químicos. A identificação da fonte do impacto subsidiará a adoção de medidas necessárias de controle ambiental, a fim de evitar a degradação do meio ambiente.

O Quadro 2.4-26 a seguir apresenta os produtos químicos a serem utilizados nas atividades de produção da UEP P-54. As fichas de segurança destes produtos químicos são apresentadas no Anexo 2-V.

Quadro 2.4-26. Produtos Químicos a serem utilizados durante as atividades de produção da P-54.
(continua...)

PRODUTO QUÍMICO	NOME COMERCIAL	APLICAÇÃO
Na Corrente de Óleo		
Desemulsificante água em óleo	DEMTROL BR	Injetado nas árvores de natal, coletores de teste e produção e na saída de óleo dos separadores de teste e produção, dosagem variando de 30 a 80 ppm.
Anti-espumante	Dow Corning 2914-5	Injetado nos coletores de teste e produção e a montante dos separadores atmosféricos, com dosagem de até 10 ppm de silicone puro.
Inibidor de incrustação	Nalco EC 6356 A	Injetado nos coletores de produção e teste e árvores de natal, dosagem de 20 a 50 ppm.
Inibidor de corrosão no óleo	NALCO EC 1353 A	Injetado nos coletores de produção e teste, a montante dos recebedores de pig e coletor de exportação de óleo, dosagem de 10 a 100 ppm.
Na Corrente de Água Descartada		
Polieletrólito	DISMULGAN V 33 77	Injetado nas saídas de água dos separadores de teste e produção e tratadores eletrostáticos e a montante dos flotores, dosagem de 20 a 60 ppm.
Nas Correntes de Gás e Condensado		
Inibidor de hidrato no gás	Etanol	Injetado nas linhas de gás lift, coletor de exportação de gás, gás combustível e nas árvores dos poços. Essa injeção não é contínua, devendo ocorrer apenas quando a unidade de TEG não estiver especificando corretamente o gás quanto ao teor de umidade e em alguns procedimentos específicos de prevenção e quebra de hidratos, com vazões de pelo menos 1 l/h.

Quadro 2.4-26. Produtos Químicos a serem utilizados durante as atividades de produção da P-54.
(continuação)

PRODUTO QUÍMICO	NOME COMERCIAL	APLICAÇÃO
Nas Correntes de Gás e Condensado		
Inibidor de corrosão no gás	NALCO EC 1353 A	Injetado no coletor de exportação, gás combustível, dosagem 1.0 l/MMSCFH para linhas de gás e 15 ppm para linhas de condensado.
Desidratação do gás	Trietilenoglicol (TEG)	Utilizado nas torres desidratadoras de gás, em circuito fechado.
Na Corrente de Água de Injeção		
Seqüestrante de oxigênio	Bissulfito de Sódio	Injetado na bacia da desaeradora e na saída da desaeradora a vácuo, dosagem de 5 a 140 ppm, conforme situação operacional da desaeradora.
	Anti-Clor	Injetado na entrada da Unidade de Remoção de Sulfatos, dosagem de 6 ppm (máxima).
Bicida	FONGRABAC THQ 4	Injetado na entrada e saída da desaeradora a vácuo, dosagem de 1000 ppm, durante uma hora, uma vez por semana.
	Rocide DB 20	Injetado na entrada da Unidade de Remoção de Sulfatos, dosagem de 50 ppm por 1 ou 2 horas por semana.
Biodispersante	Preventol R 50-SE	Injetado na desaeradora a vácuo, dosagem de 15 ppm.
Inibidor de Incrustação	Vitec 3000	Injetado na entrada da Unidade de Remoção de Sulfatos, dosagem de 3,0 ppm (máxima).

H. Caracterização Quali-Quantitativa da Água Produzida de Roncador

Conforme apresentado anteriormente, não há UEP desenvolvendo o Módulo 2 do campo de Roncador. Desta forma, conforme previsto no Projeto de Monitoramento Ambiental, a caracterização qualitativa e quantitativa da água produzida no Módulo 2 será realizada assim que a UEP P-54 começar a produzir água.

I. Laudos Técnicos Laboratoriais

Os laudos técnicos completos de todas as análises foram apresentados no Anexo 2-II.