



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

MONITORAMENTO AMBIENTAL EM ATIVIDADES DE PERFURAÇÃO EXPLORATÓRIA MARÍTIMA – MAPEM *

Elírio E. Toldo Jr, Ricardo N. Ayup-Zouain, Carla Dal Sasso Freitas, Dirce Pozzebon, Eduardo Soriano-Sierra, Felipe A. Toledo, Fernando H. Pulgati, Iran C. S. Corrêa, Jandyra M. G. Fachel, Maria A. G. Pivel, Maria do Carmo Peralba, Maria Fernanda L. Santos, Sérgio Netto.

Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, CECO-IG-UFRGS. Av. Bento Gonçalves 9500. CP. 15001, 91509-900. Porto Alegre, RS, Brasil. toldo@ufrgs.br, ricardo.ayup@ufrgs.br, carla@inf.ufrgs.br, dircepoz@iq.ufrgs.br, nemar@ccb.ufsc.br, felipe.toledo@io.usp.br, fernando.pulgati@lab2m.coppe.ufrj.br, iran.correa@ufrgs.br, 00002159@ufrgs.br, mariale33@lycos.com, mcarmo@iq.ufrgs.br, mflsantos@yahoo.com.br, netto@unisul.br.

Resumo – O programa exploratório para a área marítima no país, nos próximos anos, prevê a perfuração de um número expressivo de poços exploratórios. Para muitos destes poços poderá surgir a necessidade de se utilizar fluidos de perfuração não-aquosos (NAFs), para realizar com sucesso e eficiência os programas de perfuração. Os modelos e estudos de monitoramento anteriores mostraram que as exposições da biota na coluna de água são muito baixas, e que os efeitos mais prováveis do descarte de cascalhos de perfuração cobertos com NAF ocorrerão no fundo. O desenvolvimento do projeto MAPEM tem por objetivo fornecer dados essenciais para validar os modelos de descarga, particularmente a distribuição dos cascalhos no fundo do mar em águas profundas. Também, é objetivo determinar o grau de impacto ambiental e da recuperação na área do poço até um ano após o descarte através da avaliação das mudanças físicas, químicas e biológicas, em águas rasas e profundas, imediatamente após o descarte e comparando-as ao estado do ambiente um ano após a perfuração. Tais dados são muito úteis para as agências reguladoras à medida que forem desenvolvidos os regulamentos que governam o descarte de resíduos de perfuração.

Palavras-Chave: Bacia de Campos, perfuração exploratória, fluido de perfuração não-aquoso.

Abstract – The exploratory program for the country's marine area includes the drilling of an expressive number of exploratory wells. In many of these, there might surface the need to use non-aqueous fluids in order to achieve successful and efficient drilling programs. Previous monitoring studies and models have shown that the biota exposition in the water column is very low, and that the most likely effects of NAF-covered cuttings discharge will take place near the bottom. The development of MAPEM Project aims at supplying key data to validate discharge models, particularly cuttings distribution on the seabed in deep waters. Another objective is to determine the degree of environmental impact and recovery at the well location one year after discharge by assessing the physical, chemical and biological changes that have occurred in shallow and deep waters immediately after the drilling discharges and comparing to the status of the environments one year after the start of drilling. Such data are highly useful for regulating agencies, as regulations are developed to govern the discharge of drilling residues.

Keywords: Campos basin, non-aqueous drilling fluids, offshore drilling.

* MAPEM Project, FAURGS / FINEP-CTPETRO / IBP

1. Introdução

Nos primórdios da Indústria do petróleo utilizavam-se fluidos de base aquosa na perfuração de poços. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, poços mais profundos e, ou com geometrias mais complexas foram perfurados. Para perfurar poços com estas complexidades foi necessário utilizar fluidos de perfuração que apresentassem características de alta inibição química frente a argilo-minerais reativos e excelente lubrificidade para superar o elevado atrito entre a coluna de perfuração e as paredes do poço. Surgiram, então, os fluidos de base não aquosa, tais como os de base petróleo, base óleo diesel e base óleo mineral. Mais recentemente, movida por demandas ambientais, a indústria desenvolveu alternativas tecnológicas a estes fluidos, aplicando nas operações de perfuração de poços fluidos com baixíssimos teores (menor que 0,001%), ou até mesmo isentos de poliaromáticos e biodegradáveis. As bases mais comuns são as parafinas, olefinas e ésteres derivados de óleos vegetais.

Os efeitos ambientais da utilização de fluidos não-aquosos (*non-aqueous fluids* – NAFs) e do descarte de cascalhos associados a este têm sido estudados a pelo menos uma década, sendo que foram focados basicamente em locações de águas rasas.

O Projeto MAPEM foi iniciado para fornecer um estudo dos efeitos ambientais decorrentes de descargas de cascalhos (*cuttings*), impregnados com um destes fluidos não-aquosos de nova geração, utilizado em perfurações marítimas tanto para ambiente de água rasa, como de água profunda. Na Bacia de Campos foram selecionados dois locais para o monitoramento ambiental: um a 200 e outro a 900 m de profundidade. Neste documento são apresentados os estudos do monitoramento ambiental realizado em águas profundas, junto ao Poço Eagle, localizado no Bloco BC-9 desta bacia sedimentar. O fluido não-aquoso utilizado na perfuração da maior parte do poço foi uma parafina linear composta principalmente por alcanos C14 a C19.

O ambiente sedimentar associado ao talude continental, na área do Poço Eagle é dominado por baixas taxas de deposição e pelo retrabalhamento dos sedimentos por correntes de fundo e fluxos gravitacionais de sedimentos. Os sedimentos de fundo são dominados por argilo-minerais, relictos do último período glacial.

Este projeto foi realizado com suporte financeiro da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás (IBP) e administração da Fundação de Apoio à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS). Para execução do projeto foi montada uma equipe multidisciplinar constituída por grupos de pesquisas de Biologia, Estatística, Geologia, Informática e Química, das Universidades Federais do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Protocolos detalhados e um Manual de Campo foram elaborados e revistos para assegurar credibilidade científica e comunicação eficiente entre a equipe, tanto para as atividades de bordo, como para as atividades de laboratório. A participação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) e da Agência Nacional do Petróleo (ANP), desde as fases iniciais de planejamento, foi de grande valor, e espera-se que estas ações participativas tenham continuidades durante e após o desenvolvimento do projeto.

Sedimentos de fundo na área em torno do Poço Eagle, foram coletados com emprego de box-corer, fotografias e vídeo com câmara digital, imagens de fundo com sonar de varredura lateral, coleta de água e perfilagem da coluna de água com CTD e correntometria com ADCP. O estudo conta com uma grande densidade de amostras para ter robustez estatística adequada. A malha de amostragem utilizada para o Poço Eagle foi estruturada em 54 estações. Destas 54 estações, 48 se localizaram ao longo de oito radiais saindo do poço até uma distância de 500m. As outras 6 estações foram de referência e se localizaram a 2500m do poço (Toldo e Ayup, 2004). As coletas foram realizadas a bordo do Navio Satro 25, serviço contratado da empresa Petroleum and Environmental Geo-Services (PEG). Junto ao Poço Eagle foram realizados três cruzeiros oceanográficos:

- 1º Cruzeiro (MD1), de 19 a 24 de abril de 2001 – pré-perfuração do Poço Eagle;
- 2º Cruzeiro (MD2), de 23 a 27 de julho de 2001 – 30 dias pós-perfuração;
- 3º Cruzeiro (MD3), de 22 a 26 de junho de 2002 – 12 meses pós-perfuração.

Posteriormente à atividade de coleta das amostras e dos dados oceanográficos, estes foram enviados aos laboratórios de Biologia, Geologia e Química para análise e arquivamento.

2. Resultados

Este documento apresenta dados e interpretações dos levantamentos ambientais conduzidos através da realização de três cruzeiros oceanográficos de águas profundas MD1, MD2 e MD3, realizados em abril e julho de 2001 e junho de 2002, respectivamente, na parte norte da Bacia de Campos. A atividade de perfuração foi desenvolvida em junho de 2001, portanto, entre os cruzeiros MD1 e MD2. Uma área circular com raio de 2.500 m do fundo oceânico foi estudada em detalhe, primeiro com emprego do equipamento box-corer para amostragens de sedimentos para análises biológicas, geológicas e químicas, seguidos por imageamentos do fundo com sonar de varredura lateral, perfilagem da coluna d'água com CTD, fotografias e vídeos.

O Poço Exploratório Eagle, ao redor do qual foi realizado o estudo de monitoramento do impacto ambiental teve a UNOCAL como empresa operadora. O poço encontra-se a uma profundidade média de 902 m, na parte Norte da Bacia de Campos, próximo à Bacia do Espírito Santo. Neste estudo foi investigado o impacto ambiental produzido pelo descarte de cascalhos aderidos com fluido base não aquosa do tipo III.

O plano de amostragem foi desenvolvido com base em 54 estações, distribuídas na forma de uma malha concêntrica radial, sendo 06 amostras de sedimentos coletadas em círculos a 50 e 100 m a partir do poço de perfuração, e outras 12 amostras coletadas em círculos a distâncias de 150, 300 e 500 m. Adicionalmente, 06 amostras foram coletadas a uma distância de 2.500 m da área de perfuração.

Com os objetivos propostos e métodos de trabalhos empregados, o Projeto MAPEM constituiu-se em um dos mais intensivos levantamentos de estudos ambientais do fundo do mar já empreendidos na margem continental brasileira.

O atual ambiente sedimentar da plataforma e talude continental nesta bacia sedimentar é dominado por baixas taxas de sedimentação, pelo retrabalhamento dos sedimentos de fundo por ação das correntes e de fluxos gravitacionais. Os sedimentos são de composição terrígena, com ampla distribuição de grãos finos tamanhos silte e argila, seguida por frações arenosas de composição carbonática, depositados sob condições de nível de mar alto associadas ao ambiente da última grande transgressão marinha ocorrida durante o Holoceno. A morfologia de fundo é recortada por vales orientados numa direção preferencial Leste/Oeste.

Os dados de corrente de fundo medidos com o emprego de ADCP durante a atividade de perfuração exploratória do Poço Eagle em junho de 2001, indicaram a presença de correntes próximas ao fundo com velocidades inferiores a 20 cm.s⁻¹, e direcionadas para Norte. Na profundidade do poço a circulação é dominada por massas da Água Antártica Intermediária – AAI. Na profundidade de 760 m a temperatura média é de 5°C e a salinidade 34,4‰.

A modelagem da descarga foi feita utilizando o Modelo de Descarga de Lama – Modelo OOC. A descarga foi modelada em diversas simulações cada uma delas representando um intervalo de tempo onde o descarte tem características próprias. As estimativas da espessura máxima de acumulação no fundo do mar de cascalhos perfurados com água do mar – Fase Sem Retorno, são de aproximadamente 66,5 cm. A área com espessura acumulada de 0,1 cm abrange aproximadamente 8.300 m², o que equivale a um círculo com 50 m de raio. A acumulação no fundo de sólidos do fluido de base aquosa prevista pelo modelo afeta totalmente o círculo amostral de 50 m, parcialmente o de 100 m e apenas atinge algumas amostras localizadas na direção N. Segundo os resultados da modelagem, as partículas mais finas, que levam maior tempo para se depositar tendem a espalhar-se na direção N-NW. A espessura máxima prevista foi de ordem de 1,11 cm. Os resultados da modelagem do descarte de cascalhos perfurados com fluido sintético – Fase Com Retorno mostram que o material foi transportado principalmente na direção N-NE pelas fortes correntes de meia água. As correntes intensas de superfície para SW não foram suficientes para determinar uma deposição nessa direção.

A espessura máxima prevista associada a esta descarga foi de 0,76 cm. A área com espessura maior que 0,1 cm ocupa aproximadamente 82.000 m² o que equivale à área de um círculo com aproximadamente 160 m de raio. Nas amostras de sedimento de fundo coletadas com box-corer foram analisados os elementos Al, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn e V, os hidrocarbonetos alifáticos (lineares e mistura complexa não resolvida), os hidrocarbonetos aromáticos e determinação do potencial redox. Nas amostras de água foram analisados os elementos e compostos de hidrocarbonetos citados para as amostras de sedimento, bem como a determinação dos nutrientes NH₄⁺, PO₄³⁻, NO₃⁻ e NO₂⁻, oxigênio dissolvido, sólidos suspensos e sólidos dissolvidos. Os resultados da análise química dos sedimentos para os metais e metalóides não indicaram um aumento das concentrações da maioria dos elementos estudados. Verifica-se que, após um ano de perfuração, as concentrações destes elementos encontram-se nos níveis iniciais, antes das atividades de perfuração. A exceção é o elemento Ba, cujas concentrações elevaram-se em diversas estações, em relação às concentrações iniciais, mesmo após um ano da atividade. As baixas concentrações dos elementos pesquisados na água do mar indicam que a mesma não é significativamente contaminada, devido às atividades de perfuração. Para os hidrocarbonetos alifáticos em sedimentos, pode-se concluir que ocorreu um incremento destes compostos em algumas estações no segundo Cruzeiro, permanecendo no terceiro Cruzeiro. Para os hidrocarbonetos aromáticos em sedimentos, pode-se concluir que as atividades de perfuração não resultaram em aumento dos mesmos.

Também, foram analisadas um total de 159 amostras, tomadas por um box-corer, coletadas durante a realização dos três cruzeiros oceanográficos - MD1, MD2 e MD3. Os componentes do bentos mostraram um significativo decréscimo da riqueza específica (famílias e gêneros) e da densidade, imediatamente após a perfuração. Tanto a meiofauna quanto a macrofauna mostraram ainda um aumento de formas detritívoras após a perfuração. Ambos os componentes da fauna bêntica mostraram uma fraca relação com os parâmetros químicos analisados, como a concentração de hidrocarbonetos e de metais. Esses resultados sugerem que os efeitos da atividade de perfuração sobre a fauna bêntica estão relacionados primariamente às alterações físicas no oceano profundo causadas pelo lançamento de cascalhos associados ao NAF. Os efeitos químicos parecem refletir apenas de forma secundária sobre a fauna, possivelmente durante a biodegradação dos hidrocarbonetos. As alterações na estrutura da meiofauna ocorreram predominantemente na porção norte da área de estudo, limitando-se aos 500 m de distância do ponto de perfuração, coincidindo com a região estimada como área de maior impacto, definida estatisticamente. Já as mudanças na estrutura da macrofauna foram particularmente evidentes na estação de amostragem 02, também localizada no interior da área de maior impacto (máscara). Doze meses após a perfuração (MD3), a densidade e a riqueza da meiofauna já exibiam valores semelhantes ao período pré-impacto (MD1). No entanto, a persistência dos cascalhos junto ao fundo possivelmente foi responsável pela alteração observada na estrutura da meiofauna. Foi detectado um aumento significativo nas densidades de copépodos e de nemátodos que se alimentam no epistrato do sedimento, típicos de sedimentos mais grosseiros. Provavelmente, o aumento de formas superficiais da meiofauna persistirá até a desagregação dos cascalhos na área de impacto. Para a macrofauna bêntica, tanto o número de famílias quanto a densidade mostram um aumento em seus valores quando comparados ao período pré-impacto (MD1). Doze meses após

a perfuração (MD3), as estações 5, 24 e 36 apresentavam-se ainda em processo de recuperação, indicando que as respostas da fauna às mudanças ambientais não foram imediatas. Nestas estações, foi observado um predomínio de organismos oportunistas, construtores de tubos e que utilizam os recursos disponíveis na interface sedimento-água, característicos dos primeiros estágios colonizadores no processo de sucessão em ambientes perturbados.

Nos resultados alcançados (Toldo e Ayup, 2004), são apresentados os resultados do modelo de integração com a descrição do método de análise dos dados a partir do delineamento BACI (Before After Control Impact). Técnicas geoestatísticas foram empregadas com o objetivo de descrever espacialmente os efeitos testados a partir do delineamento BACI, e demais técnicas exploratórias univariadas e multivariadas, como as técnicas de Análises de Discriminante, Análise de Componentes Principais e também foi utilizada a técnica de Análise de Regressão Múltipla, na análise dos dados. Após o segundo Cruzeiro (MD2), constatou-se que a deposição de elementos físicos e químicos no sedimento marinho, provenientes da atividade de perfuração, aconteceu em seções limitadas, localizadas dentro do raio de 500 m, e deste modo foi definido uma área de impacto denominada como Máscara. A estratégia consistiu em definir as regiões alteradas pela presença de material antrópico a partir de indicadores dos diferentes fluidos utilizados no processo, preservando o restante da área neste raio como uma segunda fonte de controle espaço-temporal. Posteriormente, foram avaliadas as mudanças ocorridas sobre as comunidades bênticas nestas regiões, comparando-se, simultaneamente, com as variações espaço-temporal inerentes ao ambiente estudado, descritas pelas demais regiões.

3. Conclusões

Finalmente podemos destacar que um ano após a perfuração, a densidade e a riqueza da meiofauna já exibiam valores semelhantes ao período pré-impacto. No entanto, a persistência dos cascalhos junto ao fundo possivelmente foi responsável pela alteração observada na estrutura da meiofauna em MD3. Um ano após a perfuração foi detectado um significativo aumento nas densidades de copépodos e de nemátodos que se alimentam no epistrato do sedimento, típicos de sedimentos mais grosseiros. Provavelmente, o aumento de formas superficiais da meiofauna persistirá até a desagregação dos cascalhos na área de impacto. Para a macrofauna, a recuperação da área de estudo aos níveis observados antes da perfuração esta condicionada a persistência do cascalho de perfuração no sedimento, pois enquanto houver cascalho as propriedades físicas originais do sedimento continuarão alteradas, favorecendo a persistência de organismos sedentários detritívoros construtores de tubos e que utilizam os recursos da interface sedimento-água, dificultando o restabelecimento das comunidades presentes antes da atividade de perfuração.

4. Agradecimentos

Este projeto teve como instituição concedente a FINEP – FNDCT/CTPETRO, como instituição conveniente os Institutos de Geociências, Química, Matemática e Informática da UFRGS e o Núcleo de Estudos do Mar da UFSC, e como instituição interveniente o Instituto Brasileiro do Petróleo – IBP.

5. Referências

TOLDO, E.E.JR., AYOUP-ZOUAIN, R.N. *MAPEM – Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima, Águas Profundas*, Publicação CECO-IG-UFRGS, CD-ROM, Porto Alegre, 2004.