IBP2079_08

ESTIMATIVA DO VOLUME SEDIMENTAR POTENCIALMENTE CONTAMINADO EM CASOS DE DERRAME DE ÓLEO EM CONDIÇÕES DE VERÃO PARA PRAIAS ARENOSAS DO RIO GRANDE DO SUL

Juliana Costi[1], Lauro J. Calliari[2]

Copyright 2008, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na ***Rio Oil & Gas Expo and Conference 2008***, realizada no período de 15 a 18 de setembro de 2008, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, 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, Gás e Biocombustíveis, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da ***Rio Oil & Gas Expo and Conference 2008***.

Resumo

Ensaios de campo conduzidos com a finalidade de verificar a penetração de petróleos de duas densidades diferentes em praias oceânicas com distintas características morfodinâmicas, entre Rio Grande e Chuí no litoral do Rio Grande do Sul (RS), indicam que as maiores penetrações são atingidas em praias onde a média granulométrica é maior para os dois tipos de óleo utilizados. Com base na penetração é possível calcular o volume de óleo contaminado em casos de derrames que atinjam a costa. Amostragens efetuadas com intervalo de oitenta dias em dois locais distintos caracterizados por uma praia dissipativa e outra intermediária evidenciam uma maior variação dos parâmetros sedimentológicos e do volume contaminado para a praia intermediária.

Abstract

Field experiments relating oil of two different densities with sediment penetration along ocean beaches with distinct morphodynamic behavior along the RS coastline indicates that, for both types of oil, higher penetration is associated to beaches which display higher mean grain size. Based on penetration depth it is possible to estimate the volume of contaminated sediments due to oil spills that eventually can reach the coast. Sediment cores sampled at 80 days interval at two different places characterized by a dissipative and a intermediate beaches indicate a higher variation of the sediment parameters and volume associated to the intermediate beach.

1. Introdução

A crescente demanda por derivados petroquímicos impulsiona novas descobertas de poços de exploração, especialmente marinhos no caso do Brasil. Acidentes com derramamentos de petróleo nesse meio são um risco imposto à extensa e heterogênea costa, onde concentra-se a maior parte da população e desenvolvem-se as mais variadas atividades econômicas e recreacionais. Torna-se, então, de fundamental importância o planejamento de ações de contigência baseadas no conhecimento detalhado da costa em questão, a fim de que as decisões possam ser tomadas da forma mais rápida e adequada possível.

[1] Graduanda em Oceanologia – FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE

[2] Professor – FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE

Quando uma praia é atingida, programas de limpeza podem ser apropriados. Para a boa execução de tais métodos, as características dos sedimentos costeiros, a natureza das interações entre óleo e sedimento (Hayes *et al*, 1992), e o volume de material contaminado em uma seção da praia são informações cruciais para operações *in situ* ou que envolvam a remoção e reposição de sedimentos. Uma estimativa do volume pode ser obtida combinando-se a área de cobertura de óleo com a profundidade de contaminação no sedimento (Owens,1988).

O transporte de fluidos através de um meio poroso desordenado é um tópico de grande interesse, porém seu estudo é extremamente difícil devido à estrutura randômica formada pelas partículas. De uma forma geral, o escoamento obedece, macroscopicamente, à lei de Darcy, que, através do coeficiente de permeabilidade do meio (ou condutividade hidráulica) determina uma proporcionalidade entre a força motriz (gradiente hidráulico) e o fluxo resultante (Skal & Grebnev, 2003). A condutividade hidráulica, por sua vez, é função da viscosidade e densidade do fluido, gravidade e da permeabilidade intrínseca do sedimento, determinada basicamente pela distribuição granulométrica e índice de vazios (compactação) (Fredlund & Rahardjo, 1993), segundo as equações:

$$v = -k\frac{\partial h}{\partial y} \quad ; \quad k = \frac{\rho g}{\mu}K$$

Onde

v = taxa de escoamento do fluido

k = condutividade hidráulica

$\delta h/\delta y$ = gradiente hidráulico na direção y

ρ= densidade do fluido

g= aceleração da gravidade

μ = viscosidade dinâmica do fluido

K = permeabilidade intrínseca do solo

Desta forma, variações temporais em μ e ρ induzidas pelas condições do meio e o caráter espacialmente variável do substrato fazem com que a permeabilidade não seja apropriadamente descrita como um coeficiente, mas sim como uma função não linear, influindo também na própria lei de Darcy. O óleo, então, deve escoar pelo sedimento até que ocorra o equilíbrio entre as forças viscosas, da gravidade e do gradiente de pressão. A profundidade da superfície freática é apontada também como um fator de influência na permeabilidade das praias (McLaren,1985; Hayes & Michel, l999). Halmemies et al (2003) verificaram que para diferentes tipos de solo, não ocorre penetração de óleo além do lençol freático.

Ainda, o volume e a forma de aporte da contaminação ao sistema praial constituem outras variáveis que determinam o volume de sedimento contaminado. A relação entre o volume aportado e o volume sedimentar contaminado é clara, porém a forma deste aporte pode acarretar diferentes distribuições superficiais do petróleo na praia emersa. A chegada de pulsos de óleo durante um ciclo acrescivo, por exemplo, pode determinar a existência de camadas intercaladas de sedimento limpo e contaminado. O transporte eólico também pode esconder camadas contaminadas, e, além disso, a dinâmica da água subterrânea pela superfície freática é capaz de espalhar o contaminante subsuperficialmente (Owens, 1988; McLaren,1985).

Nesse contexto de alta complexidade devido à interação de variáveis ambientais de difícil simplificação, este trabalho objetiva estimar e comparar o volume sedimentar potencialmente contaminado em praias do RS morfodinamicamente distintas através de um método de campo realizando ensaios controlados.

1.2. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no extremo sul do RS, no segmento compreendido entre a Barra do Rio Grande e o Arroio Chuí. Os locais de amostragem escolhidos encontram-se nas imediações da praia do Cassino, do Farol Sarita, dos Concheiros do Albardão e do Balneário Hermenegildo (Figura 1).

De acordo com Calliari e Klein (1993), a praia do Cassino apresenta características dissipativas a intermediárias, com baixa declividade, sedimentos bem selecionados e granulometria média em 2,5 phi. Nas imediações

do Farol Sarita e do Balneário Hermenegildo ocorre maior concentração de areia média e a declividade é mais acentuada, apresentando características intermediárias. Nos Concheiros os sedimentos bimodais constituídos por cascalho biodetrítico e uma mistura de areia quartzosa de várias granulometrias imprime a praia características intermediárias a refletivas. Essas condições são alteradas pelo regime hidrodinâmico , que apresenta padrões sazonais.

A bissazonalidade do regime energético meteorológico e, consequentemente hidrodinâmico, foi estudada por Tozzi et al (1999). Os autores verificaram que a média anual dos Sistemas Frontais que atingem a América do Sul entre 35º e 25º é de 6 a 6,5 por mês diminuindo entretanto no verão. No inverno predominam as tempestades costeiras de Sul/Sudeste e do Meio do Atlântico e no verão, as de Leste/Sudeste. Já em 1993 Calliari & Klein (1993) observaram que, nos meses de novembro a março predominam os perfis de acresção, relacionado à atuação de ondulações de maior período.

Segundo Klein & Calliari (1999), a permeabilidade nas regiões dos balneários do Hermenegildo e Chuí apresenta os menores valores dentre as praias ao sul do farol Sarita, sendo essa característica decorrente da presença de em subsuperfície de sedimentos mais finos e compactados na região do pós-praia. Tais sedimentos são originários do retrabalhamento dos depósitos da barreira III e de sedimentos lagunares de idade holocênica. Pereira (2005) encontrou valores máximos e minimos de permeabilidade respectivamente associados aos Concheiros e a praia do Cassino, salientado entretanto a necessidade de um acompanhamento sazonal dessa propriedade.

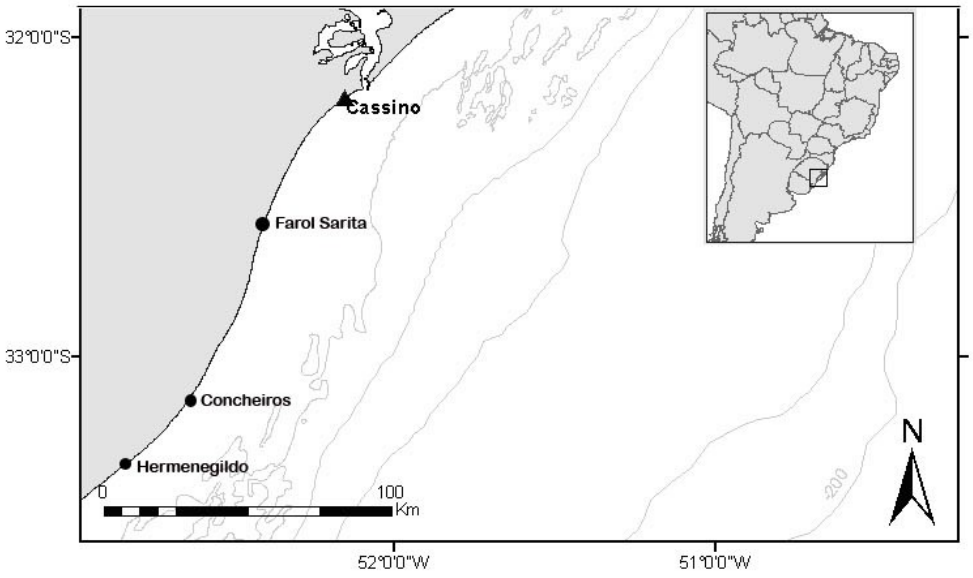

Figura 1 Área de estudo

2. Material e Métodos

2.1 Procedimentos de Campo

Inicialmente mede-se a profundidade do nível freático. Utilizando-se um equipamento manual de percussão, são colocados testemunhos com diâmetro interno de 7 cm e comprimento que atinja tal profundidade (neste caso, em torno de 45 cm). Antes de serem retirados, são contaminados com 100 ml de petróleo, registrando-se o tempo necessário para a total infiltração do líquido. Testemunhos controle, sem contaminação são retirados para posterior análise granulométrica e descrição das estruturas. Os testemunhos são então transportados ao laboratório na posição horizontal, na tentativa de minimizar a penetração de óleo durante o transporte.

As saídas de campo ocorreram nos meses de dezembro de 2007 e fevereiro de 2008. O procedimento foi executado no estirâncio e no pós-praia, uma vez que o nível do mar atinge esses ambientes respectivamente em condições normais e de marés meteorológicas sendo portanto os locais preferenciais de deposição do petróleo

provenientes de derrames no mar. Utilizou-se um óleo pesado, nacional (densidade aproximada de 0,9337 g/cm^3) e um óleo leve, importado (densidade aproximada de 0,8681 g/cm^3), sem processos de intemperização anteriores.

Uma vez que os pontos escolhidos encontram-se ao longo de 220 km de praia, sendo uma extensão considerável do trecho somente acessível a veículo tracionado e sob condições meteorológicas favoráveis, o esforço amostral não pôde ser padronizado nos diferentes locais.

2.2 Procedimentos de Laboratório

Os testemunhos são abertos em duas metades, medindo-se a profundidade de penetração do óleo a partir da superfície, preferencialmente observando-se o centro do testemunho a fim de desprezar o escoamento entre o sedimento e as paredes do *liner* de pvc. Exposto a radiação ultravioleta em câmara escura o sedimento contaminado adquire um aspecto brilhoso, possibilitando uma visualização mais efetiva da profundidade da contaminação. Assim, em uma área de dimensões controladas, obtém-se a profundidade de penetração do óleo, e calcula-se o volume contaminado.

A granulometria é feita pelo método do peneiramento a intervalos de 0,25 phi, sendo o processamento dos dados feitos através do software de análise estatística e textural Sysgran®. Para os demais dados, o software MatLab® foi utilizado na realização das análises estatísticas e representação gráfica dos resultados.

3. Resultados e Discussão

Os volumes sedimentares contaminados em cada praia, com os dois tipos de óleo, estão representados na Figura 2. São apresentados valores médios com os respectivos desvios padrão onde foram realizadas duas ou mais medidas. Para os locais com apenas uma amostra, são apresentadas medidas únicas. A partir da área da seção transversal dos testemunhos, calculou-se o volume por área unitária. É importante salientar que este volume corresponde a uma cobertura de óleo de aproximadamente 2,6 cm de altura, dada a área do cano (38,4845 cm^2) e o volume utilizado na contaminação (100 ml). Na Tabela 1 são apresentadas as análises estatísticas das amostras de sedimento, retiradas dos testemunhos controle abrangendo 30 cm de profundidade a partir da superfície.

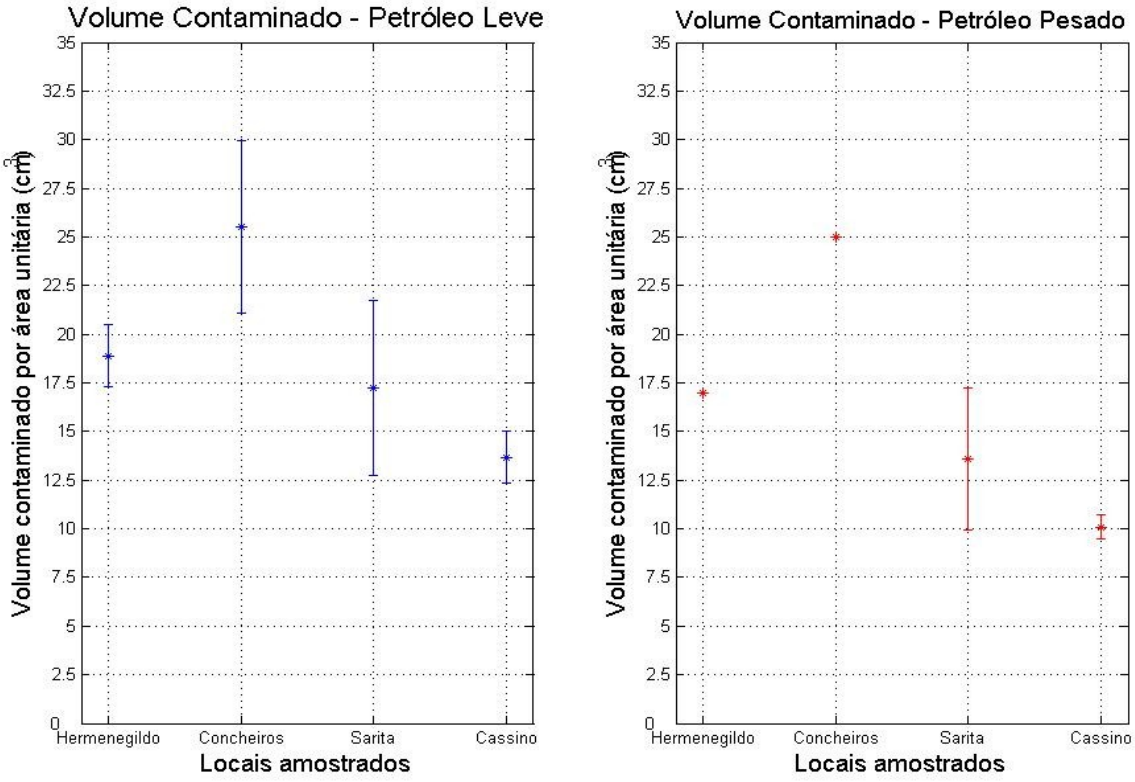

Figura 2 Volumes contaminados

Tabela 1 Análise estatística do sedimento

Data	Local	Média (Φ	Mediana	Seleção	Assimetria	Curtose
08/12/07	Hermenegildo – face da praia	2,193	2,171	0,3476	0,0632	0,8982
08/12/07	Concheiros – face da praia	1,366	1,921	1,27	-0,6257	0,8446
07/12/07	Sarita – face da praia	2,192	2,168	0,4439	0,0254	1,059
25/02/08	Sarita – face da praia	2,607	2,613	0,3202	-0,0061	1,199
25/02/08	Sarita – pós praia	2,391	2,411	0,3226	-0,0715	1,106
01/12/07	Cassino – face da praia	2,072	2,049	0,5307	0,1208	0,931
26/02/08	Cassino – face da praia	2,346	2,369	0,4974	-0,0475	0,8849
26/02/08	Cassino – pós praia	2,794	2,746	0,2952	0,1406	0,861

A praia do Cassino apresentou os menores volumes contaminados. Embora somente os dados do pós-praia evidenciam valores mais elevados de phi, sabe-se que nesta praia são encontrados percentuais muito elevados de areia muito fina, na verdade os sedimentos mais finos da costa do RS. Tal característica é atribuída à proximidade com a Barra do Rio Grande e conseqüente aporte de sedimentos provenientes da Lagoa dos Patos (Figueiredo & Calliari, 2006). Valores de permeabilidade calculados por Pereira ao longo da costa do RS (2005) mostram comparativamente que nos mesmos locais amostrados no presente trabalho, é nessa praia que ocorrem os menores índices, em concordância com os dados de penetração.

No balneário Hermenegildo e farol Sarita as características sedimentares são bastante semelhantes. De acordo com Pereira (op. cit.), essas praias são classificadas morfodinamicamente como intermediárias. O índice de mobilidade nesse estágio é comumente elevado, provavelmente possibilitando maiores variações granulométricas. Na Tabela 1 pode-se observar a semelhança e a variação granulométrica respectivamente entre os dois locais em dezembro de 2007 e nas duas amostragens realizadas no farol Sarita. A semelhança no volume contaminado nos dois pontos e o grande desvio padrão observado no farol possivelmente são relacionados a esses fatores. Além disso, a amostragem realizada no pós praia no farol Sarita também pode contribuir para o elevado desvio padrão, pois, como indica a Tabela 1, o sedimento apresenta variações de um sub-ambiente para o outro. Entretanto, no balneário Cassino as amostragens no pós-praia também indicaram diferença nos parâmetros sedimentológicos sem contudo apresentar desvio elevado nas profundidades atingidas. Isso pode indicar que, embora a granulometria seja o fator preponderante na contaminação, esta é depende de uma variedade de características ambientais.

Nos Concheiros, constatou-se as maiores contaminações e um elevado desvio padrão entre as medidas. Devido a presença de cascalho biodetrítico e areia quartzosa de granulometria variável, este local apresenta alta permeabilidade. Esses sedimentos são caracterizados como bimodais, e estão distribuídos ao longo de uma coluna sedimentar heterogênea com alternância de níveis de sedimentos grossos e finos com contatos bruscos. O alto desvio padrão das medidas pode ser explicado, neste caso, pela variabilidade lateral da espessura das camadas ao longo dos diferentes testemunhos, uma vez que as amostragens foram realizadas no mesmo dia.

Com a finalidade de identificar fatores ambientais responsáveis pela maior ou menor penetração do óleo, foram realizados testes de correlação entre os parâmetros sedimentológicos, teor de umidade, profundidade da superfície freática, e volume sedimentar contaminado, separando-se as amostras com óleo leve e pesado. Notou-se correlações significativas somente com alguns parâmetros sedimentológicos. Os resultados são apresentados nas Figuras 3 e 4, utilizando-se nível de significância de 99%. Nota-se o aumento da penetração tanto do óleo leve quanto do pesado em sedimentos com menor phi, ou seja, valores maiores de média e mediana (observando-se que valores de phi decrescem com o aumento do diâmetro do grão em mm). Essa relação ocorre porque quanto maior o tamanho das partículas, maior o espaço existente entre elas, e maior a permeabilidade (NOAA, 1997), situação que seria alterada somente quando outros fatores tais como a presença de sedimentos finos preenchendo os vazios, elevados teores de umidade ou lençol

freático elevado predominassem. Nas presentes amostras o teor de umidade variou entre 1% e 19%, não predominando assim sobre a granulometria, e frações menores que areia foram registradas apenas em algumas amostras no balneário Cassino, em porcentagens menores que 1%.

A assimetria é uma medida de quanto uma amostra se afasta da moda. Assim, amostras com assimetria positiva apresentam maior percentagem das frações de phi acima da moda. A correlação negativa mais uma vez evidencia que as maiores penetrações ocorrem em sedimentos formados por grãos predominantemente maiores.

A relação é inversa também no grau de seleção, ou seja, como este é uma medida de desvio da média, quanto melhor selecionada a amostra menor o valor do parâmetro. Embora considere-se geralmente que amostras com menor grau de seleção tenham menor permeabilidade (NOAA,1997), verificamos que ocorreu maior penetração em sedimentos de seleção mais pobre. Tal constatação evidencia que, nas condições observadas, mais uma vez a granulometria é preponderante, pois os menores graus de seleção ocorrem associados as amostras com maior tamanho de grão.

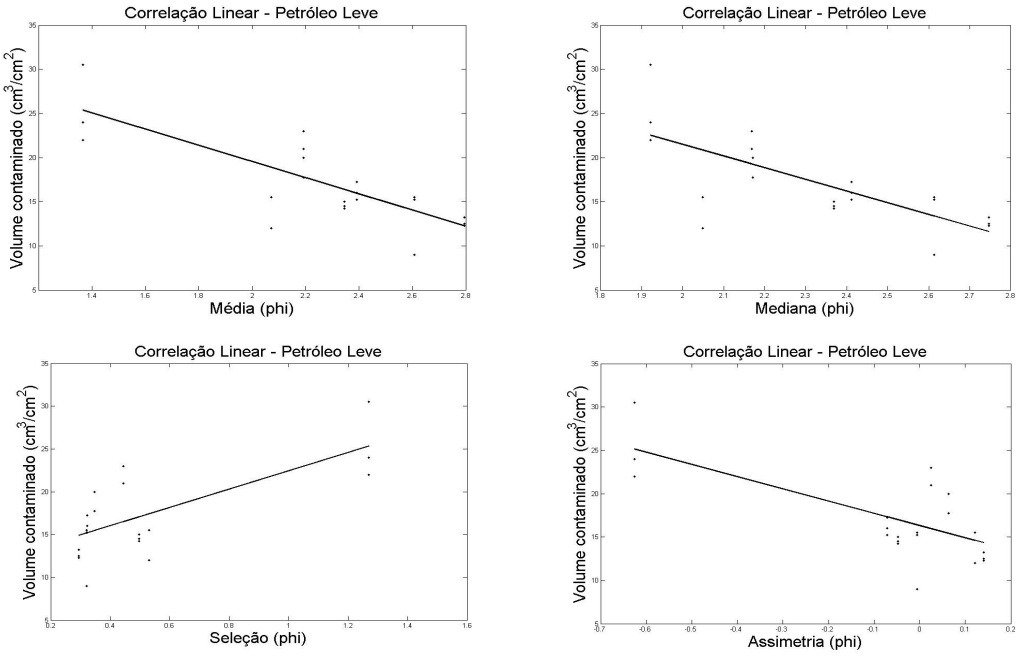

Figura 3: Parâmetros correlacionados significativamente com o volume de sedimento contaminado por petróleo leve

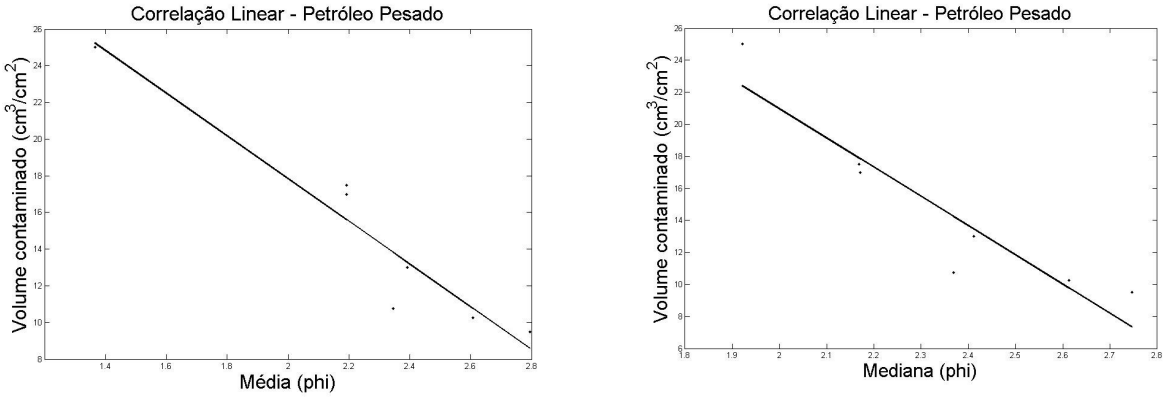

Figura 4: Parâmetros correlacionados significativamente com o volume de sedimento contaminado por petróleo pesado

Al-Sarabi et al (1996) estudaram a penetração de petróleo em solos do Kwait, contaminados por lagos de

óleo formados nos acidentes durante a guerra contra o Iraque. Os autores registraram penetrações 25 a 45 cm em um solo apresentando sedimentos arenosos em camadas de diferentes granulometrias. O valor de permeabilidade à água verificado em tais solos é da mesma ordem de grandeza dos valores medidos por Pereira e Calliari (2005). Embora não seja mencionado o tempo decorrente entre a formação dos lagos e as medidas nem a espessura dos mesmos, a semelhança entre as medidas pode ser um indício que, observadas as condições ambientais e as características do óleo utilizado, os valores obtidos pelo método utilizado no presente trabalho podem ser boas aproximações da realidade.

4. Conclusões

Através dos dados analisados no presente trabalho, no mesmo intervalo de tempo evidenciou-se uma menor variação nos parâmetros sedimentológicos na praia do Cassino, de características dissipativas, em relação à do Farol Sarita, intermediária e de maior índice de mobilidade. Dada a aparente predominância de sedimentos mais grossos onde ocorrem os maiores volumes contaminados, o monitoramento dos parâmetros sedimentológicos em diferentes escalas de tempo pode ser uma ferramenta relevante para ações de contingência.

As penetrações observadas, apesar de serem uma simplificação da realidade, onde o óleo passará por processos de intemperismo e chegará na praia misturado com água e ar, estão dentro da amplitude de valores para sedimentos arenosos e cascalhosos observados pela NOAA (1997). São valores válidos para os momentos que imediatamente seguem a chegada da mancha na praia, apontados como o momento correto para a realização de medidas de contingência e limpeza em sedimentos arenosos (NOAA, 1997). As variações do volume contaminado são coerentes com as variações sedimentares espaço-temporais mostrando que o método é eficiente na comparação de sedimentos de praias com características morfodinâmicas distintas.

Apesar de não terem sido encontradas correlações significativas com outras variáveis, tal como a umidade presente no sedimento, outros fatores influenciam na permeabilidade e, logo, no escoamento do óleo pelo sedimento. Desta forma, análises estatísticas multivariadas podem ser um recurso importante na hierarquização das características determinantes do volume contaminado.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional do Petróleo pelo suporte ao PRH-27 (Estudos Ambientais em Áreas de Atuação da Indústria do Petróleo) da Fundação Universidade Federal do Rio Grande e aos alunos do Programa de Pós Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica representados por Elaine Siqueira Goulart, Fernando Endo Hirata, Rafael Marcondes Carvalho Guedes e Ricardo de Lima Costa pela constante ajuda e disposição nos trabalhos de campo.

6. Referências

AL-SARAWI M., MASSOUD M.S., WAHBA S.A. Physical Properties as Indicators of Oil Penetration in Soils Contaminated with oil Lakes in the Greater Burgan Oil Fields, Kwait. Water, Air and Soil Pollutio, v.102 n.1-2 p. 1-15, 1998.

CALLIARI, L. J., KLEIN, A. H. F. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio **G**rande e Chuí. *Pesquisas, v.* 20, p. 48-56, 1993. FIGUEIREDO, S. A., CALLIARI, L. J. Sedimentologia e suas aplicações na morfodinâmicas das praias adjacentes às desembocaduras da linha de costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, v.4 p.73-87, 2006.

FREDLUND, D. G., RAHARDJO, H. *Soil mechanics for unsaturated soils*, John Wiley & Sons, Inc. 1993.

HALMEMIES, S.; GR¬OONDAHL, S.; NENONEN K. & TUHKANEN T. Estimation of the Time Periods and

Processes for Penetration of Selected Spilled Oils and Fuels in Different Soils in the Laboratory. *Spill Science & Technology Bulletin*, v. 8, n. 5 6, p. 451 465, 2003.

HAYES, M.O., HOFF, R., MICHEL, J., SCHOLZ, D & SHIGENAKA, G. Introduction to Coastal Habitats and Biological Resources for Oil Spill Response. NOAA, Seattle, WA, *Coastal Monitoring and Bioeffects Assessment Division Report HMRAD-92-4*, 382 pp, 1992.

NOAA. *Enviromental Sensitivity Index Guidelines, Version 2.0*. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 115. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, p.79,1997.

OWENS, E. H. Estimating and Quantifying Oil Contamination on the Shoreline. *Marine pollution bulletin*, v. 18, n. 3, p. 110-118, 1987.

PEREIRA, P. S. *Variabilidade da Orla Oceânica do Rio Grande do Sul e suas Implicações na Elaboração de Planos de Contingência: Aspectos Morfodinâmicos, Sedimentológicos e Geomorfológicos*. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Rio Grande, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2005.

PEREIRA, P. S., CALLIARI, L. J. Permeabilidade das praias oceânicas do Rio Grande do Sul em eventuais derrames de óleo. In: *Anais do III Congresso Brasileiro de Perquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás*. 2005

SKAL, A.S., GREBNEV, I. A vector percolation modeling of oil-gas relative permeabilities. *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 15, p. 937-946, 2003.

TOZZI, H. A. M. ; SILVA, R. P. ; CALLIARI, L.J., BARLETTA, R. C. Influência das Tempestades Extratropicais Sobre as Praias do Rio Grande do Sul (Laguna dos Patos-Chuí). *Libro de Resumenes Ampliados, VIII Colacmar*, n.2, p. 677-678, 1999.