



Copyright 2005, 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

PERMEABILIDADE DAS PRAIAS OCEÂNICAS DO RIO GRANDE DO SUL (RS) EM RELAÇÃO A EVENTUAIS DERRAMES DE ÓLEO

Pedro de Souza Pereira¹, Lauro Júlio Calliari²

¹ Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Av. Itália Km 8, Campus Carreiros, Rio Grande, RS, CEP 96201-900, Brasil, oceapsp@yahoo.com.

² Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Av. Itália Km 8, Campus Carreiros, Rio Grande, RS, CEP 96201-900, Brasil, tsclauro@furg.br

Resumo – A penetração do petróleo em praias arenosas depende diretamente da permeabilidade a qual é influenciada pelas características granulométricas, pelo tipo de óleo, e pela profundidade do lençol freático. O objetivo desse estudo é o de determinar a permeabilidade de quatro diferentes sistemas praias do RS a partir de ensaios utilizando tubos abertos tendo água e óleo como fluidos de percolação. Foram obtidos diferentes coeficientes de permeabilidade, bem como diferentes formas de percolação. A praia dos Concheiros, caracterizada por uma composição textural grossa apresentou coeficientes de permeabilidade semelhantes para os dois fluídos. Na praia da Querência, composta por areia fina, a permeabilidade do substrato foi quatro vezes mais rápida para a água. A praia do Farol da Conceição apresenta uma baixa permeabilidade devido ao moderado grau de seleção dos sedimentos e a presença de camadas impermeabilizantes em subsuperfície. Os resultados indicam que os fatores que controlam a permeabilidade estão relacionados as características granulométricas, ao estágio morfodinâmico e a herança geológica. Sob o ponto de vista operacional durante a realização de planos de contingência e limpeza de praias, as informações aqui geradas são úteis na redução de impactos causados por eventuais derrames, minimizando esforços e aumentando o sucesso das medidas mitigatorias.

Palavras-Chave: óleo, permeabilidade, praias oceânicas.

Abstract – Oil penetration on beaches is dependent of the permeability, which is influenced by the granulometric properties, oil characteristics and the depth of the water table. The objective of the present study is to evaluate the permeability of four different beach systems of the RS coastline throughout open tube permeameter using water and oil as percolation fluids. The results showed different permeability coefficients as well as different forms of percolation. The Concheiros beach, which is composed, of coarse sediments, displayed similar permeability coefficients for both fluids. At Querência beach composed of fine sand the substrate permeability for water was four times faster than the oil. Conceição Lighthouse beach displayed a low permeability due to the moderate sediment sorting and to the presence of impermeable layers in subsurface. The results indicate, as beach permeability controlling factors, the granulometric characteristics, the morphodynamic stage and the geological inheritance. Under the viewpoint of contingency and beaches cleaning plans these results are useful in the impact reduction of eventual oil spills as well as contingency plans minimizing efforts and increasing the success of mitigation procedures.

Keywords: oil, permeability, ocean beaches.

1. Introdução

O petróleo é um combustível fóssil de grande significado para a economia mundial. Entretanto, é também um problema devido a sua freqüente introdução no ambiente marinho, não somente por atividades relacionadas ao transporte, mas também pela sua larga utilização no setor industrial (Bícego, 1988).

As praias representam o destino final do petróleo e de seus derivados em zonas costeiras, uma vez que ventos, correntes e ondas empurram o petróleo em direção à costa. Quando um evento de derrame atinge as praias, deposita-se, prontamente, na zona de espraio onde ocorrem os maiores impactos ambientais. O conhecimento das características do petróleo, dos sedimentos e da dinâmica ambiental, pode ajudar a prever o comportamento do óleo e sua persistência no substrato.

A penetração do petróleo em praias arenosas depende diretamente da permeabilidade do substrato, função das características granulométricas, das características físicas do óleo, do grau e tipo de perturbação biológica (Davies & Topping, 1995) e da profundidade do lençol freático (McLaren, 1985; Hayes & Michel, 1999; Oliveira & Vinzon, 2003).

Solos em geral apresentam fissuras ou caminhos preferenciais, além de apresentar poros conectados entre si, pelos quais fluidos podem circular. A facilidade com que um fluido flui através de ambientes porosos constitui uma importante propriedade conhecida e quantificada como coeficiente de permeabilidade (K).

Também chamada de condutividade hidráulica (Cabral et al., 2000), o coeficiente de permeabilidade leva em conta as características do meio, incluindo porosidade, tamanho e distribuição das partículas, forma e arranjo das mesmas, além das características do fluido de escoamento, como viscosidade e massa específica.

McLachlan (1990) verificou que grandes volumes de água se infiltram em praias arenosas. Segundo este autor, praias com baixa declividade com sedimentos finos (dissipativa) apresentam baixa capacidade de infiltração e um alto tempo de residência, enquanto que praias com alta declividade e sedimentos grosseiros (reflectivas) se comportam de maneira inversa, sendo o volume filtrado para ambas função da amplitude da maré e sobretudo da altura das ondas.

A costa do Rio Grande do Sul, nos seus 640 quilômetros, é considerada sob o ponto de vista geomorfológico uma costa retilínea e uniforme apresentando extensas praias arenosas dominadas por ondas, com um regime de micromarés, freqüentemente inundadas por marés meteorológicas.

Calliari & Klein (1993) estudando as praias entre Cassino, município de Rio Grande, e Chuí, no extremo sul do Brasil, caracterizaram as mesmas como dissipativas e intermediárias, podendo a praia do Concheiros atingir estagio mais próximo ao reflectivo. Barletta & Calliari (2000) e Pivel (1998) caracterizaram, respectivamente, as praias do litoral central e norte do estado (Torres) como intermediárias a dissipativas.

O objetivo do presente estudo é analisar a permeabilidade de quatro sistemas praias diferentes ao longo da costa do RS e sua relação com as características geológicas a fim de averiguar sua vulnerabilidade a eventuais derrames de óleo.

2. Materiais e métodos

A permeabilidade foi medida em dois subambientes do perfil praial, na berma e no pós-praia. Os ensaios de permeabilidade foram realizados em 4 praias do litoral do estado do Rio Grande do Sul onde foram realizados estudos morfodinâmicos pelo Laboratório de Oceanografia Geológica durante os últimos quinze anos. Foram estudadas no litoral sul, a praia dos Concheiros, Navio Altair e Querência. No litoral central, estudou-se a praia do Farol da Conceição.

Para o cálculo da permeabilidade foram realizados ensaios geotécnicos em tubos abertos de PVC segundo o método descrito por Caputo (1975). O tubo era enterrado até uma profundidade de 5 cm no solo e preenchido com o fluido até o topo. Com o tubo cheio cronometrava-se o tempo que a coluna de fluido levava para percorrer o intervalo de 5 cm ($dh=5$) entre dois níveis pré-determinados.

A partir dos valores obtidos em campo calculou-se a permeabilidade através da equação 1: onde r representa o raio do tubo; h_m é dado pela média da altura dos fluidos nos dois níveis, em situações acima do nível do lençol freático; dh , a distância do tubo percorrida pelo fluido; e dt o intervalo de tempo.

$$K = \left(\frac{r}{4h_m} \right) \left(\frac{dh}{dt} \right) \quad (1)$$

Como fluido de percolação foram utilizados água do mar e o petróleo Hydra. O petróleo Hydra é um óleo leve utilizado para refino na Refinaria de Petróleo Ipiranga S.A., localizada na cidade de Rio Grande, Rio Grande do Sul. Apresenta API de 49,3 e densidade de 0,778 à 20/4°C, sendo classificado como leve de acordo como descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos tipos de óleos.

Classificação dos tipos de óleo					
Grupo	Densidade	API	Composição	Meia Vida	Persistência
I	< 0,8	> 45	Leve	~ 284 h	1 - 2 dias
II	0,80 à 0,85	35 à 45	Leve	~ 48 h	3 - 4 dias
III	0,85 à 0,95	17,5 à 35	Pesado	~ 72 h	5 - 7 dias
IV	> 0,95	< 17,5	Pesado	~ 168 h	> - 7 dias
Fonte: ITOPF - The International Tanker Owners Pollution Federation					

Após os ensaios, dois tipos de tratamentos foram dados aos sedimentos contaminados, a queima “in situ” ou remoção dos mesmos. Além dos ensaios de permeabilidade realizados, foram coletados sedimentos com a finalidade de determinar as características granulométricas locais. Em laboratório as amostras foram pesadas, secas em estufa e novamente pesadas determinando-se assim o teor de umidade. Após a remoção do sal por lavagem, as amostras foram secas em estufas e peneiradas em intervalos de $\frac{1}{4}$ de ϕ (phi). A interpretação dos dados seguiu a metodologia descrita por Folk e Ward (1957).

3. Resultados

Os dados mostram uma menor permeabilidade do óleo em relação a água com um mínimo de 0,0006 cm/s para o Farol da Conceição e máximo de 0,0098 cm/s para a região dos Concheiros. Através da razão entre os coeficientes de permeabilidade da água e do óleo, foi possível a obtenção de uma relação quantitativa que expressa a velocidade de percolação entre os dois fluidos. Essa relação foi de 1,0 a 1,125 para os Concheiros e 4,294 a região da berma do Navio conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de permeabilidade (K) encontrados para ensaios utilizando água e óleo como fluidos.

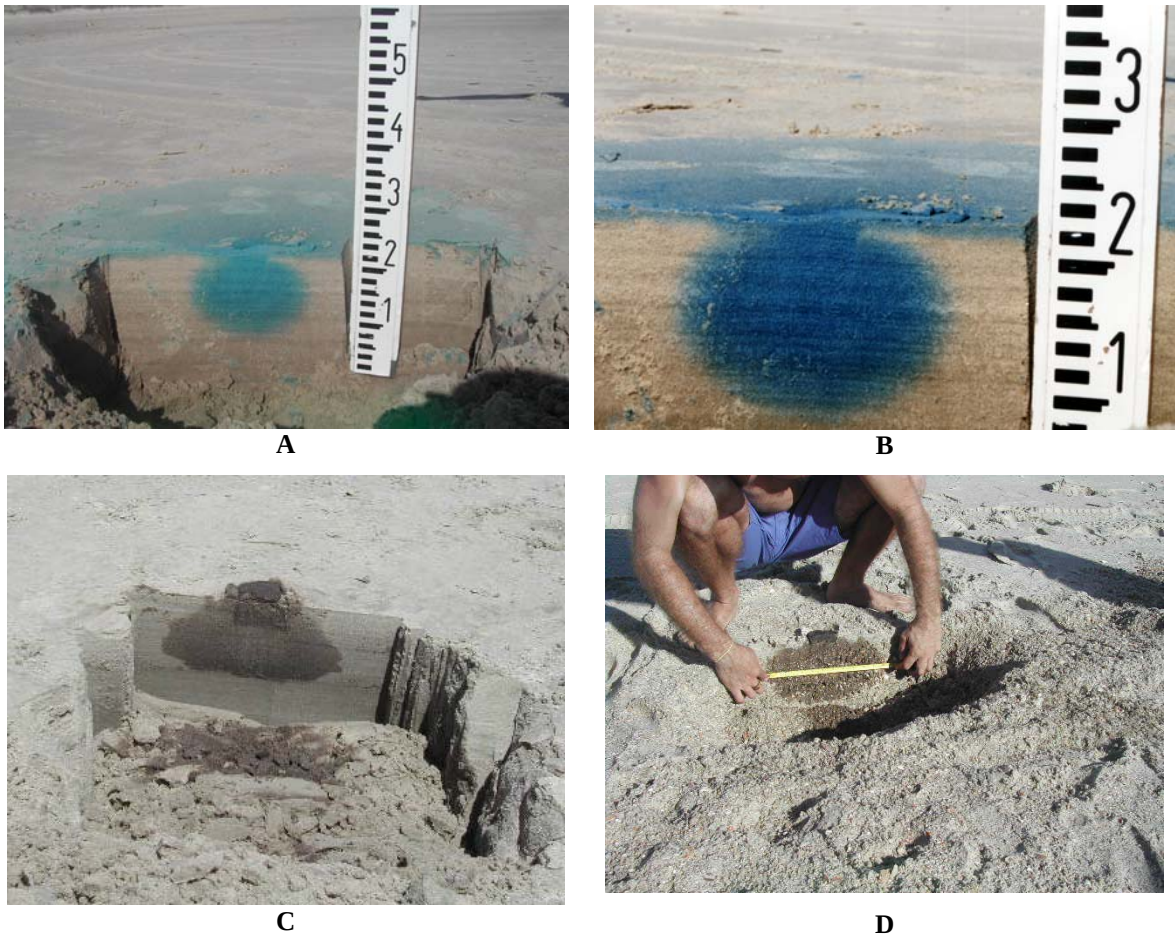
Local	Região do perfil	K óleo (cm/s)	K água (cm/s)	K Água/ K Óleo
Concheiros	Berma	0,0087	0,0098	1,125
Concheiros	Berma	0,0098	0,0098	1,000
Proximidades do Navio Altair	Pós-praia	0,0025	0,0036	1,419
Navio Altair	Pós-praia	0,0031	0,0056	1,786
Navio Altair	Berma	0,0011	0,0046	4,294
Querência	Pós-praia	0,0013	0,0052	3,933
Farol da Conceição	Pós-praia	0,0006	0,0020	3,364

Baixos valores relativos encontrados para os concheiros indicam uma velocidade de percolação muito semelhante entre os fluidos utilizados. Desta forma uma determinada carga de óleo leva quase o mesmo tempo que uma carga de água para se infiltrar no sedimento praial. Já em locais como as praias do Navio, Querência e Farol da Conceição a relação encontrada sugere que o tempo de infiltração do óleo é cerca de 3,4 a 4,2 vezes maior.

Um fato interessante encontrado foi o comportamento do bulbo formado pelos fluidos de percolação quando da realização dos ensaios. Assim que ocorre a infiltração dos fluidos no sedimento a percolação adquire um determinado formato que, acredita-se variar de acordo com a distribuição granulométrica, grau de compactação e sequência das camadas encontradas, além de outros fatores levantados por Cabral et al.(2000).

O formato predominante encontrado foi circular ou elipsóide para os ensaios realizados com água, figuras 1 A e B. Em ensaios com óleo foi observado um formato cônico com tendências retangulares em praias de granulometria fina e tendência circulares ou elípticas em praias de granulometria média a grossa, figuras 1 C e D, respectivamente.

Figura 1. Bulbos observados nos ensaios de permeabilidade. A e B são utilizando água, C e D utilizando óleo.



De acordo com os dados granulométricos as praias foram classificadas como areia fina, com exceção do ponto da berma dos Concheiros que foi classificada como areia média. Já em relação ao grau de seleção, as praias foram classificadas como muito bem selecionadas (Querência), bem selecionada (Navio Altair e proximidades), moderadamente selecionada (Farol da Conceição) e pobremente selecionada (Concheiros). Cabe ressaltar que, de acordo com a escala de Folk e Ward (1957), quanto menor o grau de seleção maior é o desvio padrão da amostra.

4. Discussão

De uma forma geral, como já esperado, a permeabilidade do óleo foi menor e mais lenta do que a da água, sendo a baixa densidade e alta viscosidade fatores determinantes desse processo. No entanto a diferença encontrada entre os coeficientes de permeabilidade pode ilustrar dois aspectos fundamentais para derrames de óleo: as características granulométricas dos sedimentos que constituem as praias e o estágio morfodinâmico.

A diferença de permeabilidade entre as praias dos Concheiros e da Querência é facilmente explicada pelas diferenças granulométricas, pois a região dos concheiros e as praias adjacentes a desembocadura da Lagoa dos Patos apresentam características sedimentológicas singulares em relação as demais praias do estado. Nos concheiros os sedimentos que compõem o ambiente praial são dominados por fragmentos de conchas e sedimentos relíquias oriundos da plataforma adjacente (Figueiredo Jr., 1975; Calliari & Klein, 1993; Klein, 1996 e Araújo, 2002). Nas adjacências da Lagoa dos Patos as praias apresentam as areias mais finas de todo estado (Calliari & Klein, 1993; Figueiredo, 2005). A granulometria diferenciada dessas praias também influencia o comportamento morfodinâmico, de forma que as praias próximas a desembocadura da Lagoa dos Patos sejam as mais dissipativas do estado (Figueiredo, *op cit*) e a praia dos concheiros uma das mais intermediárias com tendências reflectivas (Calliari & Klein, *op cit*).

A baixa permeabilidade encontrada no Farol da Conceição apresenta diferentes aspectos, sobretudo sedimentológicos, geológicos e hidrológicos. Sob o ponto de vista sedimentológico, apresenta um elevado grau de seleção, sendo classificado como moderadamente selecionado indicando um alto valor para o desvio padrão dos sedimentos. Nesse contexto, Krubein & Monk (1942) afirmam que quanto maior o desvio padrão de uma determinada amostra, menor é a sua permeabilidade, sendo esta principalmente função do tamanho médio e desvio padrão. Os aspectos geológicos e hidrológicos podem ser discutidos juntamente visto a sua interdependência. De acordo com Tomazelli *et al.* (1997) na região do Farol da Conceição afloramentos de turfa relacionados a depósitos paludais de

retrobarreira são freqüentemente encontrados.. A ocorrência desses depósitos logo abaixo da superfície praial, causam uma impermeabilização do solo e alteração do potencial hidráulico dos sedimentos tornando-os mais saturados, diminuindo consideravelmente a infiltração.

Um outro aspecto interessante foi a baixa permeabilidade encontrada para a berma na praia do Navio Altair. Normalmente a região da berma apresenta maior permeabilidade do que a região do pós-praia, fato esclarecido pelo maior tamanho do grão e conseqüente maior permeabilidade. No entanto foi encontrado uma permeabilidade aproximadamente 3 vezes menor para a berma, em relação ao pós-praia. A explicação para tal discrepância é o fato da região da berma ser utilizada comumente como faixa de rolagem para carros, diminuindo o espaço de vazios entre os grãos que compõem os sedimentos, aumentando a compactação e conseqüente diminuindo a permeabilidade.

A diferença encontrada nos formatos dos bulbos apresentados na Figura 1 pode ser elucidada através de duas alternativas:

(i) a partir das variações nos coeficientes de permeabilidade horizontais e verticais: de acordo com Rocha et al. (2005) a permeabilidade pode mudar de direção dentro dos sedimentos dependendo da sua heterogeneidade. Em situações de poros isotrópicos a permeabilidade é igual em todas as direções. No entanto, sedimentos em ambientes naturais são predominantemente anisotrópicos, isso significa que a permeabilidade horizontal é diferente da permeabilidade vertical (Rocha et al., op cit.);

(ii) água intersticial: de acordo com a porcentagem de água encontrada nos interstícios dos grãos o óleo de menor densidade, tende a apresentar um maior espalhamento horizontal, devido ao efeito barreira da água.

Acredita-se que ambas alternativas sejam válidas para explicar os diferentes formatos dos bulbos encontrados. No caso da Figuras 1 A e B os sedimentos encontrados seriam finos apresentando uma distribuição dos coeficientes verticais e horizontais de permeabilidade homogênea sem nenhuma estratificação aparente e menor quantidade de água intersticial. Já na Figura 1 C, o formato cônico a retangular do bulbo, ocorre tanto pela presença da água intersticial quanto ao fato de que o óleo possa apresentar uma maior permeabilidade horizontal comparativamente a vertical. Na Figura 1 D o formato mais elíptico encontrado pelo óleo deve-se ao fato do sedimento praial ser distribuído em camadas intercaladas de areia e cascalho. Os formatos registrados nas Figuras 1 A e B foram encontrados em todas as praias onde se utilizou água como fluido de percolação. O formato caracterizado na Figura 1 C foi encontrado em todos os pontos com exceção dos Concheiros que apresentou o comportamento encontrado na Figura 1D.

5. Conclusões

Com base nos resultados aqui encontrados foi observada uma nítida diferenciação em relação ao padrão de permeabilidade do óleo leve utilizado e a morfodinâmica das praias. Em praias dissipativas como a Querência, o substrato apresenta uma permeabilidade quatro vezes menor para o óleo comparativamente a água. Nas praias intermediárias a reflectivas como os Concheiros do Albardão, a permeabilidade do substrato é alta e semelhante para ambos os fluidos. Cabe ressaltar que o óleo na Querência apresenta uma tendência a ter maior espalhamento horizontal do que nos Concheiros. Esse fato demonstra que o espalhamento do óleo é maior para praias dissipativas. Por outro lado a infiltração é maior em praias intermediárias a reflectivas. Sob o ponto de vista operacional durante a realização de planos de contingência e limpeza de praias esses tipos de informações podem ser de grande utilidade na redução de impactos causados por eventuais derrames, minimizando também esforços operacionais e aumentando o sucesso de medidas mitigatorias, reduzindo custos.

A permeabilidade encontrada no Farol da Conceição revela dois aspectos da questão do óleo em praias. O primeiro é o fato da permeabilidade estar relacionada tanto ao tamanho médio dos sedimentos quanto ao seu desvio padrão. Sugere-se desta forma que o desvio padrão seja levado em conta na confecção de índices de sensibilidade ou na execução de planos de contingência. A segunda seria a sugestão de um novo método de contingência que seria a saturação do sedimento praial. Assim, a chegada e permanência de óleo na praia através do empilhamento pelas ondas, seriam minimizadas pela maior saturação, de maneira oposta ao processo de drenagem praial descrito por Chappell et al (1979). No entanto outros fatores devem ser considerados uma vez que esta medida pode amplificar o processo de erosão permanente que ocorre em algumas praias.

No que diz respeito a vulnerabilidade das praias estudadas em relação a permeabilidade, a praia dos Concheiros apresenta-se como a mais vulnerável seguida em ordem decrescente pelas praias do Navio, Querência e Farol. Isto seria reflexo da granulometria, do comportamento morfodinâmico e da herança geológica da planície costeira e dos sistemas praias nela incluídos.

Como sugestões para trabalhos futuros indicamos a realização de pesquisas que visem obter um melhor entendimento das variações naturais do lençol freático nas praias do Rio Grande do Sul e suas variações espaço-temporais de acordo com os processos hidrodinâmicos. Tal sugestão esta baseada no fato de que diversos autores consideram o lençol freático como uma barreira a penetração do óleo. Adicionalmente, é necessário analisar o comportamento de percolação e permeabilidade de óleos com diferentes densidades, além da realização de experimentos que visem estudar a interação das diferentes fases (água, óleo e ar) envolvidas no processo de chegada do óleo na praia.

6. Agradecimentos

Os presentes autores agradecem a Agência Nacional do Petróleo (ANP) que através do suporte dado pelo Programa de Recursos Humanos (PRH) vem financiando o PRH-27 da Fundação Universidade Federal do Rio Grande intitulado “Estudos Ambientais em Áreas de Atuação da Indústria do Petróleo”. A professora Maria Isabel Machado, professora visitante do PRH-27, pelo acompanhamento do presente estudo pelas críticas e sugestões.

7. Referências

- ARAÚJO, R. O. S. Caracterização sedimentar lateral e transeversal da praia dos Concheiros do Albardão, RS. *Dissertação de Mestrado*. Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Rio Grande, Fundação Universidade Federal do Rio Grande: p.146, 2002.
- BARLETTA, R. C. & CALLIARI L. J. Detalhamento dos aspectos atmosféricos e ondulatórios que determinam as características morfodinâmicas das praias do Litoral Central do Rio Grande do Sul. In: *Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas*, Itajaí, Univali, 2000.
- BÍCEGO, M. C. Contribuição ao estudo de hidrocarbonetos biogênicos e do petróleo no ambiente marinho. *Dissertação de Mestrado*. Instituto Oceanográfico. São Paulo, Universidade de São Paulo: p. 156, 1998.
- CABRAL, J., KOIDE, S., SIMÕES, S. & MONTENEGRO. Recursos Hídrico Subterrâneos. In: *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Ed: J. B. D. Piava, Paiva, E.M.C.D.,. Santa Maria, RS, 2000.
- CHAPPELL, J., ELIOT, I.G., BRADSHAW, M.P. & LONSDALE., E. Experimental control of beach face dynamics by water-table pumping. *Engineering Geology* v. 14: p. 29-4, 1979..
- CALLIARI, L. J. & KLEIN, A.H.F. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, R.S. *Pesquisas* v. 20: p. 48-56, 1993.
- CAPUTO, H. P. (1975). Mecânica de solos e suas aplicações. Rio de Janeiro, *Editora Livro Técnicos e Científicos*.
- DAVIES, J. M. & TOPPING, G. O impacto de um derrame de óleo em águas turbulentas: O Braer. Rio de Janeiro In: *FEMAR*, 2000.: p. 233, 1995.
- FIGUEIREDO JR., A. G. Geologia dos depósitos calcários biodetríticos da plataforma continental do Rio Grande do Sul. *Dissertação de Mestrado*. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: p. 71, 1975.
- FIGUEIREDO, S. A. Sedimentologia e suas implicações na morfodinâmica das praias adjacentes as desembocaduras da costa do Rio Grande do Sul. *Dissertação de Mestrado*. Curso de Pos-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Rio Grande, RS, Fundação Universidade Federal do Rio Grande: p. 192, 2005.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* v. 27, n 1, p. 3-26. 1957.
- HAYES, M. O. & MICHEL, J. Factors Determining the Long-Term Persistence of Exxon Valdez Oil in Gravel Beaches. *Marine Pollution Bulletin* v. 38 n. 2: p. 92-1001, 1999.
- KLEIN, A. H. F. Concheiros do Albardão: Variações Espaços-Temporais dos Sedimentos e da Morfologia Praial. *Dissertação de Mestrado*. Instituto de Geociências. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: p. 120, 1996.
- KRUMBEIN, W. C. & MONK, G.D. Permeability as a fuction of the size parameters of unconsolidated sand. *Americam Institute of Mining and Metallurgical Engineering, Technical Publication*: p. 153-163, 1942.
- MCLACHLAN, A. Dissipative beaches and macrofauna communities on exposed intertidal sands. *Jornal of Coastal Research* , West Palm, 6 (1): 57-71. 1990.
- MCLAREN, P. (1985).Behaviour of Diesel Fuel on a High Energy Beach. *Marine Pollution Bulletin* v. 16, n. 5: p. 191-196.
- OLIVEIRA, F. A. M. & VINZON, S.B. Dinâmica do Escoamento da Face da Praia. In: *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Recife, PE, Brasil, 2003.
- PIVEL, M.A.G. & CALLIARI, L. J. Caracterização preliminar das praias de Torres (RS) sob um enfoque morfodinâmico. In: *XI Semana Nacional de Oceanografia*, Rio Grande, FURG, 1998.
- ROCHA, C., FORSTER, S., KONING, E. & EPPING, E. High-resolution permeability determination and two-diimensional porewater flow in sand sediment. *Limnology and Oceanography: Methods* v. 3, p. 10-23, 2005.
- TOMAZELLI, L. J., VILLWOCK, J. A., DILLENBURG, S.R., BACHI, F.A. & DEHNHARDT B.A . A erosão costeira e a transgressão marinha atual na costa do Rio Grande do Sul. In: *VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (VI ABEQUA)*, Curitiba, Paraná, Brasil. 1997.