

SEDIMENTOLOGIA E MORFOLOGIA DA PRAIA DE MACROMARÉ DE AJURUTEUA, PARÁ: UM ESTUDO PARA DEFINIÇÃO DE INDICES DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO

Francisca de Paula da Silva Braga¹ (UFPA), Pedro Walfir M. e Souza Filho² (UFPA)

^{1,2}Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT), Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Av. Augusto Correa 1, Guamá, CEP: 66075-110, C.P. 8608, Belém, Pará, Brasil. Fone: 91 3201-8009, {fplima, walfir@ufpa.br}

A praia de macromaré de Ajuruteua, no norte do Brasil, está sujeita a poluição por óleo em função das rotas de navios petroleiros. Deste modo é importante que sejam conhecidas as características ambientais, para que possam ser traçados planos de contingência. O objetivo deste trabalho é estudar a variação espacial e sazonal das propriedades granulométricas e morfológicas ao longo da Zona de Intermaré (ZI), para estabelecer índices de sensibilidade ambiental (ISA) ao derramamento de óleo nesta zona da praia. Para a realização desta pesquisa foram estabelecidos 23 perfis topográficos a partir das dunas frontais até um metro e meio de profundidade na zona de inframaré em condição de maré baixa de sizígia. Ao longo dos perfis, amostras sedimentares coletadas nos meses de dezembro de 2005 (solstício) e março de 2006 (equinócio). As amostras sedimentares foram processadas em um granulômetro a laser da Malvern no intervalo de 1/8φ. Os dados topográficos foram coletados com uma estação total TOPCON, e processados nos programas TOPOGRAPH 98SE e Golden Software (SURFER 8.0). Os resultados obtidos mostram variações sazonais na distribuição granulométrica e morfológica na ZI. Para o mês de dezembro, a zona de intermaré inferior é mais vulnerável ao derramamento de óleo e em direção à zona de intermaré superior a vulnerabilidade diminui. Para o mês de março, o ISA é maior principalmente no canal, que servem como “trapas”. Outros fatores como permeabilidade e autolimpeza da ZI estão sendo analisadas para tornar o mapa de ISA mais preciso e operacional.

Sedimentologia-1, Morfologia-2, Índice de sensibilidade ambiental-3, Praia-4, Amazônia-5

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos constantes avanços nos sistemas de segurança operacional, sejam eles relativos à exploração ou ao transporte de petróleo e derivados, a ocorrência de acidentes nesse ramo de atividade ainda é muito freqüente. A poluição do mar por petróleo está intimamente relacionada ao derramamento de óleo que tem representado uma ameaça importante para a qualidade ambiental de regiões costeiras em todo o mundo.

As praias arenosas de macromarés apresentam uma relativa sensibilidade à poluição por petróleo, podendo aumentar a persistência do mesmo por um longo período. Desta forma, é importante que sejam conhecidas as características ambientais de áreas vulneráveis como estas, pois o conhecimento das características morfológicas, sedimentares e de sensibilidade ambiental das praias e planícies arenosas de macromaré, têm um destaque especial, pois refletem a dinâmica dos processos costeiros. Tais características permitem definir os diferentes índices de sensibilidade ambiental, para que possam ser traçados planos de contingência em casos de derramamento de petróleo. Nestes casos, pode ser possível o reconhecimento dos subambientes praias mais sensíveis, contribuindo, também, com a valoração do dano e a mensuração dos impactos sócio-ambientais.

O principal objetivo deste trabalho foi determinar os índices de sensibilidade ao derramamento de óleo do ambiente praias, em especial da zona de intermaré de uma praia dominada por processos de macromaré e fortemente influenciada por ondas. Isto permitirá entender de que forma os parâmetros sedimentológicos, morfológicos e geotécnicos influenciam no comportamento do óleo nesta praia. A integração desses dados em ambiente SIG permitirá a construção de um banco de dados serviu de base para a tomada de medidas preventivas e reparadoras em caso de algum acidente envolvendo derrames de óleo na costa do Pará.

2. DERRAMAMENTO DE ÓLEO E A ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA

Segundo as estatísticas da ITOPF (2005), os acidentes que ocorrem em navios tanques situados próximos à costa são aqueles que mais contribuem para os danos ambientais. Os 20 maiores acidentes com navios ocorreram em sua maioria em regiões de mares profundos e causaram pouco ou nenhum dano ambiental às regiões costeiras. Uma exceção foi o acidente ocorrido com o navio tanque Exxon Valdez no Alasca em 1989, causador de um grande impacto ambiental.

No Brasil, derrames de óleo têm sido registrados, como por exemplo, o ocorrido no Estado do Pará na madrugada do dia 4 de fevereiro de 2000, onde a balsa Miss Rondônia, da empresa Texaco que afundou no Rio

Pará, a aproximadamente 400 metros do porto de Vila do Conde, em Barcarena, a 35 km de Belém, com 1900 toneladas de óleo combustível do tipo A-1 (Berredo et al., 2001). Dentro deste contexto de ambientes costeiros, temos as praias e planícies arenosas de macromarés como importantes ambientes suscetíveis a esse tipo de danos, entre eles a praia de Ajuruteua, localizado a 36 km do município de Bragança, no nordeste do Pará (Figura 1). Estes ambientes encontram-se nas rotas de navios petroleiros que são potenciais causadores de acidentes relacionados com derramamentos de óleo no mar e que atingem a zona costeira. As praias arenosas de macromaré tenderiam a apresentar uma maior capacidade de autolimpeza ou depuração, mas segundo Noernberg e Lana (2002) não há evidências conclusivas sobre isto.

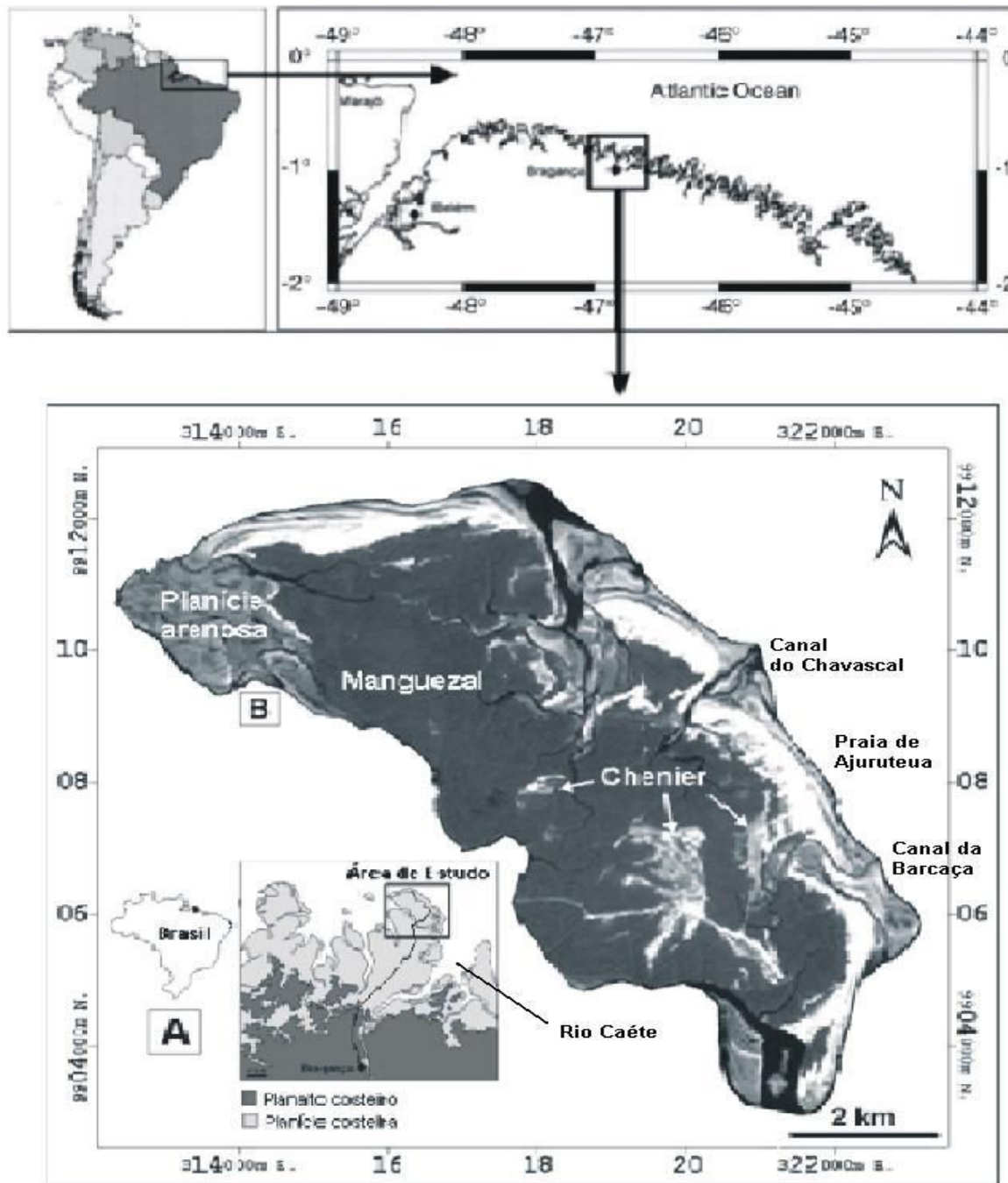


Figura 1: Localização da praia de Ajuruteua

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Estratégias de amostragem

Numa área central da praia (Figura 2), foram estabelecidos vinte e três transectos topográficos perpendiculares à linha de praia nos períodos de dezembro de 2005 e março de 2006, espaçados 40 m entre si, estendendo-se desde as dunas frontais até um metro de profundidade da zona de inframaré em condição de maré baixa de sizígia.

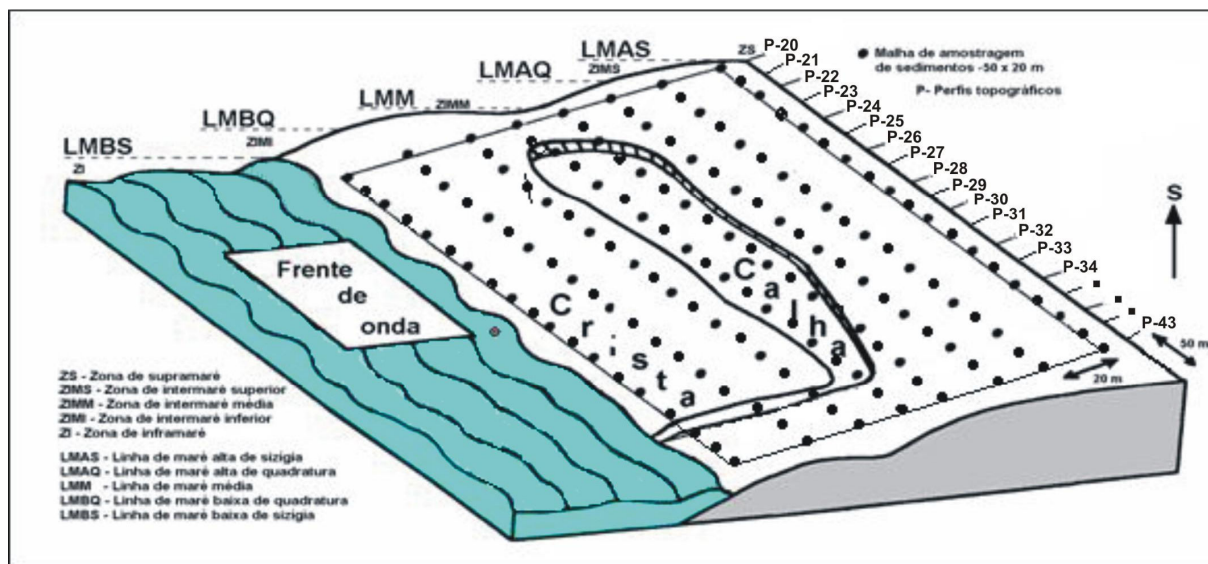


Figura 2: Mapa da estratégia de amostragem dos perfis de praia e de sedimentos na zona de intermaré da praia de Ajuruteua (modificado de Pedreros *et al.* 1996).

3.2 Trabalhos de campo

3.2.1 Perfis topográficos

Os perfis topográficos foram levantados nas duas campanhas, em situação de maré baixa de sizígia, mediante o uso de uma estação total - marca TOPCON, série GTS 210 e 220 – posicionados sobre bases de concretos em uma área central da praia

3.2.2 Amostragem superficial de sedimentos

As amostras de sedimentos foram coletadas sob condições de maré baixa de sizígia a partir do campo de dunas até a zona de inframaré que obedeceu a um grid de 20m. As coletas foram realizadas mediante o uso de uma tampa de tubo PVC de 2 cm utilizada para coletar apenas os primeiros 2cm totalizando 150g, assim todo os processos sedimentares diários ou semanais que atuam em escala de horas e minutos antes da amostragem terão uma influência subordinada na granulometria dos grãos (Pedreros *et. al* 1996).

3.2.3 Amostragem de testemunho para o ensaio geotécnico

Para caracterizar as propriedades físicas dos sedimentos foram realizadas nove coletas em pontos representativos em condições de maré baixa, três na zona de intermaré superior (ponto 22), três na zona de intermaré média (ponto 32) e três na zona de intermaré inferior (ponto 42) utilizando um tubo de ferro de 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro e adicionados a saco plástico para análise em laboratório.

3.3 Trabalhos de laboratório

3.3.1 Análise sedimentológica a laser

As amostras sedimentares foram submetidas à lavagem para remoção dos sais e ao ataque de ácido clorídrico a 10% para a remoção de fragmentos carbonáticos.

A medição do tamanho dos grãos dessas amostras foi realizada no Laboratório de Sedimentologia (LABSED) do Instituto de Geociências da USP através de um analisador por difração a “laser” Mastersize 2000 da Malvern.

3.3.2 Ensaio Geotécnico

Os ensaios geotécnicos foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (UFPa) com a finalidade de se conhecer as características físicas dos sedimentos. Para tal procedimento, foram realizados os seguintes ensaios: Índices de Vazios Máximos e Mínimos, Permeabilidade, Porosidade, Teor de Umidade e Grau de Saturação (Stancati e Nogueira, 1981; Nogueira, 1998).

3.3.3 Determinação e análise dos parâmetros estatísticos e modelo 3D dos perfis de praia

A análise da distribuição espacial dos parâmetros granulométricos (diâmetro-médio, mediana, desvio-padrão, assimetria e curtose) foi determinada segundo Folk e Ward (1957).

Os parâmetros estatísticos e gráficos foram obtidos através da utilização do Programa SysGran, desenvolvido por Camargo (1999) pela Fundação Universidade do Rio Grande (FURG). Os perfis topográficos foram analisados através do software TOPOGRAPH e o mapa de distribuição dos sedimentos, o modelo de elevação da praia em 3D e o mapa ISA foram gerados através do programa SURFER 8.0.

4. RESULTADOS

4.1. Distribuição espacial e sazonal dos sedimentos

Os resultados obtidos mostram variações sazonais dos processos costeiros e conseqüentemente da distribuição granulométrica na zona de intermaré. No mês de dezembro (final no período seco) observa-se que os grãos na zona de intermaré superior são finos com diâmetro-médio variando de 2,475 ϕ a 2,6 ϕ e tendem a engrossar em direção a zona de intermaré inferior mostrando valores de diâmetro-médio de 2,35 ϕ a 1,85 ϕ (Figura 3).

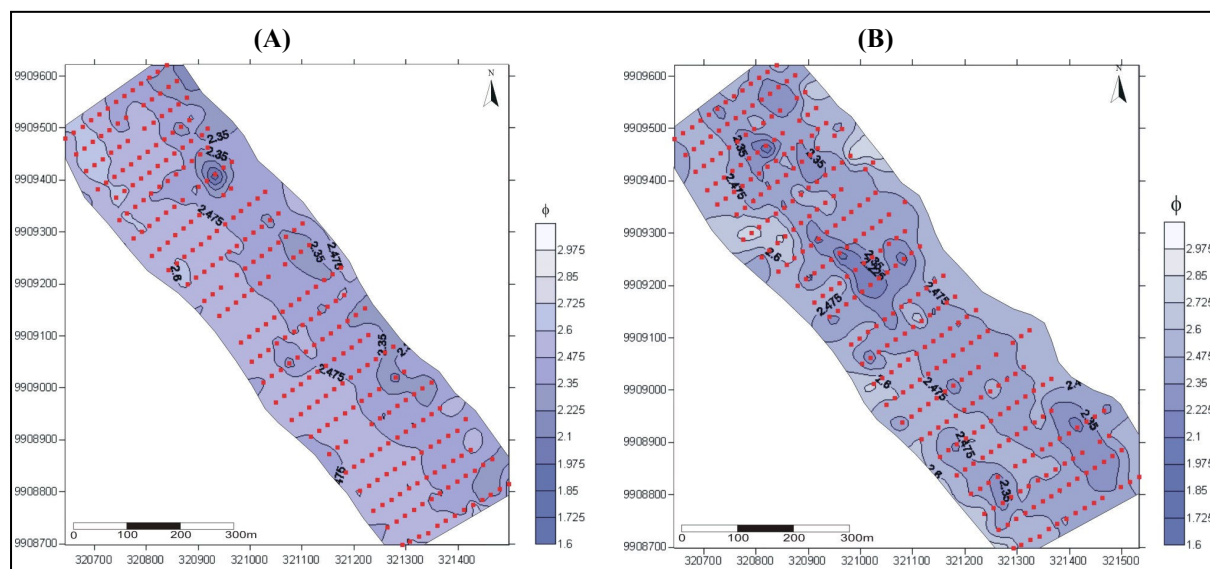


Figura 3: Comportamento da média nos dois períodos: (A) dezembro e (B) março.

Da mesma forma se observou para os valores de desvio-padrão e assimetria, na zona de intermaré superior os sedimentos são bem selecionados (0,4 ϕ) (Figura 4), aproximadamente simétricos com tendência positiva (0,1) (Figura 5), tendendo a sedimentos moderadamente a pobremente selecionados (0,525 ϕ a 1,025 ϕ) e assimetria negativa (-0,15) em direção a zona de intermaré inferior. Neste caso, a atuação das ondas e dos ventos é menor sendo suplantado pelas marés havendo uma homogeneização dos sedimentos.

Durante a estação chuvosa (mês de março de 2006) na zona de intermaré superior o diâmetro-médio varia 2,425 ϕ a 2,65 ϕ (Figura 3), com desvio-padrão que gira em torno de 0,5 ϕ a 0,75 ϕ (bem selecionado) e assimetria negativa com valores de 0 ϕ a -0,25 ϕ (Figura 5). Na zona de intermaré média os grãos nas calhas são mais grossos (diâmetro-médio variando entre 2,275 ϕ a 1,9 ϕ), moderadamente selecionados, assimetria negativa com valores entre -0,125 ϕ a -0,375 ϕ . Esta distribuição se dá devido à baixa energia atuante no canal causado pelo fluxo unidirecional da água. Na zona de intermaré inferior, coincidente com cristas os valores de assimetria

variam de 0ϕ a $0,125\phi$, sendo os sedimentos bem selecionados. No restante da zona de intermaré inferior a granulometria é similar ao da zona de intermaré superior com diâmetros médios entre $2,4\phi$ a $2,525\phi$, assimétrica com valores girando em torno de 0ϕ , tendendo a valores positivos e moderadamente a bem selecionada ($0,5\phi$ a $0,75\phi$). A distribuição granulométrica na zona de intermaré no mês de dezembro é mais influenciada pela maior atuação dos ventos, enquanto que a distribuição granulométrica no mês de março é mais ocasionada pela maré que suplanta a atuação dos ventos na área.

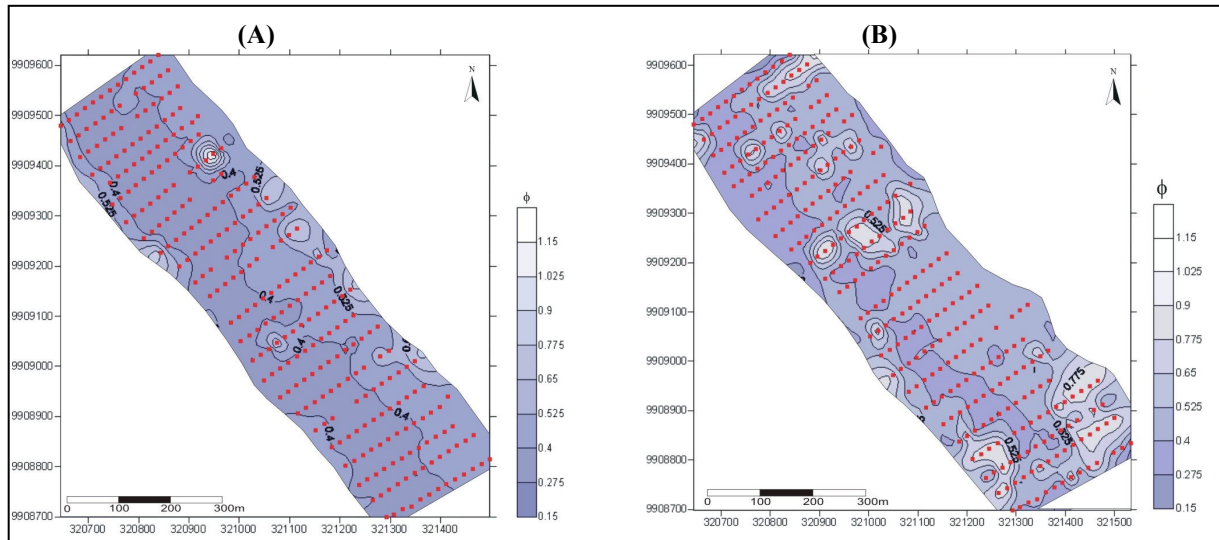


Figura 4: Comportamento da seleção nos dois períodos: (A) dezembro e (B) março.

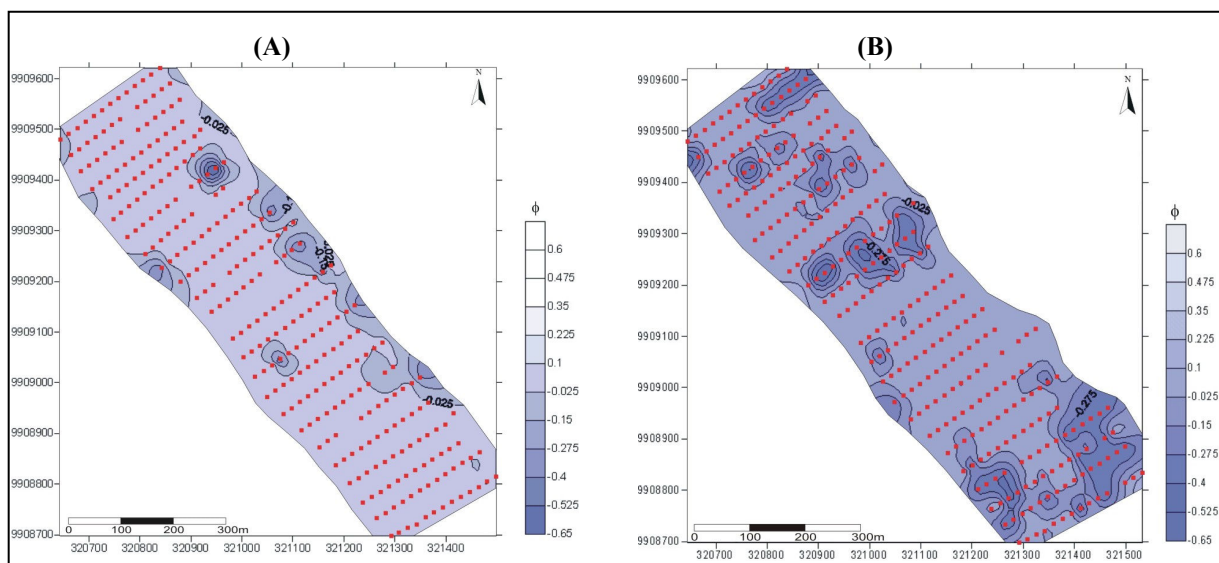


Figura 5: Comportamento da assimetria nos dois períodos: (A) dezembro e (B) março.

4.2 Variação espacial e sazonal na morfologia praial

Quanto ao estudo da morfologia da praia nos períodos estudados, no mês de dezembro (Figura 6) observa-se que a zona de intermaré apresenta uma feição aplainada com declividade suave enquanto que a zona de intermaré no mês de março (Figura 6) se verifica a presença de um canal de aproximadamente 500m de comprimento e 20 m de largura. A presença deste canal na Zona de intermaré causa este tipo de distribuição granulométrica. Nas calhas, os sedimentos tendem a ser mais grossos com assimetria negativa e moderadamente selecionados. Enquanto que no mês de dezembro, há uma tendência nos valores de cada parâmetro a diminuir ou crescer no sentido da zona de intermaré superior em direção a zona de intermaré inferior.

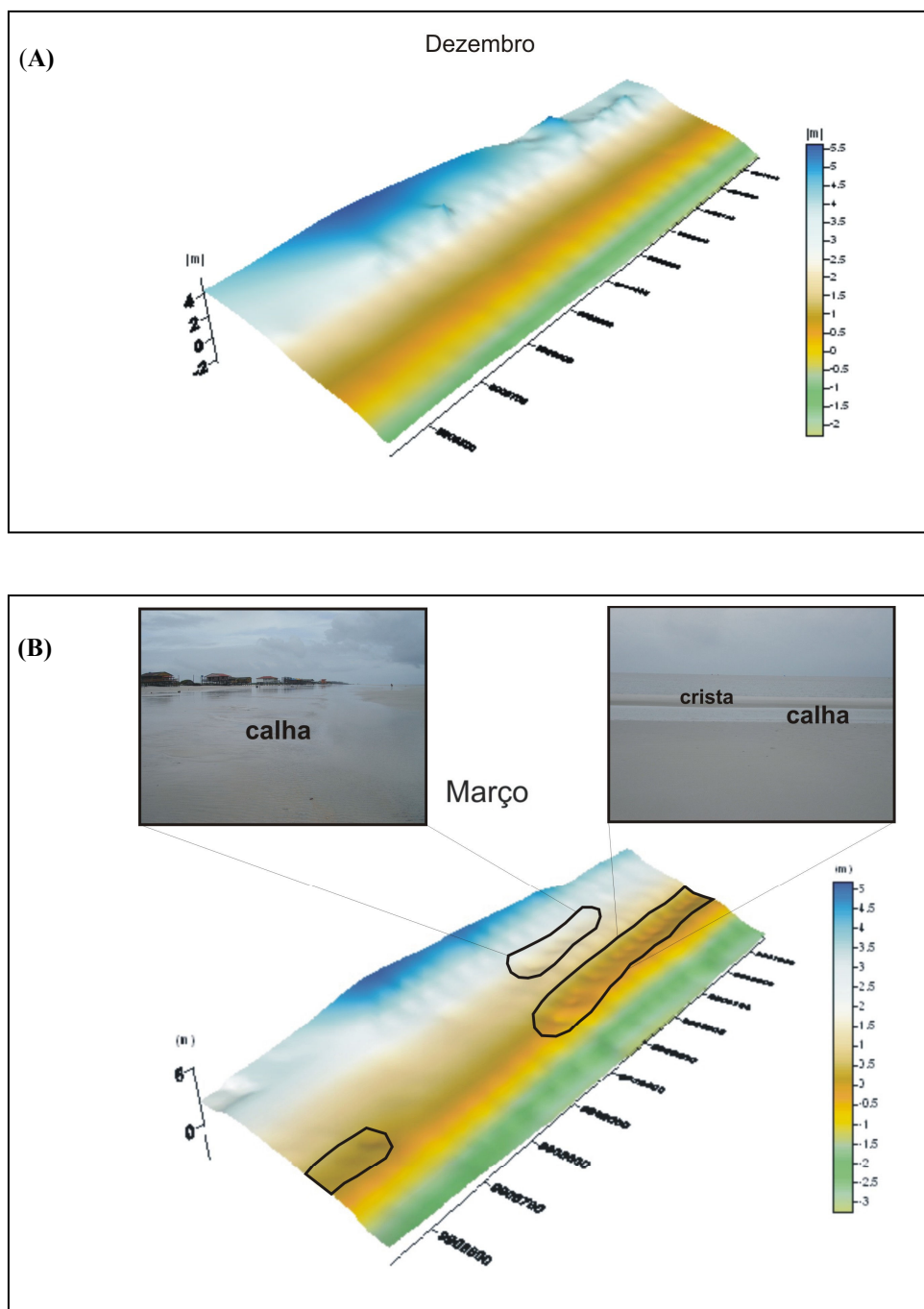


Figura 6: Morfologia praial do mês de dezembro de 2005 (A) e março de 2006 (B) com detalhe nos canais representados pelas linhas.

4.3 Análise da sensibilidade ambiental de praias de macromaré ao derramamento de óleo

De acordo com a classificação proposta pela NOAA (2002), a praia de Ajuruteua de comportamento dissipativo, composta por areia média a fina, com larga faixa intermareal, apresenta um índice 3. A definição do índice para este trabalho foi analisado por subzona considerando os dois meses estudados, baseados na metodologia da NOAA (2002). Cada subzona mostrou uma relativa sensibilidade ao derramamento de óleo conforme a Figura 7. A classificação das zonas segundo o Índice de Sensibilidade Ambiental determinou a seguinte escala conforme vemos na tabela 1, adaptada para as feições encontradas na praia de Ajuruteua de acordo com os fatores levados em consideração: declividade, granulometria, permeabilidade/infiltração, segurança e limpeza, envolvendo a trafegabilidade.

Tabela 1. Índice de Sensibilidade Ambiental adaptado para a praia de Ajuruteua.

ISA	Ambiente praial
3A	Zona de Supramaré
3B	Zona de Intermaré Superior
3C	Zona de Intermaré Média
3D	Zona de Intermaré Inferior
3E	Calhas

Neste trabalho classificamos como índice 3A, como menos sensível e índice 3E o mais sensível.

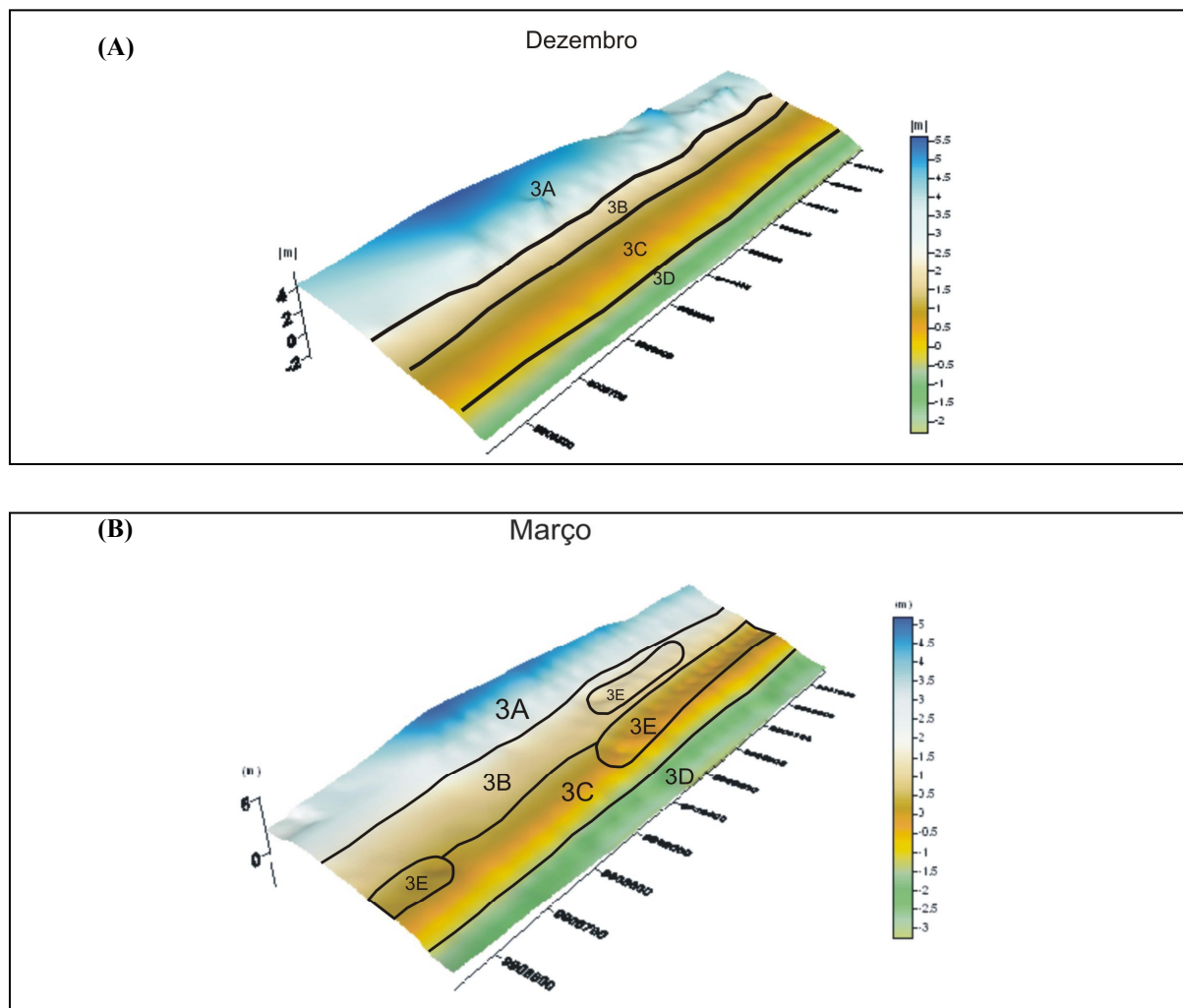


Figura 7: Mapa ISA de Ajuruteua: (A) dezembro e (B) março.

O índice de sensibilidade ambiental na zona de intermaré de acordo com a Figura 7 é diferente quando se compara aos dois períodos estudados. Para o mês de dezembro, a zona de intermaré superior seria mais vulnerável ao derramamento de óleo decrescendo na direção da zona de intermaré inferior. Para o mês de março, a vulnerabilidade seria maior principalmente na zona de intermaré média devido à presença do canal e pelas condições no que se refere à granulometria, permeabilidade e menor energia local. Estes canais serviriam como uma espécie de “trapas” dificultando a limpeza dos mesmos. Para este tipo de praia a taxa de infiltração seria inferior a 10cm.

5. CONCLUSÃO

A análise dos sedimentos mostrou que existem variações granulométricas sazonais nos sedimentos da zona de intermaré entre os meses estudados na Praia de Ajuruteua em ambos os períodos.

A variabilidade dos parâmetros granulométricos estudados neste trabalho foi satisfatória, uma vez que foi analisada em um granulômetro a “laser” com intervalos de $1/8 \phi$, obtendo resultados expressivos em relação ao comportamento dos parâmetros granulométricos.

Durante o mês de março há ocorrência do sistema de cristas e calhas suaves na zona de intermaré média, enquanto no mês de dezembro ocorre um aplainamento da zona de intermaré.

De uma forma geral a praia de Ajuruteua mostra que há uma relativa sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo devido suas características peculiares no que se diz respeito à granulometria que varia consideravelmente nas subzonas da Zona de Intermaré, a morfologia, permeabilidade e porosidade. Estes dois últimos variaram muito pouco nas subzonas.

No mês de dezembro verificamos que a vulnerabilidade ao derramamento de óleo aumenta no sentido da zona de intermaré superior para a zona de intermaré inferior. Enquanto que no mês de março, a vulnerabilidade ao derramamento de óleo é maior principalmente nas calhas e haveria uma tendência maior de acúmulo de óleo nestas áreas. Estes canais serviriam como uma espécie de “trapas” dificultando a limpeza dos mesmos.

Se houvesse um possível derramamento na praia, seu alto hidrodinamismo faria com que o óleo permanecesse por pouco tempo nas zonas estudadas, mas nas calhas o perigo se tornaria maior, devido o soterramento da mesma, a permanência do óleo seria entre semanas a meses respeitando a entrada e saída de sedimentos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores deixam seu inestimável agradecimento a ANP/PRH-06, pela concessão da bolsa de mestrado da primeira autora e pelo suporte financeiro das etapas de campo, ao Piatam-mar e aos professores Paulo César Gianinni (USP) e Tony Carlos (UFPA) pela utilização dos Lab. de Sedimentologia e Mecânica dos Solos.

7. REFERÊNCIAS

- BERREDO, J.F.; MENDES, A.C.; SALES, M.E.C.; SARMENTO, J.P. Nível de Contaminação por óleo nos sedimentos de fundo e na água do Rio Pará, decorrente do acidente com a Balsa Miss Rondônia. In: PROST, M.T.R.C. & MENDES, A.C. (Eds.) **Ecosistemas Costeiros: Impactos e gestão ambiental**. Belém, Pará; Museu Paraense Emílio Goeldi. CNPq. SECTAM. Governo do Pará, 2001. p: 153-165
- CAMARGO, M. G. SYSGRAN para Windows versão 3.2: Sistema de análises granulométricas. [mcamargo@cem.ufpr.br]. 2005.
- FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos Rives Bar: a study in the significance of grain parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.27, n.1, p.3-26, 1957.
- ITOPF. International Tanker Owners Pollution Federation Limited. Handbook 2006/2007. 47p.
- NOERNBERG, M. A.; LANA, P. C. A Sensibilidade de manguezais e marismas a impactos por óleo: Fato ou Mito? Uma ferramenta para a avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo. **Geograficos**. Vitória, n.3, p.109-122, 2002.
- NOGUEIRA, J. B. Índices físicos. In: NOGUEIRA, J. B. **Mecânica dos Solos: Ensaios de laboratório**. São Paulo: Departamento de Geotecnia, USP, São Carlos, 1998. p.69-82
- NOAA. Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 3.0. NOAA Technical Memorandum NOS OR&A 11. Seattle: Washington. National Oceanic and Atmospheric Administration, 173p, 2002.
- PEDREROS, R.; HOWA, H.; MICHEL, D. Application of grain-size-trend analysis for the determination of sediment transport pathway in intertidal areas. **Marine geology**, v.35, n.1, p.35-49, 1996.
- STANCATI, G.; NOGUEIRA, J. B.; VILAR, O. M. Determinação dos índices físicos. In: STANCATI, G. **Ensaios de laboratório em Mecânica dos Solos**. São Paulo: Departamento de Geotecnia, USP, São Carlos, 1981. p.23-30

SEDIMENTOLOGY AND MORPHOLOGY OF THE AJURUTEUA MACROTIDAL BEACH, PARÁ: A STUDY CASE TO DEFINE ENVIRONMENTAL SENSITIVITY INDEX TO OIL SPILL

The Ajuruteua macrotidal beach located in Northern Brazil is subject to oil pollution in response to the routes of tanker ships. Hence, it is very important to know the environmental characteristics to establish contingency plans. The main of this work is to investigate the spatial and seasonal changes in granulometric and morphologic

properties along the intertidal zone (IZ) to define environmental sensitivity index (ESI) to oil spill in this beach zone. During this research it was carried out 23 beach profiles from frontal dunes to one meter in depth in the subtidal zone under low spring tide condition. Along this profiles, sedimentary samples were collected in December 2005 (sollicitous) and March 2006 (equinoctials). Sedimentary samples were analyzed in laser granulometer (Malvern) in $1/8\phi$ interval. Topographical data were collected by TOPCON total station and processed using TOPOGRAPH 98SE and Golden Software (SUFER 8.0). The results show seasonal variations in the granulometric and morphologic distribution in the intertidal zone. On December, the low IZ is more venerable to oil spill and in direction to high IZ the vulnerability decrease. On March, the ESI increase, mainly along the channel, because this morphologic feature works out as a trap. Other factors, such as permeability and cleanness facility are being analyzes to become the ESI map more accurate and operational.

Sedimentology-1. Morfology-2, Environmental Sensitivity Index -3, Beach-4, Amazon-5

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.