



Caracterização Sedimentológica da Área de Fundeio de dois naufrágios na Plataforma Continental Pernambucana *

Sedimentological Characterization of Shipwrecks on the Pernambuco Continental Shelf

Mirella Borba S. F. Costa ^{@, 1}, Daniele L. B. Mallmann ¹ & Núbia C. Guerra ¹

RESUMO

No ano de 2006, a Associação de Empresas de Mergulho do Estado de Pernambuco (AEMPE), juntamente com duas instituições públicas de ensino e pesquisa do mesmo Estado (Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e Universidade Rural de Pernambuco - UFRPE), decidiram liderar o Projeto Parque dos Naufrágios Artificiais de Pernambuco (PNAPE), cujo objetivo consistiu em fundear três navios do tipo rebocador - Taurus, Saveiros e Mercurius - sob condições controladas e com propósitos científicos e comerciais. Entre os critérios de escolha da área foram consideradas a morfologia e a composição do fundo, de forma a buscar locais de fundo arenoso e evitar a proximidade de bancos algálicos ou recifes naturais. Entre os objetivos específicos do projeto foram incluídas a caracterização dos sedimentos de fundo e a análise temporal dos aspectos sedimentológicos nas áreas de fundeio dos navios Mercurius e Saveiros. Por questões operacionais, o rebocador Taurus não pôde ser contemplado pela pesquisa. A dificuldade na coleta dos sedimentos por amostradores do tipo draga levou ao teste da coleta por mergulho autônomo, o qual se mostrou eficaz por ser pontual e não sofrer deriva, permitindo que a amostragem ocorresse sempre em locais idênticos. Os resultados obtidos mostraram que no entorno do Mercurius (bombordo e boreste) a granulometria apresentou, durante todo o período examinado, uma distribuição bimodal, com altas frequências das frações areia e cascalho biodetrítico. Os dois bordos analisados do naufrágio não demonstraram variações significativas entre si. Já a boreste de Saveiros, a população mais freqüente foi classificada como areia fina, existindo pouco cascalho, enquanto que a bombordo do mesmo naufrágio, foram verificadas variações significativas durante os meses, sugerindo uma tendência de diminuição da quantidade de cascalho entre os meses de agosto (34,36%) a dezembro (2,75%), o que pode indicar a formação de uma zona de sombra no local. Os elevados percentuais de cascalho encontrados em todos os pontos amostrais estão associados à presença de fragmentos de organismos

@ - autor correspondente - mirella_borba@yahoo.com.br

1 - Laboratório de Oceanografia Geológica do Departamento de Oceanografia, UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Av. Arquitetura s/n, Recife, Pernambuco, Brasil, CEP: 50740 550

* Submissão - 22 Janeiro 2009; Avaliação - 30 Março 2009; Recepção da versão revista - 29 Junho 2009; Disponibilização on-line - 14 Janeiro 2010

e seus tamanhos. As constatações feitas ao longo do estudo estão de acordo com as características de plataformas cobertas por sedimentos biogênicos e biodetríticos, caracterizadas por intensa atividade organogênica e pouca influência continental, como é o caso da plataforma continental pernambucana, localizada no nordeste do Brasil.

Palavras-chave: recifes artificiais; plataforma carbonática; nordeste do Brasil.

ABSTRACT

The State Association of Dive Companies of Pernambuco State (northeast Brazil), together with the Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE and Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, decided to initiate a project named Pernambuco's Shipwrecks Park (PNAPE), that involves the sinking of three decommissioned tug boats - Taurus, Saveiros and Mercurius - under controlled conditions, for both commercial and scientific purposes. The exact spots, about 12 Km offshore, between the isobaths of 20 and 30 m, were chosen upon consideration of several factors, including seabed morphology and composition, (preferred sandy bottom local, avoiding proximity to natural reefs or banks algae); maritime traffic (the least possible); proximity of Recife Port (in order to facilitate touristic usage); etc. However, the introduction of a structure on the seabed, in general, changes the pattern of currents, sediment dynamics and, thus, leads erosion and depositional processes in the surrounding area. So it is essential to evaluate, through sedimentological studies, the conditions of substrates in areas like deliberated shipwrecks, and the changes caused by the presence of the submerged structure, to better understand the adaptation process of colonization species. In that sense, a monitoring of the artificial reef area were made, including bottom sediments characterization and temporal analyze of the sediment cover surrounding the wrecks of Mercurius and Saveiros. Due to operational issues, Taurus could not be included in this research. This article shows the results of the study between the months of August and December 2006 identifying the sediment cover in terms of statistical grain parameters and calcium carbonate content. The samples were collected monthly on both sides (boreste - BE and bombordo - BB) of the shipwrecks, always at the same spot, by divers to depths of about 30 m. The data shows bimodal distribution patterns of grain size around the Mercurius (BE and BB) in the monitored period, with high frequencies of sand and biodetrític gravel. The two sides of the shipwreck showed no significant variations between them, which shows that the wreck is not significantly influenced bottom sediments. The most frequent population (BE) Saveiros was classfied as fine sand, with just little gravel. In contrast, Saveiros BB showed significant variations during the months, presenting declining amounts of gravel from August (34.36%) to December (2.75%) which might indicate the formation of a shadow area. The high percentages of gravel found in all sampling points are associated with the presence of fragments of organisms and their sizes. This assertion is supported by high rates of CaCO_3 found. The visual comment of the samples, allows inferring that the composition of bottom sediments is constituted, essentially, for Halimeda and Lithothamnium, among others calcareous algae, and small amount of coral. The results obtained so far not only clarify important issues regarding the characterization of sedimentary environments of the Pernambuco continental shelf near Artificial Shipwrecks Park, but also attest the efficiency of the use of diving as a satisfactory tool for geological surveys in small areas.

Keywords: artificial reefs; carbonates shelf; Brazil northeast.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, o uso de recifes artificiais marinhos foi intensificado em torno do globo (Seaman & Seaman, 2000), de modo que o afundamento de estruturas, incluindo os navios descomissionados, visando à formação de recifes artificiais já é utilizado em diversos locais. Entre os países que já licenciam e empregam formalmente tais estruturas, constam Finlândia, França, Grécia, Israel, Itália, Malta, Polônia, Portugal, Romênia, Espanha, Holanda, Turquia e Ucrânia. Outros, tais como Reino Unido, Dinamarca, Irlanda, Rússia e Suécia, demonstram interesse, embora ainda não possuam estruturas do gênero instaladas. A Noruega, por sua

vez, tem desenvolvido unidades experimentais baseadas no uso do concreto (Jensen, 2002). Chou (1997) menciona alguns países asiáticos que já fazem uso de recifes artificiais, seja por meio de programas nacionais específicos (Malaysia, Tailândia, Filipinas e Taiwan), ou em caráter experimental (Singapura e Indonésia), bem como aqueles que demonstram interesse no assunto (Hong Kong). Outros países, ainda, têm programas relacionados em andamento, entre os quais podem ser citados Austrália (Branden et al., 1994), Estados Unidos (Seaman & Sprague, 1991; Johnson, et al., 1994.), Japão (Nakamura, 1985; Thierry, 1988), Coréia (Kim, et al., 1994; Lee & Kang, 1994) e Cuba (Conceição & Monteiro Neto, 1998).

No Brasil, estão em andamento estudos baseados na instalação de recifes artificiais em diversos estados, tais como Paraná, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Ceará (Araújo & Brotto, 1997; Brandini, 2000; Godoy & Coutinho, 2002; Zalmon et al., 2002; Conceição & Monteiro Neto, 1998).

As duas justificativas mais comuns para este tipo de intervenção são os incrementos na pesca e na diversidade biológica. No entanto, a simples instalação de estruturas no fundo marinho não garante tais impactos positivos. Atualmente existe um grande debate na comunidade científica acerca das alterações promovidas por um recife artificial sobre a produtividade marinha – existe realmente um incremento na produtividade dos ecossistemas marinhos (Seaman & Seaman, 2000; Alencar et al., 2003) ou tais estruturas funcionam apenas atraindo a biota para suas adjacências, podendo, inclusive, facilitar a sobrepesca? (Bohnsack, 1989; Polovina, 1991; Munro & Balgo, 1995) – no caso específico de Pernambuco, uma lei estadual (n. 23.394/2001) proíbe a pesca comercial em torno de naufrágios (naturais ou programados) (Santos et al., 2008).

Com o intuito de avolumar o presente conhecimento acerca do uso de estruturas marítimas descomissionadas como recifes artificiais, no ano de 2006, a Associação de Empresas de Mergulho do Estado de Pernambuco (AEMPE), juntamente com duas instituições públicas de ensino e pesquisa do mesmo Estado (Universidade Federal de Pernambuco - UFPE e Universidade Rural de Pernambuco - UFRPE), decidiram liderar um projeto, denominado Parque dos Naufrágios Artificiais de Pernambuco (PNAPE), cujo objetivo consistiu em fundear três navios do tipo rebocador - Taurus, Saveiros e Mercurius - sob condições controladas e com propósitos científicos e comerciais (Santos et al., 2008). Dentro da expectativa do projeto incluiu-se a produção de informações sobre o grau de influência que um naufrágio pode causar nas características dos sedimentos em seu entorno.

A introdução de estruturas no fundo marinho, em geral, altera o padrão das correntes, da dinâmica sedimentar e, conseqüentemente, induz a processos erosivos e deposicionais nas suas proximidades. Em áreas deposicionais marinhas, fatores hidrodinâmicos como as ondas, as correntes, as marés e a influência

fluvial promovem modificações nos padrões de transporte e deposição sedimentar, alterando tais ambientes, bem como sua disponibilidade enquanto substrato para a vida marinha (Pagliosa, 2006). A distribuição espacial da biota marinha, por sua vez, em especial no que se refere aos organismos bentônicos, é particularmente sensível às mudanças naturais e induzidas sobre os sedimentos, de modo que é imprescindível avaliar, por meio de estudos sedimentológicos, as condições dos substratos nas áreas passíveis de naufrágios programados. Ademais, para que se compreenda melhor o processo de adequação das espécies colonizadoras, faz-se necessário estudo acerca das alterações provocadas pela presença da estrutura submersa nas características prévias do local.

O estudo sedimentológico permite a caracterização e a classificação dos sedimentos, além da sua correlação com as áreas de ocorrência, permitindo inferências sobre sua gênese, transporte e deposição. Quando aplicado à análise da natureza e à delimitação da distribuição espacial dos sedimentos, auxilia na determinação da relação entre a biota e seu meio. A caracterização sedimentológica permite, ainda, a individualização de cada unidade sedimentar que serve de substrato para a colonização de macro e microfítobentos, os quais funcionam como refúgios às espécies de invertebrados e fonte direta e indireta de alimento para a fauna local.

O presente estudo buscou caracterizar as feições sedimentares dos substratos nas áreas onde foram fundeados os naufrágios Mercurius e Saveiros, realizados para cumprir o propósito estabelecido pelo projeto supracitado, subsidiando a identificação de ambientes propícios para a colonização e permanência das espécies e o entendimento acerca das variações temporais nas características deste substrato. Os resultados aqui apresentados se referem ao estudo realizado no local entre os meses de agosto e dezembro de 2006, com identificação de unidades sedimentares de acordo com os parâmetros granulométricos e estatísticos associados, além do teor de carbonato de cálcio.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

O presente trabalho foi desenvolvido junto ao Parque dos Naufrágios Artificiais de Pernambuco, próximo à costa de Recife, no quadrante compreendido entre as coordenadas 08°03'00" e 08°04'00"S e 34°45'00" e 34°43'00"W. Nessa área, entre as isóbatas de 20 e 30m, foram afundados três rebocadores, Mercurius, Taurus e Saveiros (Figura 1). A escolha da área baseou-se principalmente nos seguintes critérios: morfologia e composição do fundo (foram favorecidas áreas de fundo arenoso, isentas de bancos algálicos ou recifes naturais); navegação (os naufrágios deveriam estar em locais onde não constituíssem empecilho ao tráfego marinho) e, por fim, a distância da costa (próximo o suficiente para permitir operações de mergulho recreativo, ou seja, atividades turísticas) (Santos et al., 2008). Assim, mediante estudo ambiental simplificado realizado previamente, os três rebocadores foram afundados próximo ao Porto do Recife no dia 26 de Maio de 2006.

Devido a questões operacionais, este estudo contemplou apenas dois naufrágios, Mercurius e Saveiros, tendo em vista que em cada campanha poderiam ser realizados apenas 2 mergulhos. Optou-se pelos mesmos por ambos possuírem dimensões iguais (29,1m) e estarem numa mesma profundidade (30m).

2.2 Aspectos climatológicos

O clima da região é classificado como tropical úmido, com precipitação anual em torno de 2.050mm distribuídos em duas estações, seca e chuvosa. Os meses de maio, junho e julho são os mais chuvosos (70 a 75% do total anual), enquanto outubro, novembro e dezembro são os mais secos (CPRH, 2003).

As temperaturas variam entre 25°C e 30°C, não apresentando variações expressivas. Os ventos dominantes vêm de E-SE e apresentam velocidades médias entre 3 e 5 m/s, sendo os ventos alíseos e as brisas marinhas os fenômenos de maior influência nas condições climáticas da costa pernambucana (Manso et al., 2006).

2.3 Aspectos hidrológicos

A área recebe aporte de água doce, sedimentos e nutrientes principalmente dos rios Capibaribe e Beberibe. O primeiro nasce no agreste do estado e apresenta uma área de drenagem de 7.716 km², desembocando no oceano Atlântico junto à cidade do Recife. Já o segundo, cuja área de drenagem é igual a 108 km², nasce na zona da mata e tem parte da sua bacia no município de Olinda, onde encontra o Capibaribe e desemboca no oceano (Macêdo et al., 2004).

2.4 Aspectos oceanográficos

A área apresenta marés do tipo semi-diurna que, em termos de amplitude, são classificadas como meso-marés, com variações médias de 0,7 m na quadratura e 2,0 m na sizígia (Manso et al., 2006). As ondas incidentes, assim como ocorre em todo o litoral pernambucano, têm direção predominante E-SE e estão associadas a ventos de mesma direção. A altura destas ondas varia entre 1,0 e 1,5 m e o período entre 5 e 7 s (Oliveira, 2000).

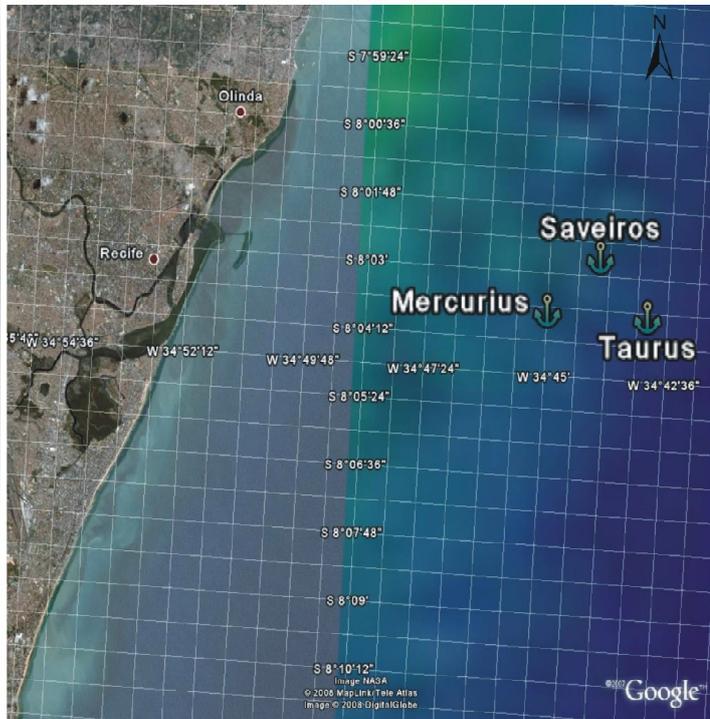
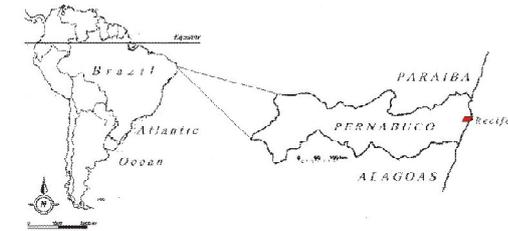
Os parâmetros temperatura e salinidade apresentam-se bastante sazonais, em resposta às flutuações no aporte de rios costeiros. De acordo com Muehe (2006), as águas que cobrem a plataforma continental apresentam temperaturas superficiais entre 27,0 e 28,7°C. Já os valores de salinidade mais elevados são observados em períodos secos e atingem 37,16% enquanto valores mais baixos chegam a 28,8% e são verificados durante o período chuvoso.

2.5 Aspectos geológicos

O Parque localiza-se na plataforma continental pernambucana em profundidades que, segundo Coutinho (1976) correspondem à zona da plataforma média. Esta zona, situada entre 20 e 40 m de profundidade, apresenta relevo bastante irregular. Ainda no que se refere às características morfológicas, a região apresenta uma largura aproximada de 36,96 km, com a quebra da plataforma a uma profundidade em torno de 65m e declividade suave (1:558) (Gorini et al., 1996). Arenitos de praia (beachrocks) são encontrados no local e representam indicadores geológicos de variação do nível do mar (Araújo et al., 2004).

Localização dos Naufrágios do Parque dos Naufrágios de Pernambuco - PNAPE

Localização da área de estudo:



Fonte:
 - Google Earth

Informações sobre os naufrágios:

Naufrágio	<i>Mercurius</i>	<i>Saveiros</i>
Coordenadas Geográficas	08°04'S 34°45'W	08°03'S 34°44'W
Profundidade (m)	30	30
Distância da Costa (milhas náuticas)	8,04	7,93

Figura 1. Localização da área de estudo.
 Figure 1. Index map of the study area.

2.6 Aspectos sedimentológicos

O litoral pernambucano está situado na província sedimentar da costa brasileira que se estende desde Fortaleza (CE) até Cabo Frio (RJ). Esta plataforma apresenta como característica principal a presença de bioclastos (Schmiegelow, 2004). Segundo sua origem, estes sedimentos são classificados como do tipo biogênico, ou seja, compostos por materiais produzidos por organismos, sendo formados a partir da fragmentação de partes duras da biota, tais como conchas, ossos, dentes e tecas e incluem elevados teores de carbonato de cálcio (CaCO_3). De acordo com Carannante et al. (1988), a abundância de sedimentos biogênicos se deve à localização da área na porção da plataforma continental brasileira na qual predominam as algas calcárias verdes (*Halimeda*) seguidas das algas coralíneas ramificadas e dos briozoários e foraminíferos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Procedimento de Campo

Para a realização da análise temporal foram coletadas amostras mensais a uma distância de 4 m de cada bordo dos naufrágios *Saveiros* e *Mercurius*, boreste (BE) e bombordo (BB), conforme esquematizado na Figura 2. Optou-se por realizar a coleta próxima a cada um dos bordos para verificar possíveis alterações sedimentológicas em função da presença da estrutura.

As coletas foram feitas com o uso da técnica de mergulhos autônomos (SCUBA diving) objetivando que o local de amostragem fosse sempre o mesmo, considerando que o uso de dragas do tipo Van Veen poderia acarretar erros espaciais devido, principalmente, à ação de correntes e à conseqüente deriva.

Para acessar o local foram utilizadas as embarcações *Van Gogh* (Aquáticos) e *Adventure* (Seagate). Como acessórios foram usados cabos de amarração para auxiliar na descida.

As amostras de sedimentos foram retiradas da porção superficial do fundo com uso de espátula (Figuras 3 e 4), armazenadas em depósitos plásticos com capacidade volumétrica de 700 g, devidamente identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) para posterior análise.

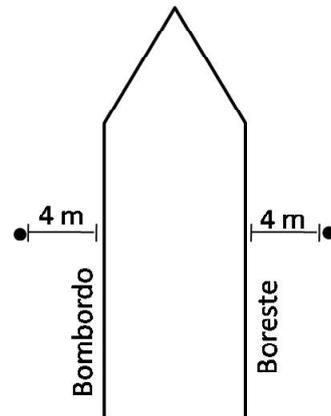


Figura 2. Localização dos pontos de coleta em relação aos naufrágios.

Figure 2. Location of samples sites for shipwrecks.



Figuras 3 e 4. Procedimento de coleta de sedimentos por meio de mergulhos autônomos.

Figures 3 and 4. Procedure for sediment sampling through SCUBA diving.

3.2 Procedimento Laboratorial

As análises granulométricas e a determinação de teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) foram realizadas no LABOGEO, lotado no Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e incluíram as etapas descritas a seguir.

3.2.1 Análise Granulométrica

As amostras de sedimentos coletadas foram analisadas segundo a metodologia de Suguio (1973), a qual inclui: quarteamento e seleção de uma alíquota com 100 g; peneiramento úmido com uso de peneiras com malhas de aberturas de 2 e 0,062 mm; secagem em estufa à temperatura de 60°C, durante 24h; nova pesagem das frações cascalho e areia; peneiramento seco da fração areia em agitador Rot up por 12 min utilizando conjunto de peneiras sedimentológicas de aberturas de malha correspondentes aos limites de Wentworth (1922), modificado por Krumbein (1934) e, por fim, nova pesagem do material retido em cada peneira e no aparador. Em seguida foram estimados os percentuais de ocorrência de cada fração sedimentológica.

Em plataformas dominadas por sedimentos carbonáticos, onde a ocorrência de organismos marinhos como corais e algas calcárias atuam como fontes de sedimentos, o tamanho do grão depende, entre outros fatores, da arquitetura desses organismos (Flügel, 2004), podendo eventualmente ocorrer classes entre 4 e 64 mm (classificadas como cascalho fino, médio e grosso). Contudo, este estudo integrou as frações acima de 2 mm numa única classe denominada de cascalho.

A quantificação da fração fina (< 0,062 mm) foi realizada a partir do cálculo do peso quarteado da amostra (100 g) subtraído do peso total (soma dos pesos retidos em todas as peneiras). Para a classificação granulométrica, os pesos de cada fração obtidos no peneiramento seco e o cálculo da fração fina foram convertidos em informações numéricas e gráficas através do software Sysgran 2.4.

3.2.2 Análise estatística

Os parâmetros estatísticos utilizados foram tendência central, grau de dispersão, assimetria e

curtose. Os mesmos foram obtidos segundo o método sugerido por Folk & Ward (Suguio, 1973), com o uso do software Sysgran 2.4.

3.2.3 Teor de Carbonato

O teor de carbonato de cálcio das amostras de sedimento foi determinado através de método que consiste na dissolução do CaCO_3 por ácido clorídrico (HCl). Assim, alíquotas secas de 10 g de cada amostra bruta foram postas sob reação com solução de HCl 40% a frio. Devido à grande quantidade de bioclastos, a reação durou 24 h, período após o qual, considerou-se todo o CaCO_3 dissolvido.

Após este procedimento, as alíquotas foram lavadas com água destilada por três vezes, levadas à estufa para secagem a 60°C e, depois de secas, aferidas em balança de precisão. A diferença entre as massas inicial e final corresponde à massa de CaCO_3 foi expressa em percentagem.

3.2.4 Análise Multivariada

Os dados referentes aos percentuais de cada fração (cascalho, areia e finos) e de teor de carbonato foram registrados numa matriz e usados para fazer uma análise de similaridade com o uso do software Primer 5.0. Esta análise teve como propósito identificar e integrar compartimentos distintos ao longo do ambiente marinho estudado.

4. RESULTADOS

4.1 Análise temporal

4.1.1 Mercurius

4.1.1.2 Bombordo

A classificação das amostras pela média para Mercurius BB revelou sedimentos pobremente selecionados com predominância da fração areia grossa. A amostra coletada em agosto, no entanto, apresentou como classe mais freqüente os sedimentos com diâmetro de 0,250 mm (2Φ) classificados como areia média, em detrimento da população cascalho (-1Φ), a qual mostrou-se pouco expressiva, representando 7,14% da amostra (Figura 5).

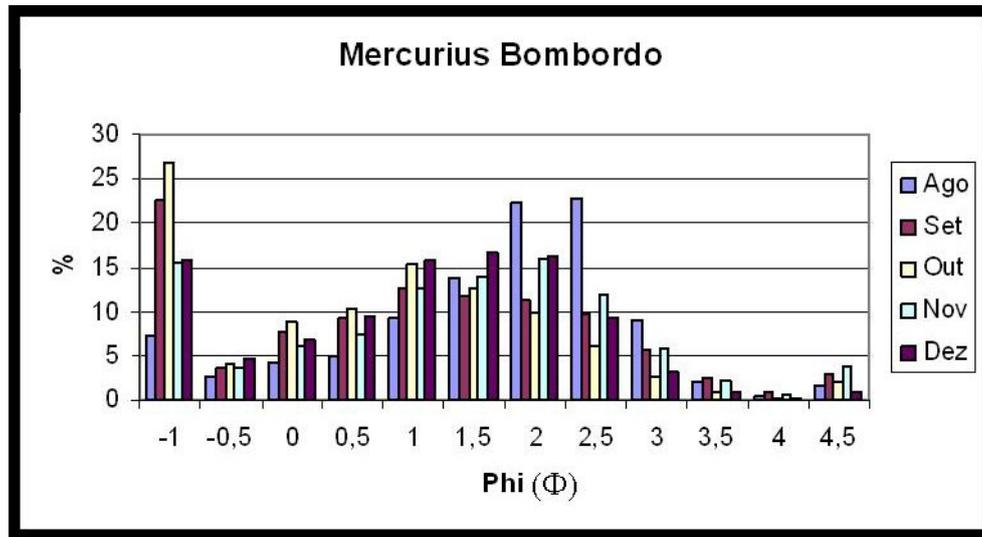


Figura 5. Gráfico de colunas representando a distribuição dos sedimentos nas classes granulométricas Φ do período de agosto a dezembro das amostras Mercurius BB.
 Figure 5. Bar chart representing the distribution of sediments in class size Φ for the period from August to December of samples from Mercurius BB.

As amostras de setembro e outubro apresentaram uma distribuição bastante parecida entre si. A análise modal dessas duas amostras indicou uma bimodalidade na curva, com picos nas populações cascalho (22,58% em setembro e 26,81% em outubro) e areia grossa (12,65% em setembro e 15,35% em outubro). Os meses novembro e dezembro, assim como verificado para setembro e outubro, apresentaram características semelhantes. A bimodalidade se revelou expressiva nas populações cascalho (15,48% em novembro e 15,88% em dezembro) e areia média (16,08% em novembro e 16,29% em dezembro).

4.1.1.2 Boreste

Pela média, as amostras referentes a Mercurius BE foram classificadas como areia grossa, sendo classificadas pela seleção entre moderada e pobremente selecionada (Figura 6).

As distribuições granulométricas de agosto, outubro e novembro apresentaram características semelhantes entre si, apresentando duas populações expressivas: cascalho (-1Φ), representando a maior parte da amostra nos três meses (23,28% em agosto, 23,33% em outubro e 20,28% em novembro) e areia grossa (1Φ), representando a segunda fração mais

frequente (15,13% em agosto, 15,01% em outubro e 15,66% novembro).

As amostras de setembro e dezembro apresentaram como classe mais frequente 1Φ , sedimentos classificados como areia grossa (22,21% em setembro e 19,24% em dezembro). A população cascalho também se mostrou expressiva durante estes meses, representando 10,74% da amostra total de setembro e 10,51% em dezembro.

Todas as amostras coletadas a boreste de Mercurius apresentaram similaridades em relação às duas populações mais frequentes (cascalho e areia grossa). Assim como observado para as amostras de Mercurius BB, a análise modal evidenciou duas classes com frequências expressivas indicando uma bimodalidade na curva do gráfico.

4.1.2 Saveiros

4.1.2.1 Bombordo

Considerando a média como parâmetro de classificação, as amostras deste bordo de Saveiros foram classificadas como areia grossa, à exceção do mês de dezembro, quando predominou a fração areia média (Figura 7). Quanto ao desvio-padrão, os sedimentos foram classificados entre moderada e pobremente selecionados.

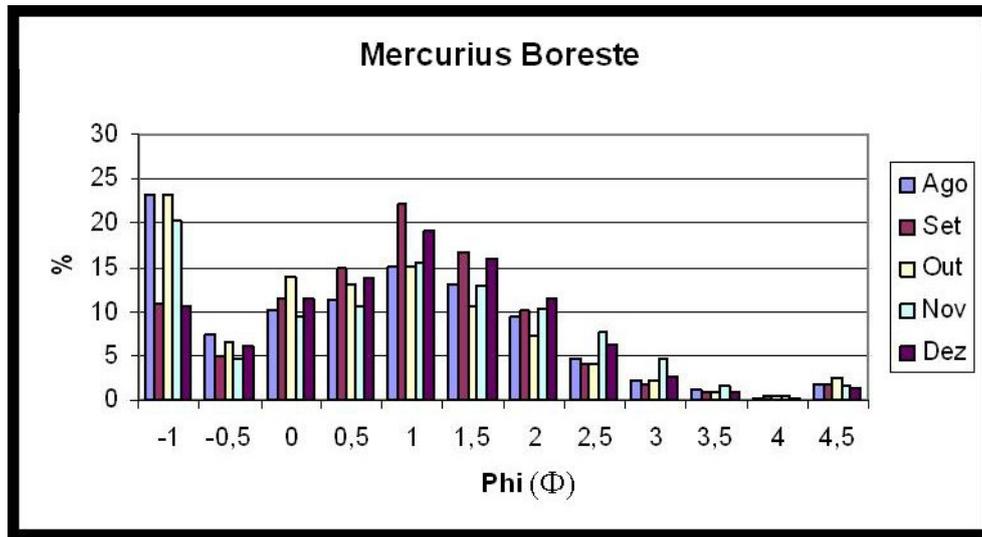


Figura 6. Gráfico de colunas representando a distribuição dos sedimentos nas classes granulométricas Φ do período de agosto a dezembro das amostras Mercurius BE.
 Figure 6. Bar chart representing the distribution of sediments in class size Φ for the period from August to December of samples from Mercurius BE.

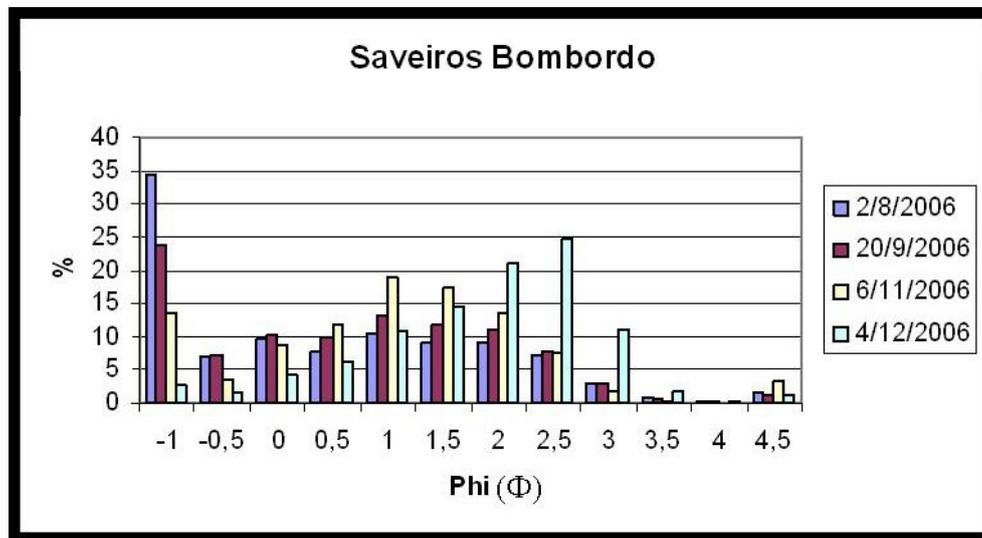


Figura 7. Gráfico de colunas representando a distribuição dos sedimentos nas classes granulométricas durante os meses de agosto, setembro, novembro e dezembro das amostras Saveiros BB.
 Figure 7. Bar chart representing the distribution of sediments in class size Φ during the months of August, September, November and December of samples from Mercurius BE.

A distribuição ao longo dos meses analisados a bombordo do naufrágio Saveiros apresentou variações relevantes. A população cascalho (-1Φ) foi decaindo de agosto a dezembro (34,36% em agosto, 23,77% em setembro, 13,39% em novembro e 2,75% em dezembro), enquanto a população areia grossa foi bem expressiva no período compreendido entre agosto e novembro. No mês de dezembro, a população dominante foi representada pela classe $2,5\Phi$ (areia fina).

4.1.2.2 Boreste

Neste bordo, a classificação segundo a média revelou sedimentos predominantemente pertencentes à população areia média. No que se refere ao grau de seleção, os mesmos, a exemplo do que ocorreu no bordo anterior, se enquadraram nas categorias moderada e pobremente selecionados (Figura 8).

As duas classes mais frequentes das amostras coletadas a boreste de Saveiros foram $2,5\Phi$ e 3Φ para todos os meses analisados. Tais classes englobam areias com diâmetros de 0,125 mm a 0,180 mm classificadas como finas. A população cascalho foi

pouco representativa para este ponto amostral, variando entre 1,98% e 7,82% durante o período analisado.

4.3 Teor de carbonato

A análise do teor de carbonato revelou, para todas as amostras, valores elevados (superiores a 92%), sem importantes variações espaço-temporais. As tabelas a seguir (Tabelas 1 e 2) mostram os valores encontrados para cada uma das amostras próximas aos dois naufrágios estudados.

As amostras mensais de Mercurius apresentaram uma leve distinção de teor de carbonato de cálcio entre os dois bordos, sendo que o bombordo possui taxas em média 1,42% mais altas. O mesmo não se verifica para Saveiros, que não possui um padrão de distinção entre os dois bordos. Saveiros, no entanto, apresentou teores de carbonato mais altos que qualquer amostra coletada no Mercurius (Figura 9).

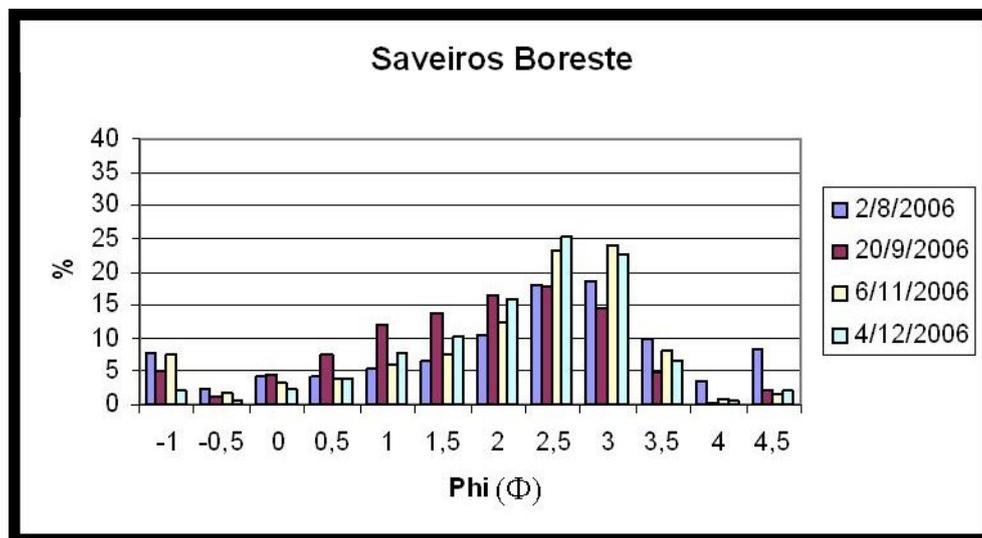


Figura 8. Gráfico de colunas representando a distribuição dos sedimentos nas classes granulométricas Φ durante os meses de agosto, setembro, novembro e dezembro das amostras Saveiros BE.

Figure 8. Bar chart representing the distribution of sediments in class size Φ during the months of August, September, November and December of samples from Saveiros BE.

Tabela 1. Teor de carbonato, em porcentagem, nas amostras mensais a boreste e bombordo do naufrágio Mercurius.

Table 1. Carbonate content, in percentage, in the monthly samples from boreste and bombordo of the shipwreck Mercurius.

<i>Mercurius</i>		
Bordo	Mês	Teor de Carbonato (%)
BB	Ago	94,6
BE	Ago	93,5
BB	Set	95,0
BE	Set	92,9
BB	Out	96,2
BE	Out	93,8
BB	Nov	93,8
BE	Nov	93,9
BB	Dez	95,4
BE	Dez	93,8

Tabela 2. Teor de carbonato, em porcentagem, nas amostras mensais a boreste e bombordo do naufrágio Saveiros.

Table 2. Carbonate content, in percentage, in the monthly samples from boreste and bombordo of the shipwreck Saveiros.

<i>Saveiros</i>		
Bordo	Mês	Teor de Carbonato (%)
BB	Ago	97,9
BE	Ago	98,8
BB	Set	97,8
BE	Set	96,5
BB	Out	Não Amostrado
BE	Out	Não Amostrado
BB	Nov	98,8
BE	Nov	96,3
BB	Dez	97,7
BE	Dez	97,2

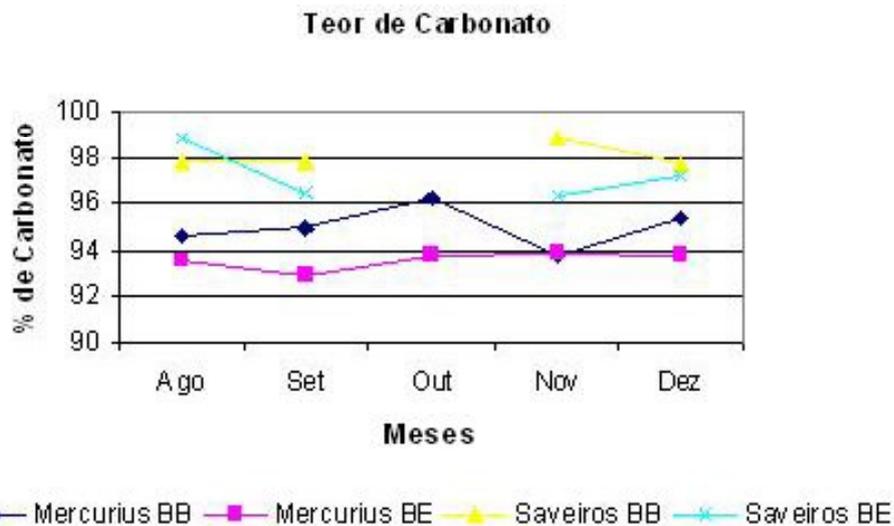


Figura 9. Teor de carbonato em cada bordo de Mercurius e Saveiros (Observação: não houve coleta para Saveiros em outubro).

Figure 9. Carbonate content of each board from Mercurius and Saveiros (Note: there was no sampling for Saveiros in October).

4.4 Análise multivariada

Com base na distribuição espaço-temporal das propriedades sedimentológicas, somente uma amostra se destacou do conjunto, apresentando, ainda assim, grande similaridade com as demais (96%) (Figura 10).

A referida amostra trata-se de Saveiros BE (agosto/2006), a qual se destacou das demais em função de seu elevado percentual de finos (8,4% contra uma média de 2,39% de todas as amostras).

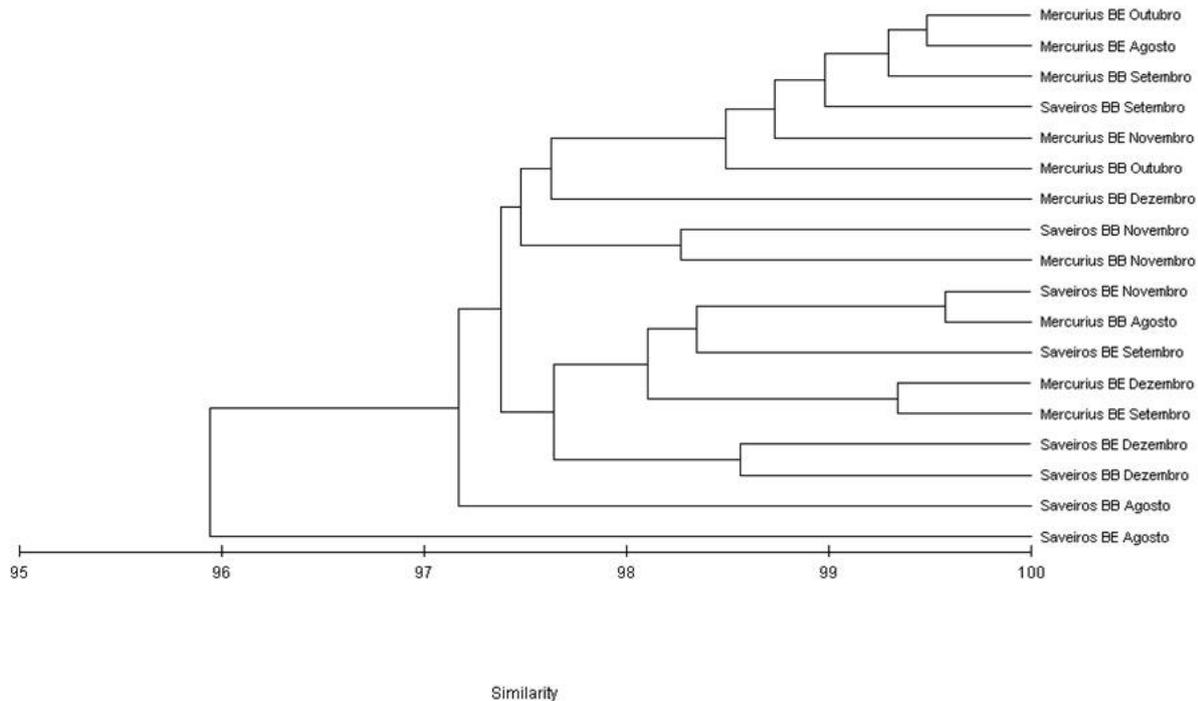


Figura 10. Dendrograma gerado pela análise de similaridade.
Figure 10. Dendrogram generated by the similarity analysis.

5. DISCUSSÃO

Os resultados dos estudos sedimentológicos foram analisados isoladamente em cada naufrágio para inferir sobre sua variação temporal. Cabe advertir, antes de qualquer discussão, que a classificação adotada seguiu os padrões observados pela análise da moda, a exemplo do apresentado por Dias (2004). De acordo com este autor, se a distribuição de partículas a que a curva se refere for constituída por duas ou mais subpopulações distintas, a mesma afasta-se da normalidade estatística e os parâmetros utilizados passam a constituir descritores menos eficientes, ou mesmo ineficientes.

O caso mencionado é observado no comportamento das amostras analisadas, com exceção de uma delas, que teve distribuição considerada normal. Nos demais casos houve comportamento bimodal e as distribuições apresentaram caráter típico de plataformas, que em muito difere dos casos em que as distribuições se aproximam da normalidade. Esta situação é influenciada pelo tipo de sedimento, que é essencialmente bioclástico com granulometria

superior a 2 mm. Portanto, embora os parâmetros estatísticos sejam de grande aplicação em estudos sedimentológicos, foram aqui considerados apenas como uma primeira aproximação ao conhecimento das características granulométricas dos sedimentos da região. Para este estudo a classificação tomou como base a classe de maior frequência.

Comparando todas as amostras coletadas entre si, percebe-se que a distribuição granulométrica seguiu um padrão, no qual é possível identificar em todas as amostras um caráter bimodal com picos na população cascalho e areia média ou grossa (classes limitantes entre si).

Os resultados granulométricos demonstraram, para Mercurius, uma homogeneidade entre os bordos. Em ambos, as frações dominantes foram cascalho e areia grossa e o grau de seleção foi classificado como pobre. Já em Saveiros, observou-se diferença entre os bordos, sendo que BB apresentou predominantemente areia grossa e BE, média. Ambos os bordos apresentaram grau de seleção variável entre moderado e pobre.

No que se refere ao entorno de Saveiros, foram verificadas variações temporais nas características do sedimento. É possível que as variações nas características dos mesmos no ponto amostral - com aumento da proporção de sedimentos biodetríticos granulometricamente classificados como areia fina nas amostras, em detrimento da fração cascalho - estejam relacionadas às modificações na hidrodinâmica local. Esta, por sua vez, decorre do posicionamento do navio, o qual pode ter facilitado a deposição de sedimentos finos a bombordo da estrutura, criando uma zona de sombra no local.

De acordo com Bastos & Veronez (2005) a posição do navio no leito marinho, de forma geral, influencia na remobilização dos sedimentos. Os mesmos autores concluíram que no caso do navio Victory, afundado no sudeste do Brasil, a ausência de uma influência maior sobre os processos que ocorrem no entorno se deve ao posicionamento do navio, paralelo às correntes predominantes na área, minimizando as alterações sobre os processos que atuam no fundo. É possível que esteja acontecendo o mesmo para Mercurius, uma vez que de acordo com Hazin & Araújo (2007) as correntes locais apresentam sentido paralelo à costa e ao posicionamento do navio, variando apenas sua direção de nordeste para sudoeste ao longo dos meses do ano.

Ainda no que se refere às alterações hidrodinâmicas, embora este trabalho não tenha contemplado a correntometria, em estudo realizado previamente ao afundamento das embarcações, Hazin & Araújo (2007) colocam que não são esperados impactos significativos quanto ao regime hidrodinâmico e de transporte de sedimentos em virtude do afundamento dos rebocadores, haja vista serem estruturas de pequeno porte e incapazes de causar bloqueio na corrente costeira

Os resultados das análises sedimentares das adjacências dos dois pontos de afundamento indicam uma constituição, em sua maioria, de sedimentos grossos compostos de material biogênico, o que é confirmado pelo teor de CaCO_3 nas amostras analisadas. Esta constatação, somada à observação visual das amostras, permite inferir que a composição de fundo na área estudada é constituída, essencialmente, por cascalho de Halimeda e Lithothamnium, entre outras algas calcárias, podendo-se ainda observar uma pequena quantidade de corais.

Os elevados percentuais de cascalho encontrados em todos os pontos amostrais estão associados à presença de fragmentos de organismos e de seus tamanhos. As constatações estão de acordo com aquelas feitas por Coutinho (1995), que caracterizou esta porção da plataforma como predominantemente carbonática e, ainda, com as características de plataformas cobertas por sedimentos biogênicos e biodetríticos, onde ocorre intensa atividade organogênica e pouca influência continental. Sendo um dispositivo de atração e agregação da biota, um naufrágio aumenta a complexidade ambiental, em geral incrementando a atividade biológica em seu entorno e, ainda, atuando como fonte de nutrientes para a coluna d'água, de tal forma que o esperado seria de fato um incremento dos teores de CaCO_3 nos sedimentos dos entornos. O mesmo autor menciona as algas calcárias verdes (Halimeda) e as algas coralinas ramificadas (Lithothamnium) como principais responsáveis pela abundância desses sedimentos no local, o que é corroborado por levantamento biológico paralelo a este estudo sedimentológico e que, através da identificação taxonômica, observou que o grupo predominante de algas calcárias foi a Melobesiae, tendo a família Corallinaceae a maior representatividade, e Halimeda (Hazin & Araújo, 2007).

A influência da estrutura submarina na composição geoquímica dos sedimentos do local não pode ser melhor discutida neste momento, pois não há maiores informações de controle que possam ser usadas como referência para a caracterização da região previamente ao afundamento. É fato que, a exemplo do que acontece em outros naufrágios (Bastos & Veronez, 2005) a atividade biológica abundantemente presente na estrutura do navio pode estar atuando como fonte de sedimentos carbonáticos, pois determinados organismos fornecem constantemente suas carapaças ou seus esqueletos carbonáticos para o sedimento. Para confirmar esta possibilidade, no entanto, seriam necessárias, além de informações prévias, uma amostragem temporal mais extensiva e uma estratégia amostral distinta, que permitisse uma análise radial.

A análise de similaridade entre os parâmetros percentuais de cascalho, areia e finos e teor de CaCO_3 de todas as amostras revelou grande similaridade entre elas. A mesma confirma as pequenas variações entre as estações, entre os meses e também a constância da

bimodalidade das curvas de distribuição granulométrica e dos elevados teores de CaCO_3 . Uma única amostra se dissocia, correspondendo ao mês de Agosto. Diante da constatação e com base nos dados de pluviometria para o ano de 2006 é possível especular que o elevado percentual de finos pode estar relacionado à maior pluviosidade do mês de agosto (Figura 11), o qual representa o final do período das chuvas, que tem início em março. Um maior índice pluviométrico indica uma drenagem continental mais eficiente e uma maior descarga de água doce e sedimentos terrígenos para a plataforma continental, contribuindo para a dissociação da amostra deste mês em relação aos demais.

5. CONCLUSÕES

Como destaques, citam-se duas observações importantes: a primeira está relacionada à variação temporal expressiva verificada para a fração cascalho em Saveiros (BB), sendo que no bordo oposto, tal variação foi pouco pronunciada. Os percentuais de cascalho encontrados neste ponto foram, em geral, menores do que nos demais pontos amostrais. A segunda constatação é de que os resultados do monitoramento das características granulométricas mostraram pouca variação temporal nos dois bordos de Mercurius, o que demonstra que o navio não está

influenciado significativamente os sedimentos de fundo

A opção pela análise da moda mostrou-se adequada aos objetivos do estudo devido à bimodalidade das curvas de distribuição, a qual se revelou comum nos dados obtidos. A eficiência dos pacotes de estatística multivariada deve ainda ser lembrada, tendo em vista as possibilidades oferecidas por estas ferramentas. Conforme atestado no presente estudo, uma das facilidades é a identificação de unidades com as mesmas características sedimentológicas, ou unidades sedimentares homogêneas.

Os resultados obtidos até o momento não só elucidam importantes questões no que tange à caracterização dos ambientes sedimentares da plataforma continental pernambucana junto ao Parque dos Naufrágios Artificiais, como também atestam a eficiência do uso do mergulho autônomo como ferramenta para amostragens geológicas em áreas de pequenas dimensões. Ressalta-se que, apesar das dificuldades – turbidez da água, correntes intensas junto ao fundo, erros de amostragem nas etapas iniciais do Projeto - tal técnica oferece segurança e baixo custo se comparada às metodologias de arrasto.

Ainda no que diz respeito ao método de amostragem, o mergulho autônomo mostrou-se uma

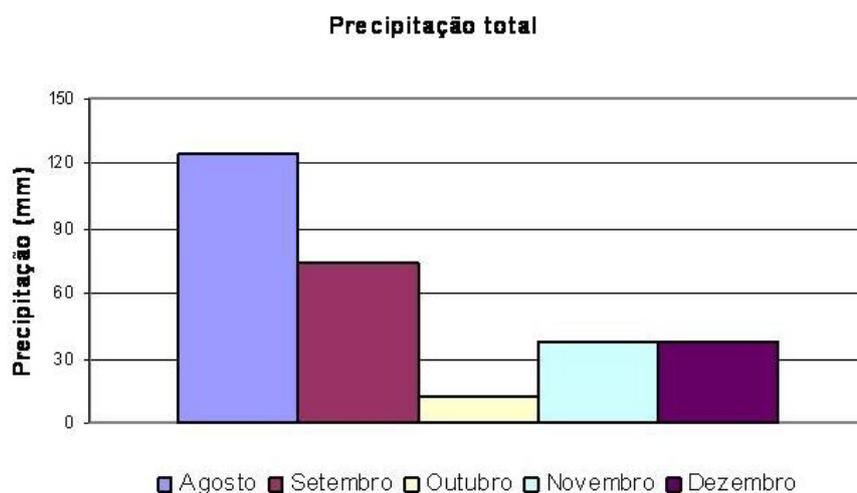


Figura 11. Precipitação nos meses amostrados (Fonte: www.redegoverno.gov.br).

Figure 11. Rainfall during the sampled months (Source: www.redegoverno.gov.br).

técnica adequada ao estudo por se tratar de uma área bem específica e muito próxima aos bordos dos naufrágios, o que requer precisão no ato da coleta. O uso de amostrador do tipo Van Veen poderia acarretar erros de localização proporcionados pela precisão de equipamentos GPS e pelas correntes marinhas atuantes. Ademais, tal forma de amostragem representa um impacto ambiental mais ameno em relação às metodologias que utilizam amostradores do tipo draga.

O conhecimento das características sedimentares do ambiente, assim como do tipo de deposição e da taxa de sedimentação, é essencial para a compreensão dos processos de colonização e permanência da biota numa estrutura recentemente posicionada no fundo marinho. Assim, ressalta-se a importância da continuidade no acompanhamento da sedimentação ao longo do tempo para que o uso deste tipo de estrutura como ecossistema marinho possa ser embasado cientificamente e recomendado, quando couber. Outra possibilidade oferecida por esse tipo de estudo é a detecção de áreas de maior ou menos potencial biológico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IBAMA, CPRH, Marinha do Brasil, Capitania dos Portos de Pernambuco, Agência Wilson Son's e as operadoras de mergulho Aquáticos e Seagate pelo apoio ao Projeto. São gratos também aos demais integrantes da equipe do projeto PNape pelo apoio no procedimento de campo.

BIBLIOGRAFIA

- Alencar C.A.G., Silva, A.S. & Conceição R.N.L. (2003) - Texto Básico de Nivelamento Técnico Sobre Recifes Artificiais Marinhos. <http://www.marbrasil.org/marbrasil/admin/arquivos/biblioteca/Recifes%20Artificiais.pdf>. Brasília, Brasil. (Acedido em Ago06).
- Araújo, F.G & Brotto, D.S. (1997) - Uso de estruturas artificiais como habitat por organismos marinhos. Anais do VII Congresso Latino Americano sobre Ciências do Mar, 1:46-47.
- Araújo, T.C.M., Seoane, J.C.S. & Coutinho, P.N. (2004) - Geomorfologia da plataforma continental de Pernambuco. In: Eskinazi-Leça, E., Neumann-Leitão, S. & Costa, M.F. (eds), *Oceanografia: um Cenário Tropical*, pp. 39-57, ed. Bagaço, Recife, Brasil.
- Bastos, A.C. & Veronez, J.R. (2005) - Monitoramento Ambiental. "Projeto Recifes Artificiais Marinhos (RAM): Victory 8B", Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, UFES, 2º Relatório, 171 p., Vitória, Brasil. <http://www.dern.ufes.br/oceano/Victory8B.htm>. (Acedido em Nov06).
- Bohnsack, J. A., Ecklund, A.M. & Szmant, A.M. (1997) - Artificial reef research: is there more than the attraction production issue? *Fisheries*, 22: 14-16.
- Branden, K.L., Pollard, D.A. & Reimers, H.A. (1994) - A review of an artificial reef, recent developments in Australia. *Bulletin of Marine Science*, 55(2):982-994.
- Brandini, F.P. (2000) - Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off Southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). *Hydrobiologia*, 196:111-148.
- Carannante, G., Esteban, H., Milliman, J.D. & Simone, L. (1988) - Carbonate lithofacies as paleoatidade indicators: problems and limitations. *Sedimentary Geology*, 60(1): 333-346.
- Chou, L.M. (1997) - Artificial reefs of southeast Asia - do they enhance or degrade the marine environment? *Environmental Monitoring and Assessment*, 44:45-52.
- Conceição, R.N.L. & Monteiro Neto, C. (1998) - Recifes Artificiais Marinhos. *Biotecnologia*, 6:14-17.
- Coutinho, P.N. (1976) - Geologia marinha da plataforma continental Alagoas-Sergipe. Dissertação de Doutorado, 119p., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Coutinho, P.N. (1995) - Sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira. *Revista de Geologia*, 1(1/2):1-18.
- CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2003) - Diagnóstico Sócio-ambiental do Litoral Sul de Pernambuco. In: <http://www.cprh.pe.gov.br>. (Acedido em Ago06).
- Dias, J.A. (2004) - A Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos: uma introdução à oceanografia geológica. (Versão Preliminar). <http://w3.ualg.pt/>

- jdias/JAD/e_books.html. Faro, Portugal. (Acedido em Nov06).
- Flugel, E. (2004) – *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. 976 p., Springer, Berlin, Heidelberg.
- Godoy, E.A.S. & Coutinho, R. (2002) - Can artificial beds of plastic mimics compensate for seasonal absence of natural beds of *Sargassum furcatum*? *Journal of Marine Science*, 59:111-115.
- Gorini, M.A., Souza, E.A., Silva, C.G. & Alves, E.C. (1996) - Geomorfologia e distribuição de sedimentos da plataforma continental entre Natal (RN) e Rio de Janeiro (RJ): Uma re-interpretação com base em dados pré-existentes. *Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia*, 3:454-456.
- Hazin, F.V. & Araújo, M.E. (2007) - Acompanhamento do processo de colonização e ocupação biológica dos naufrágios Taurus, Mercurius e Saveiros. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Relatório Parcial, 24 p. Recife, Brasil.
- Jensen, A.C. (2002) - Artificial reefs in Europe: Perspective and future. *ICES Journal of Marine Science*, 59:3-13.
- Johnson, T.D., Barnett, A.M., De Martini, E.E., Craft, L.L., Ambrose, R.F., & Purcell, L.J. (1994) - Fish production and habitat utilization on a southern California artificial reef. *Bulletin of Marine Science*, 55(2):709-723.
- Kim, C.G., Lee, J.W., Park, J.S. (1994) - Artificial reef designs for Korean coastal waters. *Bulletin of Marine Science*, 55(2):858-866.
- Krumbein, W.C. (1934) – Size frequency distributions of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4:65-77.
- Lee, J.W. & Kang, Y.S. (1994) - Variations of fish community and fish density on artificial reefs. *Bulletin of Korean Fish*, 27(51):535-548.
- Macêdo, S.J., Muniz, K. & Montes, M.J.F. (2004) - Hidrologia da região costeira e plataforma continental do Estado de Pernambuco. In: Eskinazi-Leça, E., Neumann-Leitão, S. & Costa, M.F. (eds), *Oceanografia: um Cenário Tropical*, pp. 255-286, ed. Bagaço, Recife, Brasil.
- Manso, V.A.V., Coutinho, P.N., Guerra, N.C. & Soares, C.F.A. (2006) - Pernambuco. In: Muehe, D. (ed), *Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro*, pp. 179-196, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil.
- Muehe, D. (2006) - Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro. <http://www.mma.br>. Brasília, Brasil. (Acedido em Jan07).
- Munro, J.L. & Balgos M.C. (1995) - Artificial Reefs in the Philippines. 56p., ICLARM Conf. Proc., Rome, Italy.
- Nakamura, M. (1985) - Evolution of artificial fishing reef concepts in Japan. *Bulletin of Marine Sciences*, 37:271-278.
- Oliveira, J.A.R. (2000) - Estudo do comportamento sedimentológico e morfodinâmico entre as praias de Porto de Galinhas e Gamboa, Litoral Sul de Pernambuco. Dissertação de Mestrado, 171 p., Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Pagliosa, P.R. (2006) - Distribuição da macrofauna bêntica do entremarés ao sublitoral em uma praia estuarina da Baía da Babitonga, sul do Brasil. *Biotemas*, 19(1):25-33.
- Polovina, J.J. (1991) - Ecological considerations on the applications of artificial reefs in the management of artisanal fishery. *Trop. Coastal Area Manage*, 6(1/2):1-4.
- Santos, D.C. dos, Hazin, F.V., Fisher, A.F., Feitosa F.N. & Araújo, M.A. (2008) - The creation of a shipwreck park off the coast of Pernambuco, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 3(1):91-97.
- Schmiegelow, J.M.M. (2004) - O planeta azul: uma introdução às ciências marinhas. 202 p., Editora Interciência, Rio de Janeiro, Brasil.
- Seaman, W. & Seaman W.Jr. (2000) - Artificial reef evaluation with application to natural marine habitats. 246 p., CRC Press, New York, USA.
- Seaman, W.Jr. & Sprague, L.M. (1991) - *Artificial Habitats for Marine and Freshwater Fisheries*. 285 p., Academic Press, Florida, USA.
- Suguio, K. (1973) - *Introdução à sedimentologia*. 310 p., Edgard Blücher, São Paulo, Brasil.
- Thierry, J.M. (1988) - Artificial reefs in Japan - a general outline. *Aquacultural Engineering* 7: 321-348.
- Wentworth, C.K. (1922) - A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5):377-392.
- Zalmon, I.R., Novelli, R., Gomes, M.P. & Faria, V.V. (2002) - Experimental results of an artificial reef programme on the Brazilian coast north of Rio de Janeiro. *ICES Journal of Marine Science*, 59: 83-87.