



CAPÍTULO XIX

**PROTEÇÃO COSTEIRA COM O USO DO DISSIPADOR DE
ENERGIA BAGWALL NA PRAIA DE PAU AMARELO, PAULISTA,
PERNAMBUCO, BRASIL**

PROTEÇÃO COSTEIRA COM O USO DO DISSIPADOR DE ENERGIA BAGWALL NA PRAIA DE PAU AMARELO, PAULISTA, PERNAMBUCO, BRASIL

Marco A. L. Souza¹ & Marco A. L. Souza Filho²

¹Engenheiro, Consultor Associado *Green Consult* do Brasil, Condomínio Aldebaran Ômega, Quadra – I, 26, Jardim Petrópolis, CEP 57080-548, Maceió, Alagoas, Brasil. marcolyra2@yahoo.com.br

²Engenheiro, Diretor Técnico da Construtora Ômega Ltda., Condomínio Aldebaran Ômega, Quadra – I, 26, Jardim Petrópolis, CEP 57080-548, Maceió, Alagoas, Brasil. mlyrafilho@hotmail.com

RESUMO

O problema da erosão costeira no litoral do Paulista não foi corretamente sanado pelas inúmeras obras de proteção que foram edificadas nas décadas de 1990 e 2000. A construção de estruturas rígidas artificiais, aliada às alterações do suprimento sedimentar das praias, contribuiu para um recuo médio de 100 m da linha de costa do litoral de Paulista ao longo dos últimos 10 anos. Na década de 90, foram construídos espigões, quebra-mares e engorda artificial na praia do Janga. Após a construção das referidas obras, quatro trechos da orla intervencionada apresentaram forte processo erosivo numa extensão de 0,7 km. Ocorreu também a transferência do processo erosivo para a vizinha praia de Pau Amarelo, provocando destruição numa extensão de aproximadamente 5 km. Com o agravamento do problema da erosão na orla do Paulista, inclusive ameaçando o histórico Forte de Pau Amarelo, a Prefeitura Municipal utilizou como mitigação a construção de um Dissipador de Energia Bagwall, para contenção da erosão costeira na praia de Pau Amarelo. Este trabalho apresenta os resultados positivos obtidos após um ano da construção da referida obra de contenção, através do diagnóstico feito no monitoramento da área antes, durante e após a conclusão da intervenção, indicando que a estrutura rígida construída na praia cumpriu seu papel durante o período monitorado, cujo objetivo

principal foi a contenção do recuo da linha de costa.

Palavras-chave: Dissipador de energia; obra costeira; estrutura rígida; proteção costeira.

ABSTRACT

The problem of coastal erosion along the Paulista coastline was not correctly remedied by the numerous coastal works that were built in the 1990s and 2000s. The construction of artificial rigid structures, coupled with changes in the sedimentary supply of the beaches, contributed to an average retreat of 100 m from the coastline of the Paulista's coast during the last 10 years. In the 90's, spikes, breakwaters and artificial fattening were built on the Janga beach. After the construction of these works, four stretches of the intervened border presented a strong erosive process in an extension of 0.7 km. There was also the transfer of the erosive process to the neighboring beach of Pau Amarelo, causing destruction in an extension of approximately 5 km. With the worsening of the problem of erosion along the Paulista waterfront, including threatening the historic Pau Amarelo Fort, the City Hall used as a mitigation the construction of a Bagwall Energy Dissipator to contain coastal erosion on the Pau Amarelo's beach. This work presents the positive results obtained after one year of the construction of the aforementioned work, through the diagnosis made in the

monitoring of the area before, during and after the conclusion of the intervention. The results indicate that the rigid structure built on the beach fulfilled its goal during the monitored period, whose main objective was the containment of the coastline retreat.

Keywords: Energy dissipator; coastal works; hard structure; coastal protection.

INTRODUÇÃO

As praias do Janga e Pau Amarelo encontram-se ao norte do porto de Recife, no município do Paulista, estado de Pernambuco.

Paulista faz parte da Região Metropolitana de Recife (Figura 1). A distância do município para a capital de Pernambuco é de 17 km. Com uma população de 306.239 habitantes, suas belas praias são um forte atrativo econômico para o desenvolvimento do turismo na região.

Estudos ressaltaram que aproximadamente 1/3 das praias do litoral de Pernambuco são atingidas pela erosão marinha, sendo o município do Paulista um dos mais afetados e, conseqüentemente, um dos mais artificializados por obras rígidas de proteção costeira (MANSO et al., 2006).

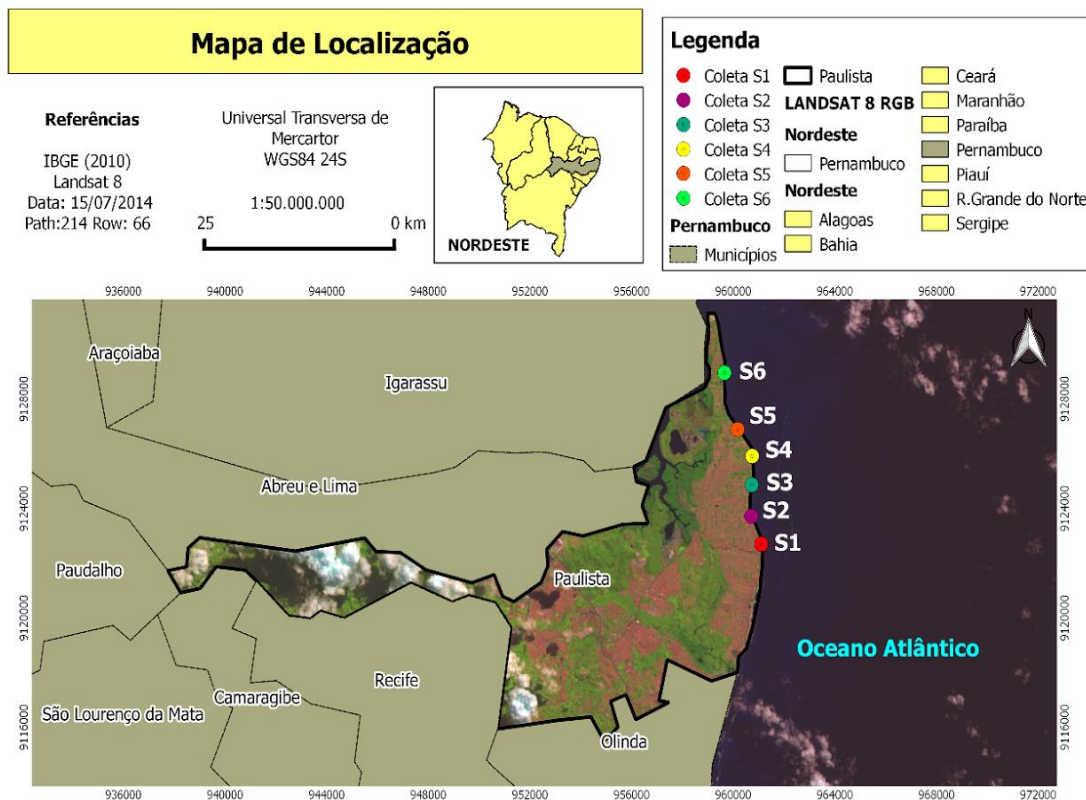


Figura 1 – Mapa de localização da Cidade do Paulista, Pernambuco.

Na década de 90, foi construído na praia do Janga um conjunto de nove quebra-mares para proteger o terreno e a praia, modificando a deriva litorânea e desempenhando uma parcial proteção da linha de costa. Além dos quebra-mares a praia possui enrocamentos aderentes, muros e um aterro hidráulico.

As obras de proteção costeira construídas na praia do Janga criaram o chamado “efeito dominó”, transferindo o processo erosivo para a praia de Pau Amarelo, provocando sérios danos ao patrimônio público, privado e ambiental, ameaçando inclusive o histórico forte de Pau Amarelo.

A construção de estruturas rígidas artificiais, aliada às alterações do suprimento sedimentar das praias, e às mudanças na configuração das cotas batimétricas na plataforma continental adjacente contribuíram para um recuo médio de 100 m da linha de costa do litoral do Paulista ao longo dos últimos 10 anos (OLIVEIRA et al.,2011).

O problema da erosão costeira no litoral do Paulista não foi corretamente sanado pelas inúmeras obras de proteção que foram edificadas nas décadas de 1990 e 2000.

O uso de geossintéticos em projetos de engenharia para proteção costeira (NEVES, 2003), a crescente demanda por obras de proteção costeira no litoral do Brasil e os resultados positivos obtidos nas quatro obras realizadas com o uso do *Bagwall* no litoral de Alagoas decorrem do melhor custo/benefício (SOUZA, 2008) e levaram o município do Paulista a optar por esta nova tecnologia de contenção.

No livro “Recuperação de praias e dunas” (NORDSTROM, 2010), o autor aponta a necessidade de se buscar uma maior eficácia nas ações para encontrar soluções que tragam benefícios ambientais no controle da erosão costeira.

Em 2013, com o agravamento do forte processo erosivo na praia de Pau Amarelo, a Prefeitura do Paulista adotou em caráter emergencial, como solução técnica para proteção costeira, a construção de um dissipador de energia *Bagwall* para conter a erosão marinha numa extensão de 2,7 km (Figura 2).

METODOLOGIA

O dissipador de energia *Bagwall* utilizado na praia de Pau Amarelo é uma obra de engenharia aderente e longitudinal à linha de costa, rígida e articulada, que utiliza forma geotêxtil preenchida com concreto bombeado (SAATHOFF & WITTE, 1994), contém o processo erosivo no local da erosão e, por dissipar a energia das ondas, não transfere o processo erosivo para áreas adjacentes.



Figura 2 – A) Área degradada em frente ao forte de Pau Amarelo antes da construção do *Bagwall*; B) Área recuperada após a construção do *Bagwall* no mesmo local.

Antes do início das obras foram realizados perfis de praia com o objetivo de monitorar a área intervencionada e as praias adjacentes à estrutura de contenção, sendo definidas seis seções de monitoramento, designadas por S1, S2, S3, S4, S5 e S6 (Figura 3 e Tabela 1).

Foi utilizado o método das balizas (EMERY,1961), que consiste na realização de perfis perpendiculares à linha de praia, começando no limite interno da praia, indo até o início da arrebentação das ondas, para registrar a topografia da praia no momento da observação.

Monitoramento

O monitoramento da área intervencionada foi feito através de serviços de batimetria e modelagem numérica. Foram realizadas mensalmente coleta e análise mensal de sedimentos na praia, e levantamento dos perfis de praia.

Todos os perfis foram referenciados ao Zero Hidrográfico definido pela Diretoria de Hidrografia

e Navegação da Marinha – DHN, e também georeferenciados com auxílio de um DGPS (*Differential Global Positioning System*) com precisão de ± 5 mm. Os perfis topográficos foram executados obedecendo ao método da estadia (Birkmeier, 1981). O Referencial de Nível (RN) de cada perfil, isto é, a cabeça, ou o ponto inicial do perfil, foi estabelecido num ponto que não sofra alterações altimétricas devido à ação marinha. A referência utilizada para calcular as cotas altimétricas do terreno (diferença de nível) foi o nível do mar. Isso foi possível a partir da transposição de cotas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Batimetria

Foram realizados 70 perfis na direção E-W, seguindo uma malha de 100 metros de intervalo, somando aproximadamente 262 km percorridos (Figuras 4 e 5). Os dados levantados foram filtrados e corrigidos de acordo com a altura de maré. Em complemento aos dados de batimetria em detalhes coletados *in-situ*, foram também utilizados os dados batimétricos da carta da DHN para complemento da região oceânica mais externa à região costeira levantada (Figura 6). Essas informações foram também consideradas na grade do modelo para geração dos resultados da simulação numérica (dinâmica de correntes e ondas).

Tabela 1 – Localização geográfica dos perfis de praia.

Seção de controle	Coordenadas (sistema geodésico SAD69)	
	Latitude	Longitude
S1	299365	9123913
S2	299094	9125159
S3	298876	9125626
S4	298789	9125965
S5	298876	9131439
S6	297722	9131439



Figura 3 – Localização dos mapas de localização da Cidade do Paulista, Pernambuco.

Modelagem numérica

Para o forçamento do modelo/simulação da dinâmica na região foi feito um estudo do clima de ondas na região, além dos estudos realizados anteriormente para a região do litoral de

Pernambuco (Projeto MC-ONDAS/NE). Optou-se então por se fazer a análise estatística de ondas através do programa, passando a desenhar a grade descrita acima com base no conhecimento prévio do clima de ondas da região de estudo, e resultados de simulações compatíveis com as características do clima de ondas na região (Figura 7).

RESULTADOS

Modelagem numérica

Para o cálculo do transporte de sedimentos nos perfis de praia desenhados, foi escolhida a formulação de CERC (1984). Obtiveram-se os resultados que eram esperados, e que foram confirmados pelas simulações feitas pelo modelo, mostrando que a área de interesse, situada entre dois bancos de arrecifes naturais, e naturalmente exposta à maior ação erosiva das

ondas, tem a tendência de erosão continuada ao longo do ano, ou seja, não está em equilíbrio dinâmico (Figura 8). Esta área, situada na Praia de Pau Amarelo, em Paulista, é a que apresenta a maior problemática de erosão, e possui grande número de obras rígidas de contenção construídas à beira-mar, como muros de concreto e enrocamento aderente. Nota-se, na Figura 8, que se tem uma tendência de divergência de transporte entre os perfis P4 e P5, sendo o fluxo de transporte de sedimentos é positivo ao norte e negativo ao sul após o Forte de Pau Amarelo.

Análise dos perfis de praia

Analisando os resultados apresentados a seguir, foram considerados os levantamentos topográficos realizados de forma não contínua (entre 2012-2013) e continuamente (no ano de 2014) em seis seções (S1 – S6) previamente distribuídas no litoral de Paulista, estado de Pernambuco. A definição das seções ocorreu de forma a atender área do trecho costeiro com e sem obras de proteção (Tabela 2). No total foram analisados 77 levantamentos.

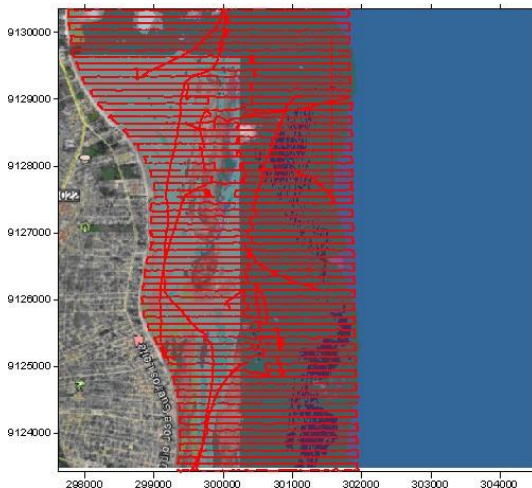


Figura 4 – Malha batimétrica em detalhe: Setenta (70) perfis na direção E-W, com 100 metros de intervalo, somando aproximadamente 262 km percorridos.

Considerando os perfis de praia realizados no início (2012-2013) e no final (Dezembro de 2014)

do monitoramento, verificam-se diferentes tendências na mobilidade dos perfis.

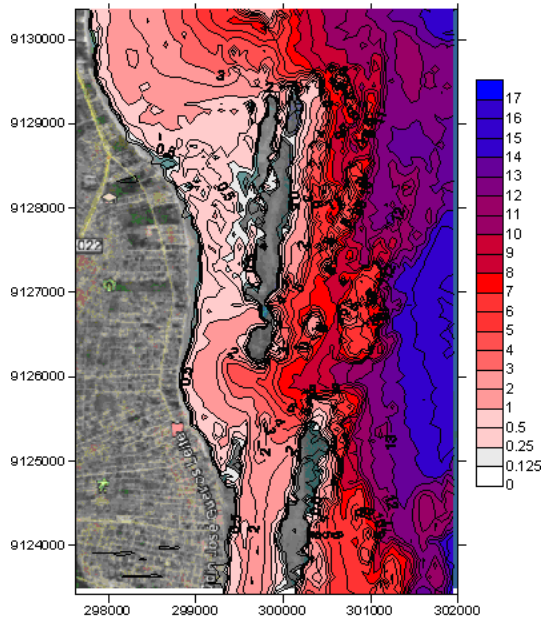


Figura 5 – Carta batimétrica originada com os dados coletados na região de estudo (fevereiro/2014).

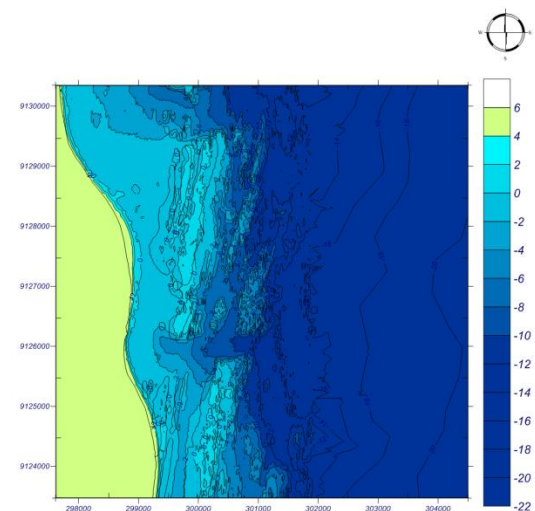


Figura 6 – Carta batimétrica originada com os dados coletados mais complemento dos dados da região oceânica mais externa, obtidos da carta náutica da DHN.

A análise dos perfis monitorados indica que há uma intensa transferência longitudinal e transversal de sedimentos (Figura9), permitindo identificar a transferência de material entre seções (Birkmeier, 1984).

Todas as alterações observadas numa análise geral da variação do volume sedimentar ao longo das seções estudadas (Figura 10). Observou-se que as variações volumétricas ao longo do monitoramento apresentaram boa relação com os processos costeiros dinâmicos característicos da região. Entre as seções

monitoradas, a que apresentou maior volume sedimentar foi a seção 3, enquanto a de menor expressão foi a S6. Entretanto, tal fato não limitou a mobilidade do perfil na S6, configurando-a como a seção de maior dinâmica dos perfis.

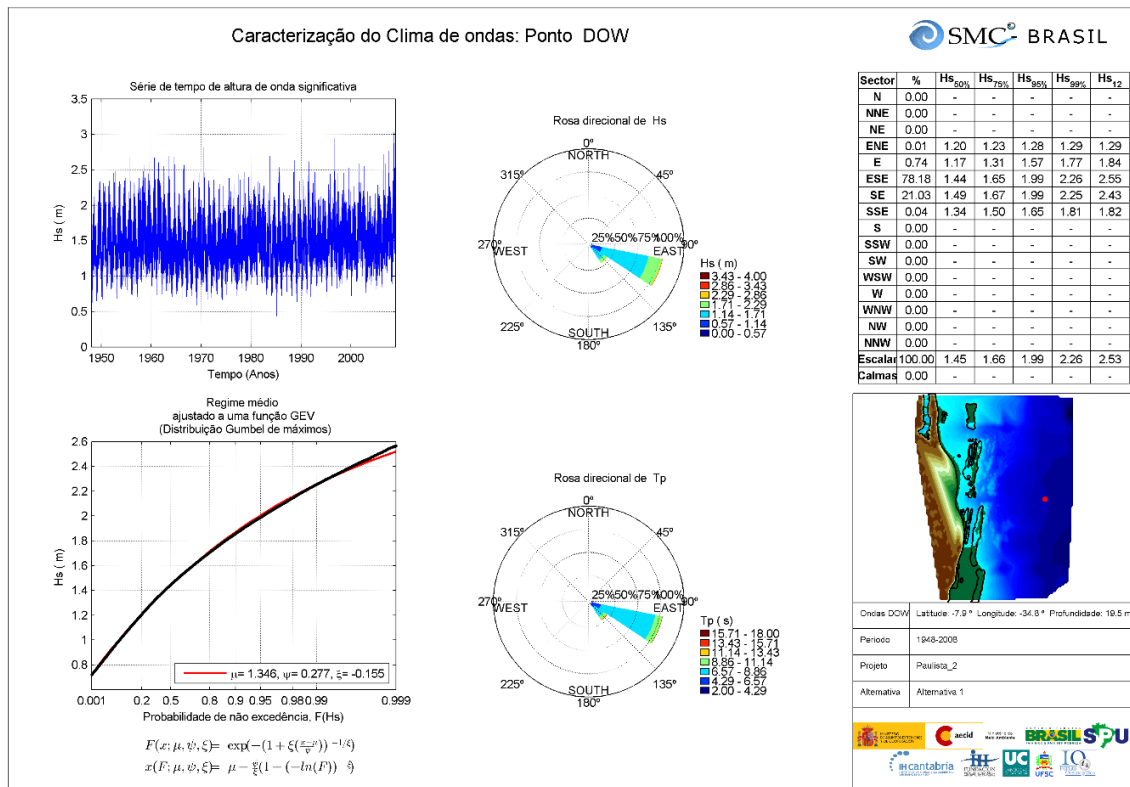


Figura 7 – Relatório gerado do clima de ondas na região de estudo (Fonte: SMC-tools).

Alterações do volume sedimentar antes e após a implantação da obra de proteção

As alterações mencionadas anteriormente podem ser todas sintetizadas através da Figura 11. Na seção 2, foi notável a redução no volume sedimentar do perfil após a implantação da estrutura rígida. Na seção 3, observando-se os meses de Maio/14 e Dezembro/2014, foi observado que após diversas alterações no volume, a praia tem praticamente o seu volume estabilizado na situação final em relação à inicial. Na seção 4, após a implantação da estrutura, o perfil teve seu volume aumentado (Maio e Junho/2014), seguido de intensa erosão nos meses subsequentes, até registrar nova

acumulação no perfil final. Finalizando, o setor 5 apresentou em relação à situação inicial considerável diminuição no volume sedimentar. A administração municipal atualmente desenvolve o monitoramento desse setor após a construção da estrutura, para o melhor entendimento das alterações provocadas pela intervenção.

Mobilidade do limite interno do terraço de maré

A mobilidade do limite interno do terraço de maré pode refletir, ao longo do tempo, na variabilidade espacial do Zero Hidrográfico (ZH). Tal variabilidade é condicionada diretamente pela variação vertical do nível de areia no perfil,

resultando na sua elevação ou rebaixamento. A análise da posição do ZH é importante para o entendimento não apenas da morfodinâmica da

praia, mas também da sua influência no incremento do alcance máximo da onda (Dias, 2004).

Transporte Anual de Sedimentos na praia de Paulista - PE (do Forte de Pau Amarelo até o Hotel Casa Blanca)

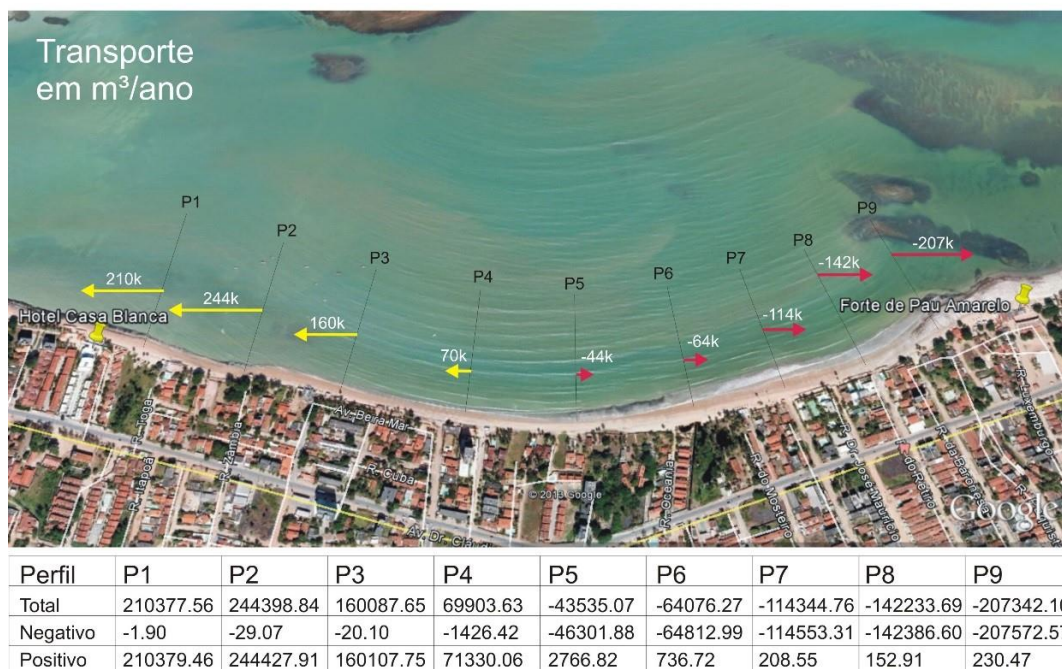


Figura 8 – Cálculo do transporte médio anual de sedimentos nos perfis de praia selecionados.

Tabela 2 – Características do monitoramento das seções S1 até S6 no litoral de Paulista.

Seção	Nº de perfis realizados	Tipo de obra limitante	Período da construção
S1	12	Enrocamento	-
S2	14	Bagwall	Outubro/2013
S3	14	Bagwall	Junho/2014
S4	12	Bagwall	Maior/2014
S5	13	Bagwall	Setembro/2014
S6	12	Sem obra	-

As menores variações foram observadas no perfil de S1, onde não ocorreu avanço considerável da localização do zero hidrográfico em direção à frente marítima urbanizada. Na seção 2, com a erosão do perfil de praia, em Agosto/2014, foi possível identificar a máxima migração do ZH, que ficou configurada apenas a 26 metros da frente urbanizada. Após a implantação da obra, foi possível evidenciar o avanço do ZH em direção à frente marítima

urbanizada. Tal fato pode estar associado à variação na dinâmica local em virtude da adaptação à nova obra. Na seção 3, após a construção da estrutura rígida, foi observado o recuo do ZH em direção ao mar, em Agosto/14 e Outubro/2014, seguido de estabilização em Dezembro/2014 em relação ao período inicial de monitoramento. Na seção 4, o ZH apresentava-se mais distanciado da frente urbana antes da implantação da obra. Entretanto, entre os meses

de Julho a Outubro/2014 (após a construção da obra), o ZH avançou em direção a frente marinha urbana, ficando apenas a 36 metros.

A seção 5 apresentou grande variação da posição do ZH no mês de Agosto/2014, ficando a 76 metros da frente urbanizada. Essa variação ocorreu em decorrência do acúmulo de material iniciado ainda no mês de Julho/2014, que resultou na variação vertical positiva da areia,

'empurrando' o ZH em direção ao mar. A variação vertical positiva acumulada ao longo dos meses de Fevereiro, Abril e Maio/2014 na seção 6, recuou a posição do ZH em direção ao mar, reforçando o elevado grau dinâmico desta seção. A maior distância do ZH em relação à alta praia atingiu seu valor máximo em Maio/2014 (Figura 12).

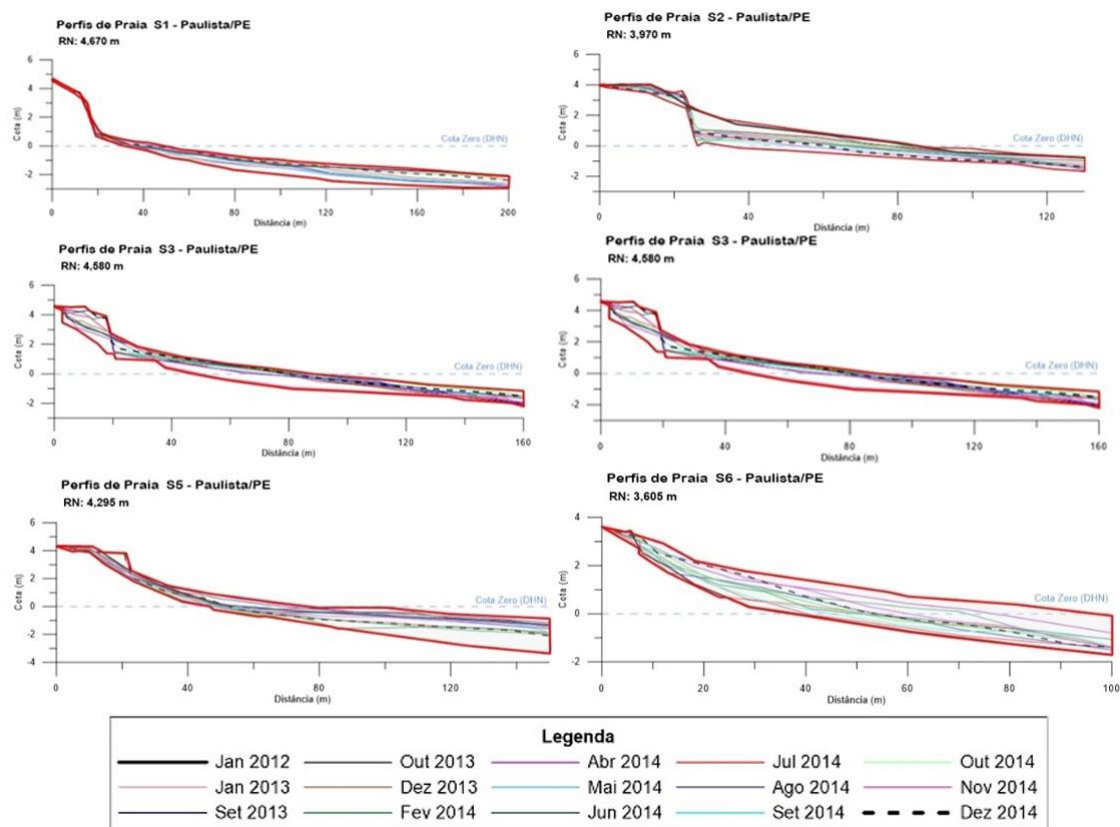


Figura 9 – Perfis de monitoramento no litoral de Paulista – PE e respectivos pacotes sedimentares (a traço forte vermelho).

Análise dos sedimentos coletados

Na determinação da textura dos sedimentos coletados durante os trabalhos de campo, utilizou-se a classificação de (Folk and Ward, 1954). Os resultados apresentados (Figuras 12 e 13) correspondem à média da totalidade das amostras colhidas - no estirâncio e na berma da praia - de cada perfil entre os meses de Outubro de 2013 e Dezembro de 2014.

Foi possível verificar a presença constante de cascalho nas amostras coletadas na área da

berma dos perfis em análise; mesmo assim, segundo a classificação utilizada, são as areias a classe predominante ao longo de todo o período de coleta (Figura 13).

Na área do estirâncio dos perfis, ficou clara a predominância de areias com cascalho nos sedimentos coletados. Assim, infere-se que toda a praia em análise apresentou a areia como classe predominante na composição das amostras de sedimentos coletados, sendo a berma composta predominantemente por areias

e o estirâncio composto predominantemente por areias com cascalhos (Figura 14).

Análise do tamanho médio dos grãos

Foram coletadas 144 amostras nos seis perfis monitorados, entre os meses de Outubro de 2013 e Dezembro de 2014, o que permite concluir que, em geral, a Praia de Paulista é constituída, principalmente, por areias que variam de médias a grosseiras. A média global das médias granulométricas de todas as

amostras colhidas na berma e no estirâncio tem o valor de 1,81 mm. Considerando separadamente as areias provenientes da berma e do estirâncio, conclui-se que há uma diferença de 0,56 mm, com 2,09 mm para as amostras coletas na berma e 1,53 mm para as amostras coletadas no estirâncio. Contudo, este tipo de análise global, ainda que relevante, constitui uma abordagem grosseira, por não mostrar de forma explícita as variações pontuais que, em geral, são bastante significativas.

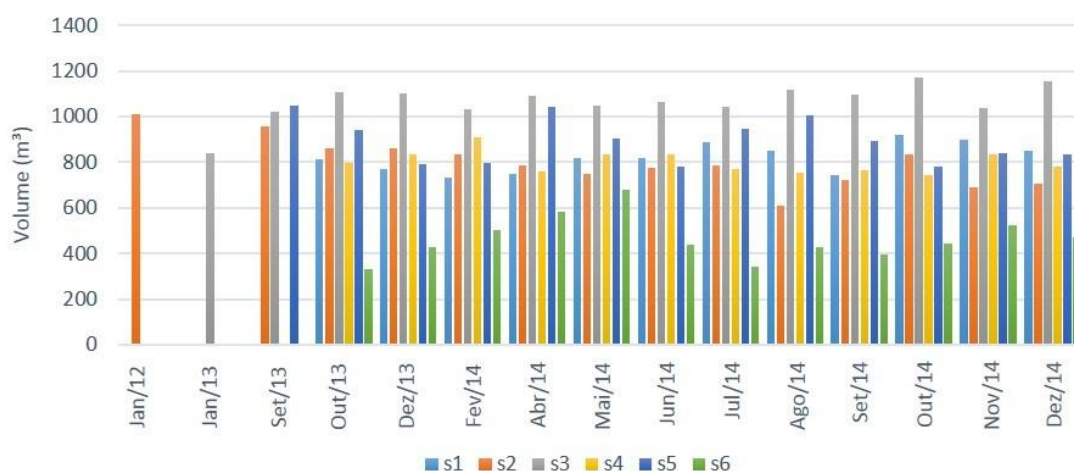


Figura 10 – Variação volumétrica por meses monitorados.

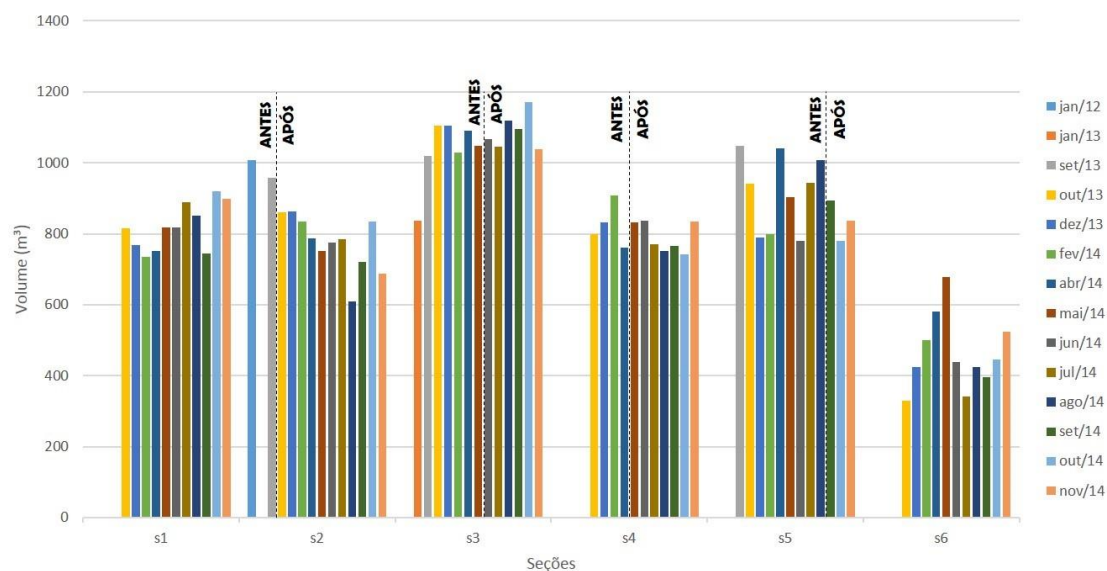


Figura 11 – Comparação da variação volumétrica entre as seções monitoradas antes e após a construção estrutura rígida.

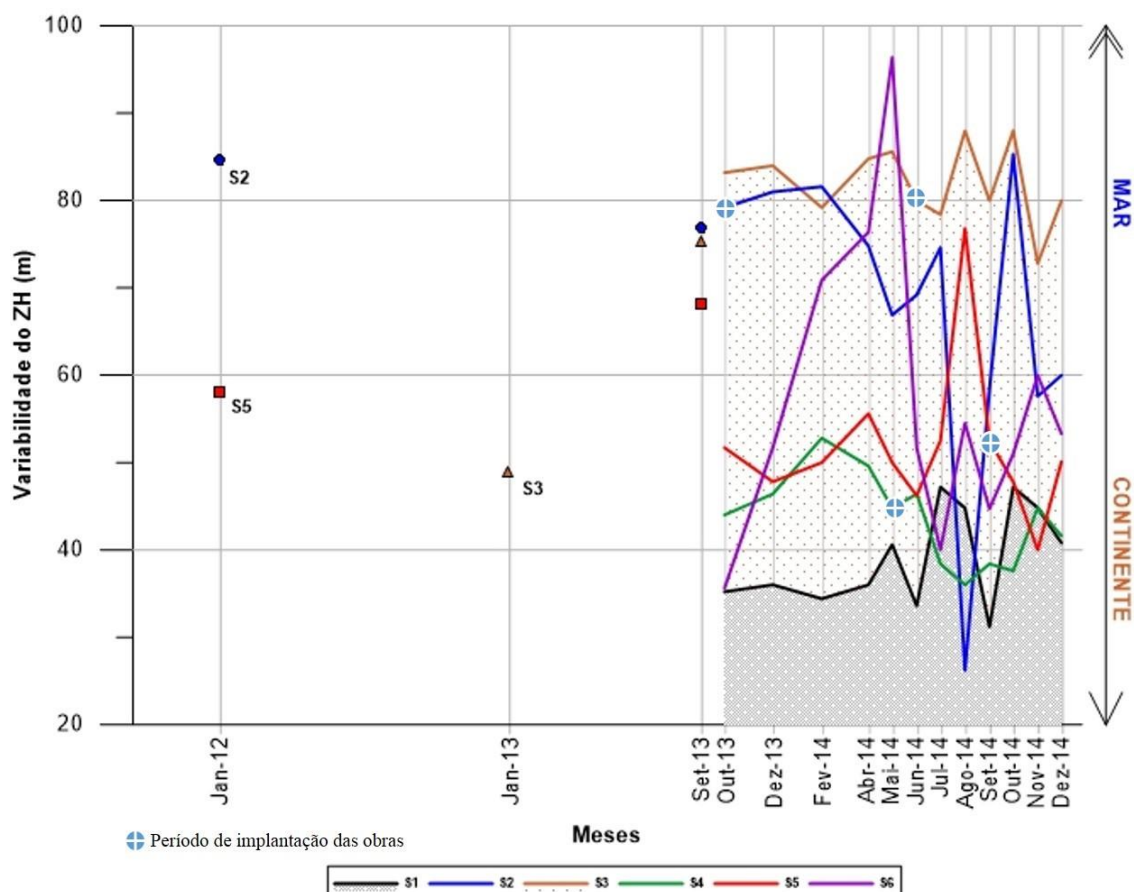


Figura 12 – Representação gráfica da variabilidade da posição do Zero Hidrográfico em relação ao Referencial de Nível (RN) de cada perfil das seções.

Considerando que ter sido em outubro de 2013 que a obra de contenção teve a sua construção iniciada na seção 2, sendo concluída em setembro de 2014 na seção 5, tornou-se relevante comparar as médias granulométricas globais da areia no período antes e depois da obra. Verificou-se que no estirâncio houve uma tendência para as areias passarem a ser um pouco mais grossas, passando de 2,07 mm para 2,10 mm, enquanto na berma tornaram-se um pouco mais finas, transitando a média global de 1,44 mm para 1,57 mm, (Tabela 3).

Diante dos resultados obtidos, pode-se dizer que a praia de Pau Amarelo continua a ser caracterizada por areias de médias a grossas, e que a obra de contenção, em termos genéricos, talvez tenha feito com que as areias do estirâncio se tornassem ligeiramente mais grossas, e as da berma mais finas.

Tabela 3 – Médias granulométricas globais das areias do berma e estirâncio, em períodos diferenciados.

	Antes da obra	Depois da obra	Média Global Geral
Berma	1,57 mm	1,44 mm	2,09 mm
Estirâncio	2,07 mm	2,10 mm	1,53 mm

CONCLUSÕES

Na área intervencionada, após a construção da obra, foi possível devolver à população a praia natural recreativa, que antes estava limitada pela existência de escombros, impossibilitando o uso desse importante equipamento de lazer.

Após um ano de construção do Dissipador de Energia Bagwall na praia de Pau Amarelo, o diagnóstico feito através do monitoramento da área antes, durante e após a conclusão da obra -

indica que a estrutura de contenção costeira construída, cumpriu seu papel no período

monitorado. O objetivo principal foi a contenção do recuo da linha de costa.

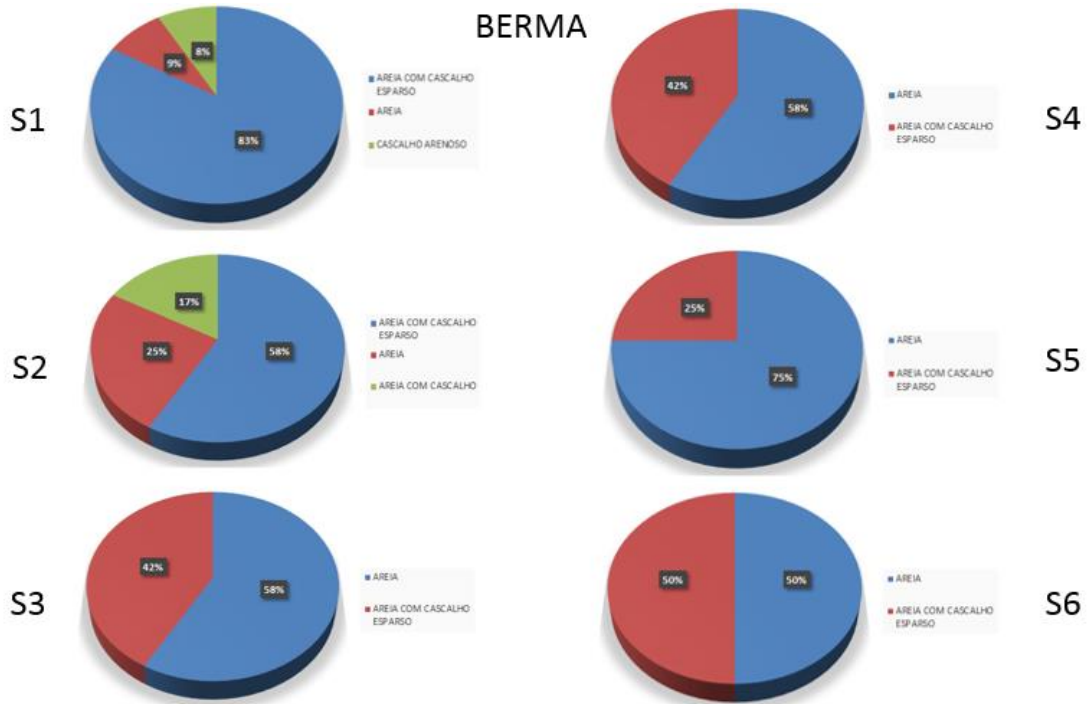


Figura 13 – Textura média das amostras coletadas na berma entre outubro de 2013 e dezembro de 2014.

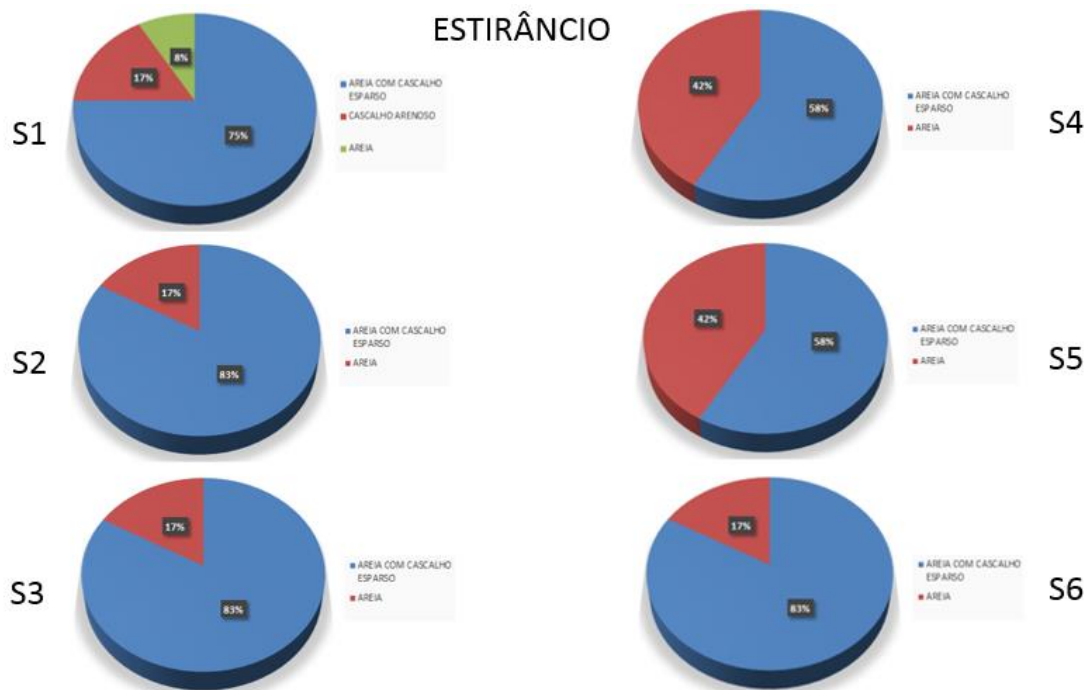


Figura 14 – Textura média das amostras coletadas no estirâncio entre outubro de 2013 e dezembro de 2014.

O município do Paulista continua fazendo o monitoramento de toda sua orla através de convênio com Universidade Federal de Pernambuco, com o objetivo de melhor avaliar o desempenho da obra de contenção após sua implantação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIRKEMEIER, W.A. 1981. *Fast, accurate two person beach surveys*. Series: Coastal Engineering Technical aid n. 81-11. Vicksburg, USA: U.S. Army, Corps of Engineering Research Center, 17 pp.
- BIRKEMEIER, W. A. 1984. Time scales of nearshore profile changes. In: Billy L. Edge (Ed.) *Nineteenth Coastal Engineering Conference. Proceedings of the International Conference*. Volume I. 3-7 Setembro, 1984, Houston, USA: ASCE (American Society of Civil Engineers), Cap. 103, pp. 1.507-1.521 (Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/9780872624382>). Acesso em 12/09/2017.
- CERC 1984. *Shore Protection Manual*. Vicksburg, USA: Coastal Engineering and Research Center, U.S. Army Corps of Engineers.
- DIAS, J. A. 2004. *Análise Sedimentar e o Conhecimento dos Sistemas Marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica)*. Faro, Portugal: Universidade do Algarve, 84 pp.
- EMERY, K.O. 1961. A Simple Method of Measuring Beach Profiles. *Limnology and Oceanography*, **6**: 90-93.
- FOLK, R. L.; WARD, W. C. 1954. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27**(1):3-26.
- MANSO, V. A. V.; COUTINHO, P. N.; GUERRA, N. C.; SOARES JR., C. A. 2006. Pernambuco. In: Dieter Muhe (Orgs.) *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, pp. 179-196.
- NEVES, L. P. 2003. *Geossintéticos e geossistemas em engenharia costeira*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 225 pp.
- NORDSTORM, K. F. 2010. *Recuperação de praia e dunas*. São Paulo: Oficina de Texto, 263 pp.
- OLIVEIRA, P. F. P.; SILVA, H. A.; SANTANA, N. M. G.; SILVA, E. R. A. C.; MANSO, V. A. V. 2011. Variação da linha de costa da praia do Janga/Paulista-PE, através da técnica de fusão de imagens orbitais CBERS HRC/CCD. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.5.039.
- SAATHOFF, F.; WITTE, J. 1994. Use of geotextile containers for stabilizing the scour embankment at the Eidersperrwerk, Part I. *Geosynthetics Word*, **5**(1):1-6
- SAATHOFF, F.; WITTE, J. 1995. Use of geotextile containers for stabilizing the scour embankment at the Eidersperrwerk, Part II. *Geosynthetics Word*, **5**(2):1-65.
- SOUZA, M.A.L. 2008. Benefícios ambientais no controle de erosão costeira com uso do dissipador de energia Bagwall no litoral de Alagoas, NE Brasil. *Revista Gestão Costeira Integrada*, **8**(2): 139-148 (Disponível em: http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-126_souza.pdf). Acesso em 11/09/2017).