

ANÁLISE DAS INFLUÊNCIAS NATURAIS NA ESCOLHA DO MÉTODO CONSTRUTIVO: Condicionantes para estrutura de contenção da Orla do Perpétuo Socorro no município de Macapá, estado do Amapá

Kennedy Rodrigues de Sousa¹
Manoel de Jesus Cunha Serrão²
Sabrine Gemelli³

RESUMO

Este artigo teve como finalidade analisar a interação do solo com a água, para minimizar e/ou solucionar o problema de erosão causada pela dinâmica das marés no perímetro da Orla do Perpétuo Socorro, em Macapá, estado do Amapá, permitindo, a elaboração de uma obra de contenção ideal. O muro de arrimo para a Orla do Perpétuo Socorro, tem a função de contenção, de fazer o contorno da borda para evitar a erosão. A erosão é um dos efeitos que se quer evitar em um muro de arrimo. Porém, a erosão não é o único foco de análise, já que pode ser contida de várias maneiras em determinados casos. Foi realizado o estudo da orla, de uma borda, de uma estrutura de contenção, analisando toda a interação dentre o solo com a água, para se obter a melhor concepção sobre qual tipo de intervenção será implantada na região. Projetou uma estrutura para se opor plenamente aos esforços solicitantes, resultando em uma estrutura extremamente robusta e resistente, a análise da interação resulta em um projeto que seja possível adequar a natureza, adequar ao meio e onde é possível, resistir ao meio de uma forma satisfatória.

Palavras-chave: Estrutura de Contenção. Erosão. Muro de arrimo.

ABSTRACT

This article aims to analyze the interaction of soil with water, to minimize and / or solve the problem of erosion caused by the dynamics of the tides in the perimeter of Orla do Perpétuo Socorro, in Macapá, state of Amapá, allowing the elaboration of a ideal containment work. The retaining wall for Orla do Perpétuo Socorro, has the function of containment, to make the edge contour to avoid erosion. Erosion is one of the effects to be avoided on a retaining wall. However, erosion is not the only focus of analysis, as it can be contained in various ways in certain cases. The study of the shore, an edge, a containment structure was carried out, analyzing all the interaction between the soil and the water, in order to obtain the best conception on what type of intervention will be implemented in the region. Designed a structure to fully oppose the soliciting efforts, resulting in an extremely robust and resistant structure, the analysis of the interaction results in a project that is possible to adapt nature, to adapt to the environment and where it is possible, to resist the environment in a satisfactory way.

Keywords: Containment Structure. Erosion. Retaining wall.

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro de Ensino Superior do Amapá.

² Engenheiro Civil. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. Mestrando em Gestão Hídrica. Docente e Coordenador dos Cursos de Engenharia Civil e de Design do CEAP.

³ Química. Mestra em Microbiologia Agrícola e do Meio Ambiente. Docente do Centro de Ensino Superior do Amapá – CEAP.

1 INTRODUÇÃO

Em Macapá, com chegada das chuvas, observa-se a ocorrência da erosão das calçadas da orla de cidade, com isso, o aumento da probabilidade de acidentes com as pessoas que por ela transitam. A erosão costeira é gerada pelas correntes marítimas e pelo processo de impacto das ondas que se chocam no litoral. O movimento das marés em subida e descida contribuem para o processo de erosão.

Todos os anos ocorrem manutenções no perímetro do litoral danificado; que acabam sofrendo com os constantes impactos das águas em todo o seu processo natural. Com o nível de deterioração elevado, conseqüentemente a estética da cidade é afetada; pois é um local com grande número de pessoas (moradores e turistas) deslumbrando a paisagem.

O muro de arrimo para a Orla do Perpétuo Socorro é uma estrutura projetada para atuar na contenção e estabilização da encosta. Para a análise de uma solução estrutural, deve-se entender a interação; geralmente as soluções de contenção não são bem-sucedida, pois fazer um projeto estrutural desconsiderando a interação entre a estrutura com o solo é errada; deve-se projetar pensando nas interações envolvidas.

Algumas questões são fundamentais para a execução de uma obra de contenção, como a análise da interação de uma solução de contenção com o meio. A realização de um projeto de contenção sem a análise da interação da estrutura com o meio, resulta em diversos problemas que impedem a estrutura de realizar de forma satisfatória a sua devida função e abre espaço para o desenvolvimento da erosão; que causa danos no perímetro da Orla do Perpétuo Socorro. Então, quais análises devem ser feitas para a elaboração de uma obra de contenção ideal?

Levando em consideração os tópicos citados, uma análise da hidrodinâmica do Rio Amazonas em contato com o perímetro da Orla do Perpétuo Socorro e o estudo do solo, podem dar orientações sobre qual tipo de intervenção pode ser feita na área. Não necessariamente a resistência da estrutura está relacionada a durabilidade ou não da intervenção proposta, onde a concepção estrutural vai definir a durabilidade.

Assim, afim de solucionar o problema apresentado, tomou-se como objetivo geral analisar a interação do solo com a água, para minimizar e/ou solucionar o problema de erosão causada pela dinâmica das marés no perímetro da Orla do Perpétuo Socorro. Como objetivos específicos traçou-se: (i) descrever os aspectos conceituais e teóricos de estruturas de contenção; (ii) realizar levantamentos in loco de dados geotécnicos considerando as características da área em estudo; (iii) evidenciar resultados para a identificação de qual projeto de contenção ideal para a Orla do Perpétuo Socorro, a partir da análise do contato hidrodinâmico com o Rio Amazonas e suas linhas de corrente.

Com o avanço de diversos problemas no litoral da orla do Perpétuo Socorro, como o desenvolvimento da erosão no decorrer do perímetro da costa, tem-se sofrido duramente com esse problema durante anos, pois as soluções de contenção implantadas não obtiveram sucesso e com o decorrer do tempo as estruturas foram totalmente danificadas e com isso, grandes investimentos são gastos em manutenções com um intervalo de tempo relativamente curto.

A implantação de um projeto de contenção que possa atender de uma forma satisfatória, representa segurança as pessoas que transitam pela orla, servindo também para realizar a delimitação da área urbanizada da costa, protegendo de enchentes resultadas do aumento do nível do Rio Amazonas com as chuvas; e a erosão na calçada.

Porém, é necessário analisar o meio onde a estrutura de contenção vai ser implantada, para que possa obter sucesso na

contenção e que a estrutura seja duradoura, evitando manutenções com pequenos intervalos de tempo. Esse é o objetivo deste trabalho.

1.1 METODOLOGIA

De acordo com os procedimentos metodológicos, foi enquadrado em três métodos: Pesquisa Bibliográfica, Pesquisa Documental e Estudo de Caso, uma vez que teve como objetivo gerar conhecimento para a minimização dos problemas de erosão na Orla do Perpétuo Socorro. Para Gil (2008, p. 50) “A pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”. A realização do trabalho ocorreu a partir do levantamento de informações disponíveis na literatura.

Segundo Marconi e Lakatos (2003, p. 174) “A característica da pesquisa documental é que a fonte da coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias. Estas podem ser feitas nos momentos em que o fato ou fenômeno ocorra, ou depois.” Foi analisado laudos de sondagem realizados na Orla do Perpétuo Socorro, para conhecer as características do terreno.

Para Gil (2008, p. 57 – 58) “O estudo de caso é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados.” Uma vez que teve como objetivo analisar toda a interação para obter a melhor concepção estrutural observando a realidade de como ocorre, identificando como o tema se materialize.

2 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

Contenção é todo elemento ou estrutura destinado a contrapor-se a empuxos ou tensões geradas em maciço cuja condição de equilíbrio foi alterada por algum tipo de escavação, corte ou aterro (RANZINI; NEGRO JR, 1998).

O projeto de estruturas de contenção se baseia tradicionalmente na determinação de um fator de segurança em termos de momentos, i.e., a relação entre o momento resistente (ou restaurador) e o momento solicitante (ou perturbador). Este é conhecido como um fator de segurança consolidado e recebe um valor suficientemente alto para levar em conta todas as incertezas no método analítico e nos valores dos parâmetros do solo (CRAIG, 2013).

Em aplicações permanentes, costuma-se usar um elemento estrutural para suportar a massa de solo contida. Isso se faz, em geral, tanto por um muro de contenção (ou arrimo) de gravidade, que conserva a estabilidade do solo contido por ação de sua massa, quanto por um muro de contenção (ou arrimo) flexível, que resiste ao movimento do solo por flexão. Em ambos os casos, é essencial determinar a grandeza e a distribuição do empuxo (pressão) lateral entre a massa de solo e a estrutura de contenção adjacente, para que seja verificada a estabilidade de um muro de gravidade em relação ao deslizamento e ao tombamento ou para optar pelo projeto estrutural em um muro de contenção flexível (KNAPPETT; CRAIG, 2016).

As estruturas de contenção estão entre as mais antigas construções humanas, acompanhando a civilização desde as primeiras construções em pedra da pré-história. No entanto, o seu dimensionamento em bases racionais, utilizando métodos teóricos, só se desenvolveu a partir do século XVIII (BARROS, 2017).

Os registros mais antigos de obras de contenção apontam para muros de alvenaria de argila contendo aterros na região sul

da Mesopotâmia (Iraque) construídos por sumerianos entre 3.200 e 2.800 a.C. Obras construídas seguindo preceitos de engenharia moderna começaram a surgir apenas no início do século 18, frutos de trabalhos de engenheiros franceses (RANZINI; NEGRO JR, 1998).

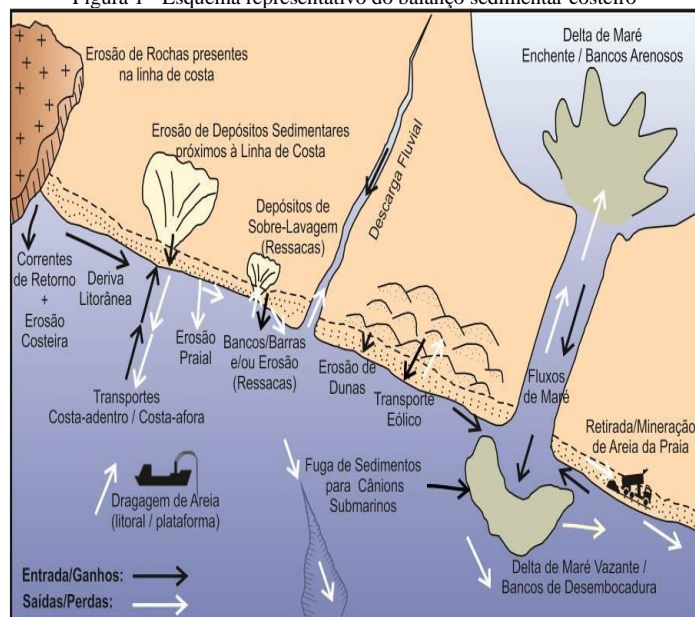
2.1 EROSIÃO

A erosão costeira é o conjunto de processos em que é removido mais material da praia do que suprido, em consequência à quebra do equilíbrio dinâmico original, e um dos principais problemas mundiais do ponto de vista da preservação do solo. De fato, nas zonas densamente povoadas, com infraestruturas urbanas, industriais e turísticas de alto valor econômico, a erosão costeira representa custos sociais, ambientais e econômicos muito elevados (ALFREDINI; ARASAKI, 2009).

O trabalho de desgaste das rochas pelos rios e a consequente formação dos vales na topografia constituem a erosão fluvial. A escavação erosiva do vale do rio existe em função da energia que a água possui (CHIOSSI, 2013).

O resultado do conjunto de processos sedimentares que atuam na costa pode ser medido por meio do seu balanço sedimentar que é, em outras palavras, a relação entre as perdas/saídas e os ganhos/entradas de sedimentos nessa costa (Figura 1). Quando o balanço sedimentar da costa for negativo, ou seja, quando a saída/perda de sedimentos for maior do que a entrada/ganho de sedimentos, haverá um déficit sedimentar, predominando assim o processo erosivo. Isto acarretará diminuição paulatina de sua largura e a retração da linha de costa (SOUZA, 2012).

Figura 1 - Esquema representativo do balanço sedimentar costeiro



Fonte: Souza (2012)

As causas naturais estão associadas a um conjunto de processos que atuam nas mudanças da dinâmica costeira, de curto até longo período, e à elevação do NM de curto (ressacas) e longo período. As causas antropicamente induzidas são relacionadas a uso e ocupação inadequados da zona costeira e, em especial, da linha de costa, que provocam alterações na dinâmica costeira e redução do estoque de sedimentos (SOUZA, 2012).

Toda obra ou ocupação das áreas influenciadas pelos rios deve levar em consideração a dinâmica fluvial, caso contrário, poderá ser danificada ou causar efeitos indesejáveis. Por outro lado, a erosão e a deposição, ou o assoreamento fluvial devem ser consideradas normais, e não degradação ambiental. O homem

poderá acelerar ou retardar tais processos (FILHO; NUMMER, 2014), como observa-se na Figura 2.

Figura 2 - Erosão na orla de Macapá



Fonte: Portal G1 Amapá (2018)

A costa é uma zona francamente exposta à agitação marítima, característica de fenômenos naturais como a diminuição do transporte sedimentar, a subida generalizada do nível médio das águas do mar e/ou as alterações climáticas (PEREIRA, 2008a).

Torna-se uma seção transversal ao fluxo da água, verifica-se que a sua velocidade não é uniforme. Em um canal reto, a seção é simétrica, e a maior velocidade encontra-se no meio da superfície e próxima a ela. Nesse caso, durante uma enchente, a erosão se processa de maneira uniforme nos limites dessa seção e, após a cheia, haverá deposição em toda a seção (FILHO; NUMMER, 2014).

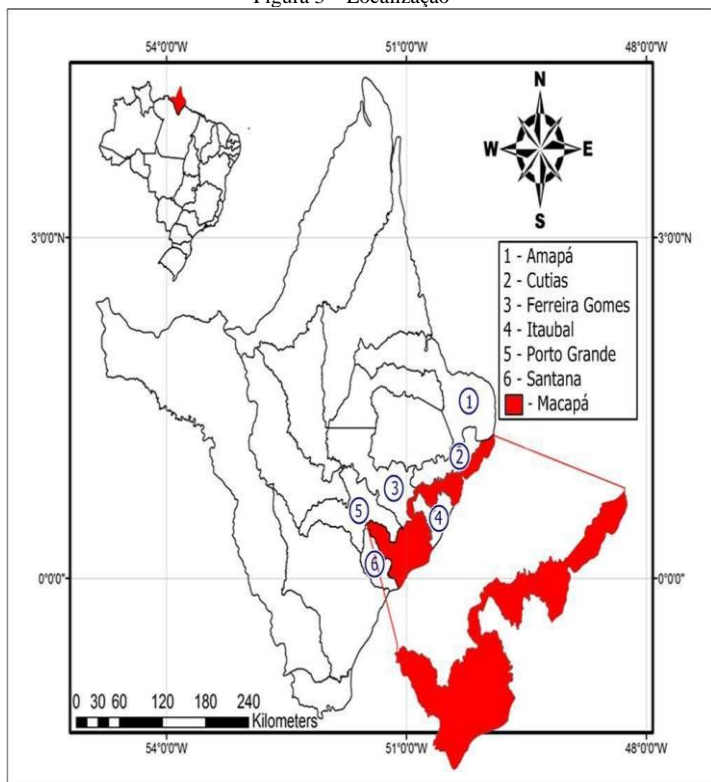
Segundo Souza (2009, p. 15) “Em geral, as consequências da erosão costeira ou praias são percebidas como problema quando ameaçam os usos e as atividades humanas de forma a causar prejuízos econômicos”. A erosão em uma praia se tornará problemática quando for um processo severo, acelerado e permanente ao longo de toda essa praia ou em partes dela, ameaçando assim áreas de interesse ecológico e/ou socioeconômico (SOUZA, 2012).

3 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é localizada no município de Macapá-AP (Figura 3), onde possui uma população estimada em 493.634 (quatrocentos e noventa e três mil, seiscentos e trinta e quatro) habitantes. Sua área é de 6.564,00 (seis mil, quinhentos e sessenta e três) km², segundo censo de 2018 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Mais especificamente o local de estudo é a Orla do Perpétuo Socorro (Figura 4).

Conforme a Lei de Uso e Ocupação do Solo da cidade de Macapá, o perímetro estudado está localizando dentre o Setor de Lazer 2 (SL2) e o Setor Residencial 5 (SR5), com diretrizes de atividades comerciais e de serviços de apoio ao lazer e ao turismo; uso residencial; atividades comerciais e de serviços de apoio à moradia com restrição às atividades que causem impactos ambientais ou incômodo a vizinhança, respectivamente.

Figura 3 – Localização



Fonte: IBGE (2015)

Figura 4 - Localização da Orla do Perpétuo Socorro em Macapá

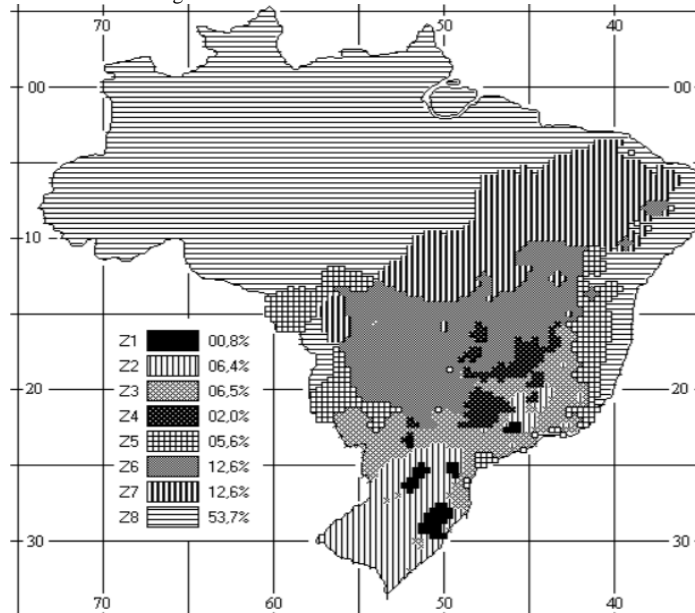


Fonte: Adaptado do Google Earth (2019)

3.1 CONDICIONANTES CLIMÁTICOS

Conforme diretrizes da NBR 15220-3/2005, a cidade de Macapá enquadra-se na zona bioclimática Z8 (Figura 5).

Figura 5 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: NBR 15220 (2003)

As referências geográficas em Macapá são: “Latitude: 00° 02’ 20,000” N e Longitude: 50° 03’ 59,000” W”, com uma altitude elipsoidal de -19,03 m, clima equatorial superunido e na maioria dos meses do ano a pluviosidade é relativamente significativa. O clima é classificado como “Am” de acordo com a Köppen e Geiger. A temperatura média de Macapá fica em torno de 27°C; e com pluviosidade média anual de 2.487,00 mm.

O vento com predominância em Macapá é o Nordeste (NE), com algumas variações; durante o ano a intensidade dos ventos também acaba variando dentre forte e moderado, mas modo geral a cidade é bem ventilada.

3.2 AGITAÇÃO MARÍTIMA

3.2.1 Marés

As marés são, provavelmente, o fenômeno marítimo que o homem mais domina. Consegue prever, com um elevado grau de rigor, alturas, horas e duração de cada tipo de maré, mesmo que essa antevisão seja feita com um grande intervalo de tempo (CRUZ, 2008).

Segundo este autor as marés podem ser definidas de acordo com um porto de referência, existindo posteriormente tabelas de concordância de marés, que permitem o conhecimento convertido da altura de maré e hora a que ocorre, para todos os outros locais adjacentes.

A costa amapaense é o local da costa amazônica que apresenta as maiores amplitudes e alturas de marés. Dados de previsão da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) revelam que as alturas das marés na costa amazônica podem ser maiores chegando a alcançar até 12 m. Na realidade nessa costa ocorre tanto o regime de macro, quanto o de mesomaré (SANTOS, 2006).

Os processos erosivos e deposicionais, comuns em grande parte da planície costeira do estado do Amapá são de grande intensidade, com a destruição de grandes áreas e a construção de outras em um processo dinâmico. Os processos oceanográficos, com grandes amplitudes de maré (macromaré), ondas, além de fortes correntes de maré e ventos alísios de comportamento ligado à sazonalidade são determinantes nas transformações fisiográficas da região (IEPA, 2008).

Conforme informações publicadas pelo Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA),

apresentada na (Carta Batimétrica da Orla de Macapá – Anexo I), em um período de 24 horas e 50 minutos (Ciclo completo da maré) grande parte da Orla está momentaneamente submersa em uma coluna d'água com um pouco mais de 03 metros, onde é possível destacar-se as praias do Atuariá, Araxa, Santa Inês e Perpétuo Socorro.

3.2.2 Correntes

As correntes costeiras constituem um importante agente na transformação das praias através do transporte de sedimentos. Essas correntes são formadas com a quebra das ondas na região costeira, dissipando energia que é utilizada para desestabilização do sedimento e formação dessas correntes (SILVA, 2004).

O valor da velocidade de corrente a ser adotado é o obtido em medições no local de implantação da estrutura portuária, sendo o valor mínimo para estruturas portuárias fluviais de 1 m/s. A subida e a descida do nível do mar, respectivamente denominadas de enchente e vazante, estão associadas com correntes de maré com estofas de defasagem variável com a preamar e baixa-mar, dependendo das condições locais (ALFREDINI; ARASAKI, 2009).

A componente paralela à praia, denominada corrente de deriva litorânea ou longitudinal, é a mais importante corrente costeira. Ela é o principal agente de movimentação, retrabalhamento e distribuição dos sedimentos ao decorrer do perímetro da costa (SOUZA, 2012).

3.2.3 Ventos

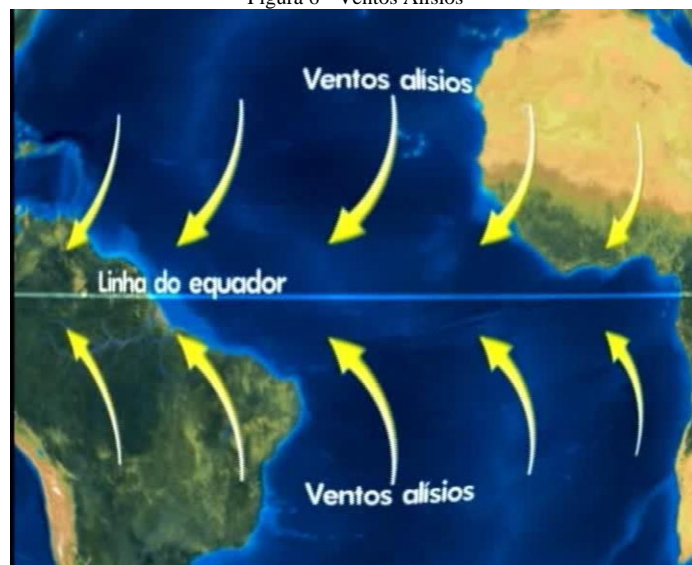
O vento é um importante agente na dinâmica sedimentar das áreas costeiras, sendo um dos principais responsáveis pela formação e movimentação das dunas através da troca de areia com as praias. Além de atuar no transporte sedimentar eólico, o vento determina o regime de ondas do mar e conseqüentemente suas correntes induzidas de deriva litorânea, as quais controlam o aporte e a distribuição de sedimentos na costa (GIANNINI, 1993).

A geração de ondas na superfície da água pelo vento, que sopra sobre a superfície do mar, e sua propagação resultante, que acontece principalmente no rumo em que os ventos sopram, foram observadas ao longo da história e muitas teorias foram desenvolvidas para descrever o movimento das ondas do mar (ALFREDINI; ARASAKI, 2009).

A parte norte do litoral brasileiro é controlada predominantemente pelo sistema atmosférico que abrange a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, sendo a principal responsável pelos ventos alísios. A ZCIT move-se anualmente de um lado para outro da linha do Equador deslocando-se para Norte, entre os meses de junho a setembro, e para o Sul do equador, nos meses de dezembro a fevereiro, originando as estações secas e úmidas na zona equatorial tropical (SANTOS, 2006), como observa-se na Figura 6.

Os ventos na orla de Macapá apresentam uma sazonalidade bem marcada, com ventos (Figura 6) de NE/E e componentes de SE no verão boreal. Além disso, a variação da ZCIT pode modificar o padrão de ventos regionais. De forma geral, os ventos apresentam-se mais constantes e com maiores velocidades de outubro a dezembro (LIMA; VINZON, 2009).

Figura 6 - Ventos Alísios



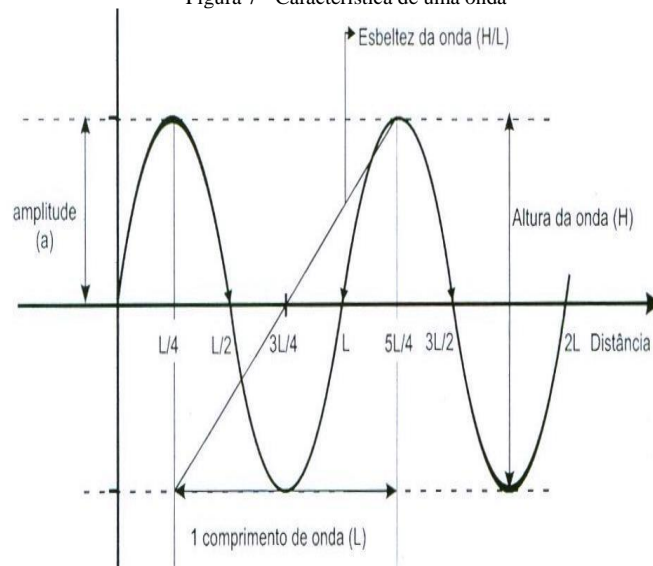
Fonte: Globo (2013)

3.2.4 Ondas

O regime de ondas na região é relacionado à ação de ventos locais, sendo caracterizado por ondas com alturas e períodos relativamente baixos. A altura das ondas na orla de Macapá varia em média 0,30 metros com frequência fortemente modal, com ondas de até 2.4 segundos (LIMA; VINZON, 2009). As ondas se formam a partir do contato do vento com a superfície da água, entretanto, suas características dependem fundamentalmente da velocidade e do tempo de ação do vento no “fetch”, pista sobre a qual o vento atua (VILLWOCK, 1994).

Conforme a Figura 7, observa-se quais são as características fundamentais para a realização da propagação de uma onda.

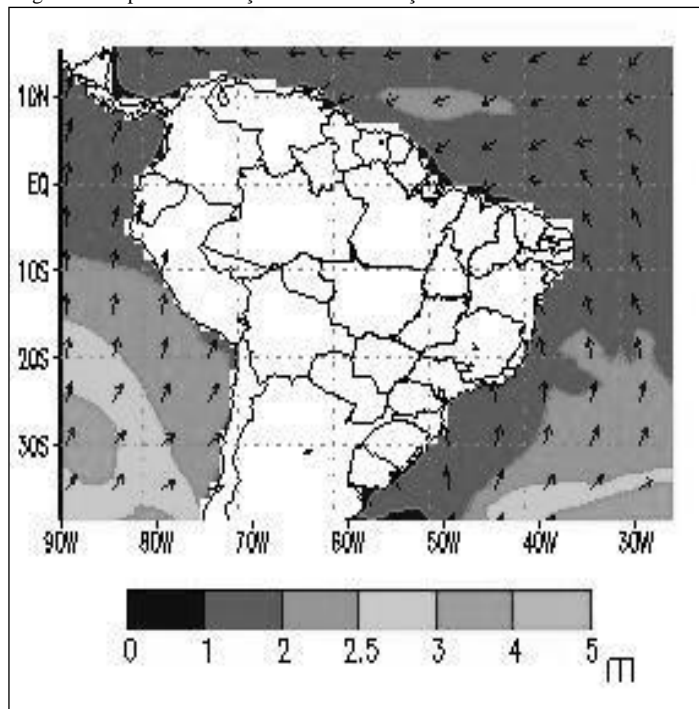
Figura 7 - Característica de uma onda



Fonte: SILVA (2004)

A Figura 8, apresenta a relação dentre a direção das ondas no litoral brasileiro e a altura. É possível verificar ondas com menos de 01m de inclinação, com predominância na direção nordeste (NE).

Figura 8 - Aspectos da relação de altura e direção de ondas no litoral brasileiro



Fonte: INPE (2008)

Em frente a cidade de Macapá observa-se ondas de até 1 metro que se propagam no sentido (NE-SW). Tais ondas são influenciadas diretamente pelos ventos alísios, sendo observado um aumento considerável na amplitude e na velocidade das ondas nos meses de setembro e outubro, meses de ventos mais intensos (GALLO, DARDENGO, FREIRE, VILELA, SOUSA, SILVA, KRELLING, PEIXOTO, PONTES, VINZON; LE GUENNEC, 2007).

3.3 BATIMETRIA

A agitação antes de incidir sobre determinada estrutura costeira está sujeita à ação de diversos fenômenos físicos que podem alterar profundamente as características das ondas geradas ao largo. A batimetria (topografia dos fundos) é igualmente importante e poderá desempenhar um papel fundamental na direção e/ou intensidade com que a agitação atinge a estrutura. Uma onda regular quando se propaga constitui aquilo que se designa por frente de onda, materializada através da sua crista. As linhas perpendiculares às cristas designam-se de ortogonais e indicam a direção de propagação local da onda (LOPES, 2005).

Na plataforma litoral continental, a batimetria condiciona as características anteriormente referidas e com estas permite avaliar a localização da zona de rebentação das ondas. Geralmente, a “linha de rebentação” determina as cotas de implantação de estruturas de defesa costeira, para que a interação da estrutura com aos agentes predominantes tenha o comportamento desejado (PEREIRA, 2008a).

3.4 HIDRODINÂMICA

Segundo Pereira (2008a, p. 22) “Na área adjacente a um quebra-mar destacado as condições hidrodinâmicas sofrem transformações, nomeadamente, alterações das correntes que aí circulavam até à implantação da estrutura”.

Com a presença do quebra-mar a propagação da agitação é quebrada. No entanto, as ondas difratadas encaminham-se para a zona a sotamar da estrutura, pelo que a dissipação da energia incidente nunca será totalmente conseguida (PEREIRA, 2008a).

Em condições de agitação média/forte, com ondas incidentes perpendiculares à estrutura, as correntes locais geradas contribuem para o bloqueio da corrente longitudinal paralela à costa, justificando-se assim o facto de se gerarem outras correntes em zonas menos próximas do quebra-mar, originadas pela repartição da referida corrente principal (PEREIRA, 2008a).

Segundo IEPA (2008, p. 24):

A área estudada acaba sofrendo todas as ações da alta hidrodinâmica gerada pelos mais variados parâmetros físicos, dentre os quais podemos destacar a variação cíclica da maré, que gera fortes correntes (superiores a 1,5 m/s) e expõe (emerge) e cobre (submerge) uma planície de intermaré (tidal flats) de extensão variável (conforme Cartas batimétricas – Anexo I), e a ação dos ventos que chegam a gerar ondas superiores a 1,5 metros. Todas essas variáveis ambientais influenciam diretamente nos parâmetros hidrodinâmicos e morfodinâmicos da área estudada e além dessas podemos destacar como influências nessa dinâmica as infraestruturas antrópicas como portos, piers, dragagens, aterramentos, muro de arrimo, entre outras obras que alteram os padrões hidrodinâmicos e morfodinâmicos locais.

Conforme IEPA (2008, p. 24) “Os dados são referentes ao Canal Norte do rio Amazonas, Canal de Santana, rio Matapi e específicos da planície de intermaré da orla urbana de Macapá (nos trechos dos bairros Perpétuo Socorro e Santa Inês)”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

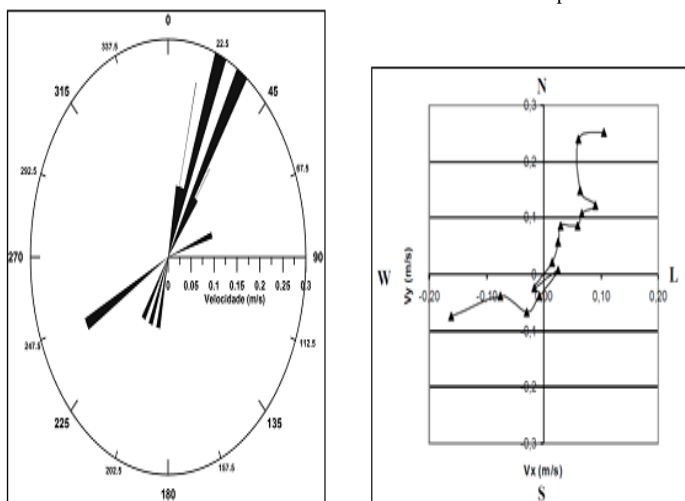
Para uma análise mais concisa necessita-se de informações mais precisas e atualizadas da intensidade das linhas de correntes que chegam no perímetro da Orla do Perpétuo Socorro, mais precisamente, da intensidade das correntes sazonais que tem impacto no muro de arrimo existente. A análise dos dados hidrodinâmicos, principalmente, a velocidade da corrente e sua direção, é uma etapa essencial para a compreensão de como ocorrem as interações na orla do Perpétuo Socorro, pois as correntes de marés são extremamente importantes.

Tratando especificamente da costa de Macapá, os dados coletados indiretamente através de um estudo que apesar de não falar a respeito das ondas que incidem diretamente na costa, são ondas que incidem ao largo (na foz).

De acordo com os estudos realizados por Braga (2010) em abril e outubro de 2008, é possível identificar o sentido e a intensidade das correntes que chegam à costa fluvial de Macapá. Percebe-se que houve uma incidência maior na direção de corrente no sentido nordeste (NE), com velocidades médias de 0,25 m/s.

No entanto, verifica-se também uma componente de corrente no sentido sudoeste (SW)”, como observa-se na Figura 9(a). Na Figura 9(b), verifica-se as mudanças de direção da corrente (em graus), as direções das correntes, as velocidades nos eixos y (sul-norte) e x (oeste-leste). A intensidade das correntes na direção nordeste (NE) é maior, registrando maiores velocidades de corrente no período de vazante, chegando a 0,25 m/s. é possível verificar a predominância da vazão na direção sudoeste (SW) para o nordeste (NE) e oeste (W) para leste (L) com velocidade aproximada de 0,3 m/s. já na enchente, ocorre redução na velocidade, chegando a aproximadamente 0,2 m/s e as correntes tem direções no sentido nordeste (NE) para sudoeste (SW).

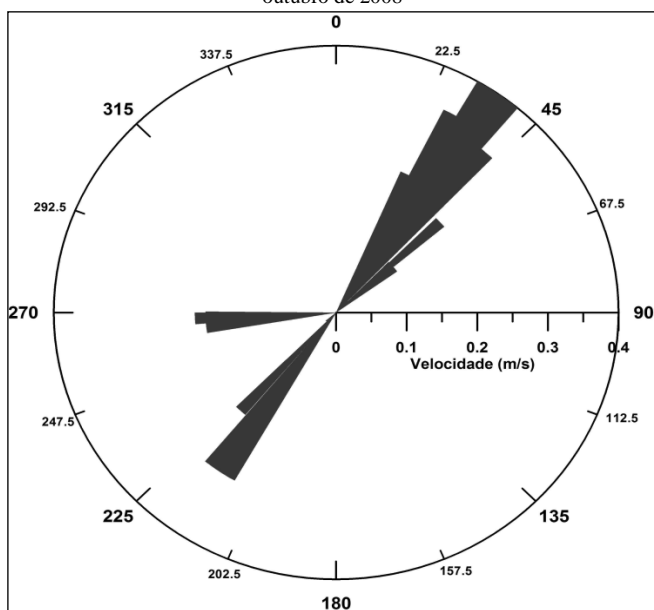
Figura 9 - (a) Diagrama de roseta e (b) gráfico de direção e velocidade das correntes em abril de 2008 na costa fluvial de Macapá



Fonte: Braga (2010)

Durante o período de seca em outubro de 2008, as análises dos dados hidrodinâmicos, na região amazônica demonstraram um aumento referente a intensidade das correntes. É possível identificar a velocidade e direções das correntes no mês de outubro de 2008, observando a Figura 10. Durante esse mês foi observado que as maiores intensidades das correntes incidentes do Nordeste (NE) em comparação aos dados de abril. As velocidades foram maiores também, com médias de 0,4 m/s.

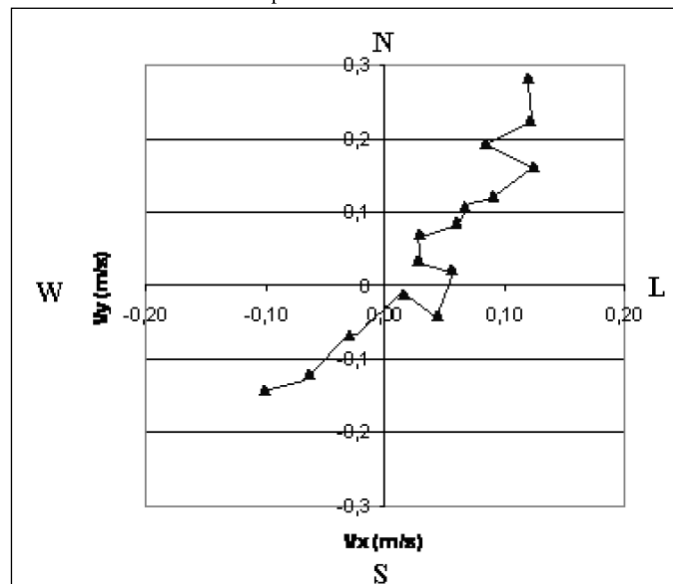
Figura 10 - Diagrama de roseta indicando a direção e velocidade de corrente em outubro de 2008



Fonte: Braga (2010)

No decorrer de outubro, foi detectado um aumento na velocidade e intensidade da corrente. Nas vazantes foram identificadas as maiores velocidades, com direção predominante do Sudoeste (SW) para o nordeste (NE), mas com medidas maiores em relação ao mês de abril. A intensidade e velocidade das correntes de enchente atuaram na direção do nordeste (NE) para sudoeste (SW), conforme Figura 11.

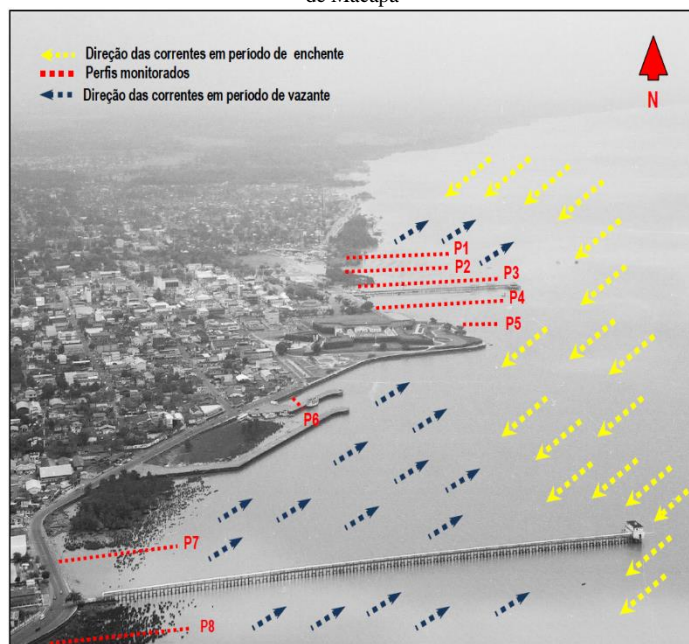
Figura 11 - Direção e intensidade das médias das correntes de maré na orla de Macapá em outubro de 2008



Fonte: Braga (2010)

Segundo Braga (2010, p. 53) “Durante o período de medições de dados hidrodinâmicos observou-se que a direção de corrente é predominantemente a mesma em ambos os períodos climáticos, porém com intensidades e sentidos diferentes”, conforme a Figura 12:

Figura 12 - Direção das correntes de enchente (linhas amarelas) na orla fluvial de Macapá



Fonte: Alípio Junior (2005)

4.1 ATUAÇÃO DO MURRO DE ARRIMO EXISTENTE

Dentre os tipos de contenção que foram relacionados na segunda seção, pode-se observar que para o caso da aplicação de um Muro de Arrimo, as considerações com base em análises na direção e sentido das marés, são de que o atual muro de arrimo existente na Orla do Perpétuo Socorro sofre bastante com os impactos sofrido pela maré, pois com a grande intensidade de impacto, acaba não resistindo com o decorrer dos anos, conforme Figura 13.

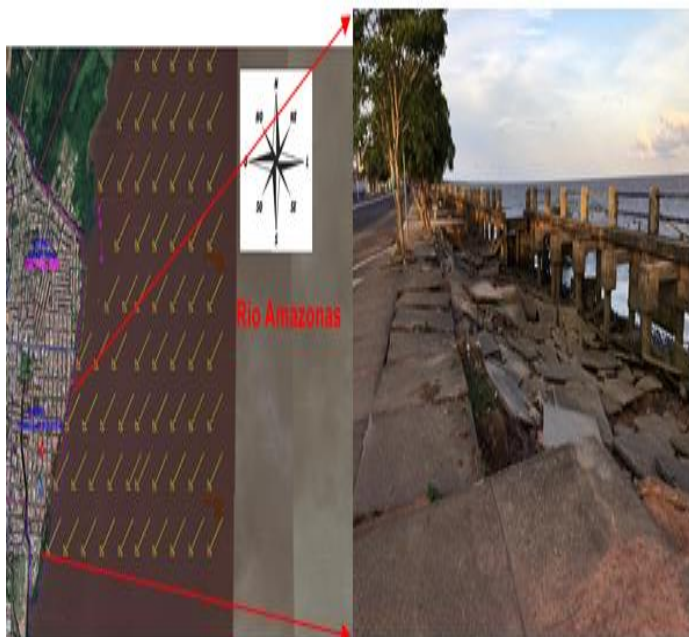
Figura 13 - Destruição do muro de arrimo da Orla do Perpétuo Socorro



Fonte: Elaboração própria, 2019

Em relação ao trecho demarcado de vermelho na Figura 14, observou-se em verificação in loco, que os danos causados ao muro de arrimo existente, são relativamente maiores que o trecho onde existe uma primeira proteção natural, onde é possível perceber o maior deterioramento do muro de arrimo.

Figura 14 - Localização do Muro de arrimo da Orla do Perpétuo Socorro, com impacto direto das energias provenientes do Rio Amazonas



Fonte: Elaboração própria, 2019

4.2 ATUAÇÃO DO MOLHE

Em verificação in loco percebeu-se que em parte do perímetro da Orla, localizado próximo de um “molhe natural”, os danos causados ao muro de arrimo são relativamente menores (Figura 15) comparado com a parte do perímetro que não tem essa proteção (Figura 14).

Figura 15 - Localização do “Molhe natural”



Fonte: Elaboração própria, 2019

Provavelmente isso ocorre pelo trecho demarcado em azul na Figura 15 simular as características de um Molhe, onde dissipa uma parte considerável das intensidades de energia geradas pelas ondas e marés provenientes do percurso do Rio Amazonas; assim, a energia que chega no perímetro da costa é relativamente menor em relação a um trecho onde recebe as intensidades integralmente.

4.3 ATUAÇÃO DO GABIÃO

Caso se optasse por uma proteção relativamente semelhante com o muro de arrimo existente, poderia se optar pela utilização do Gabião, pois as contenções estruturais em Gabião apresentam considerações semelhantes ao arrimo tradicional.

No entanto, quando a estrutura em Gabião estiver em contato direto com ambientes quimicamente agressivos (urbanos ou não), ambientes litorâneos ou zonas com alto grau de contaminação, é necessária a adoção de um revestimento suplementar em material plástico, o que torna o arame totalmente inerte a ataques químicos (BARROS, 2017). Já que na utilização inserida na Orla, ocorrerá contato frequente com a água quando a maré estiver elevada.

Estes revestimentos, aplicados aos arames que formam as malhas dos gabhões, garantem que a deterioração da estrutura será extremamente lenta e com efeitos não mais graves do que se registra em qualquer outro tipo de solução, mesmo quando inseridas em ambientes agressivos, caracterizando-as como obras definitivas (BARROS, 2017).

Com o tempo, conforme este autor a colmatagem dos vazios entre as pedras pela deposição de solo transportado pelas águas e/ou vento e o crescimento das raízes das plantas que se desenvolvem nos gabhões, consolidam ainda mais a estrutura e aumentam seu peso melhorando sua estabilidade.

A erosão pode ser evitada através da drenagem superficial e as estruturas feitas em gabhões tem a permeabilidade consideravelmente alta, com isso, não necessitam de sistemas de drenagem específicos. Porém, segundo Barros (2017, p. 200) “deve-se considerar que o aterro compactado ao tardo das delas é um outro elemento estrutural que merece todos os cuidados e dispositivos necessários para sua estabilização e manutenção ou melhora dos sistemas de captação e condução das águas superficiais e/ou de percolação”.

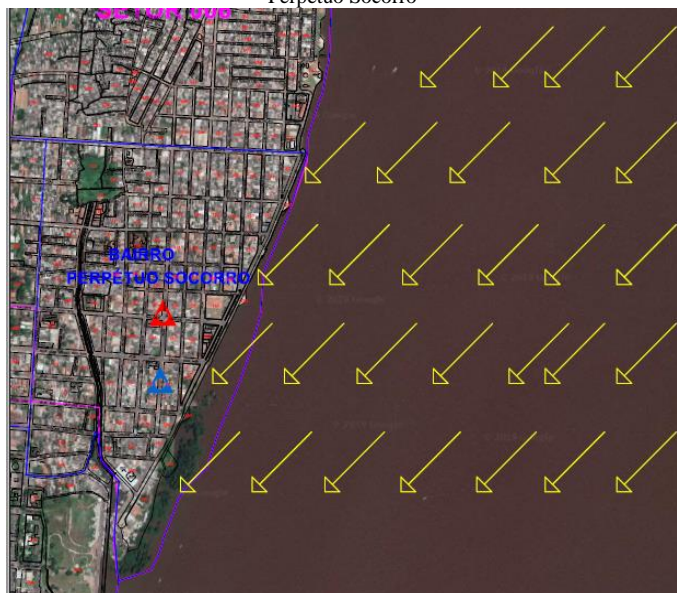
A utilização do Gabião como proteção na Orla do Perpétuo Socorro poderia corresponder positivamente, pois é uma estrutura com característica de resistência de uma extremidade a

outra, possui durabilidade consideravelmente alta e é uma estrutura muito flexível, com isso, permite que a estrutura possa ter um grande nível de deformação antes de entrar em colapso permitindo a oportunidade de intervenções para recuperação e assim, evitando maiores danos.

4.4 ATUAÇÃO DO QUEBRA-MAR

A compreensão da hidrodinâmica, batimetria e dinâmica, envolvendo a ação e sentidos dos ventos, ondas e marés na Orla do Perpetuo socorro, são peças fundamentais na definição das ações. Conforme análise dos tópicos citados, observou-se que o perímetro existente na orla do Perpétuo Socorro não é o ideal, pois sofre com a grande intensidade das energias provenientes das ondas e marés em pontos desfavoráveis no decorrer de seu perímetro contornado pelo muro de arrimo existente. Observando a Figura 16, é possível verificar o perímetro da orla recebendo as energias sem nenhuma proteção para retardar ou dissipar parte dela.

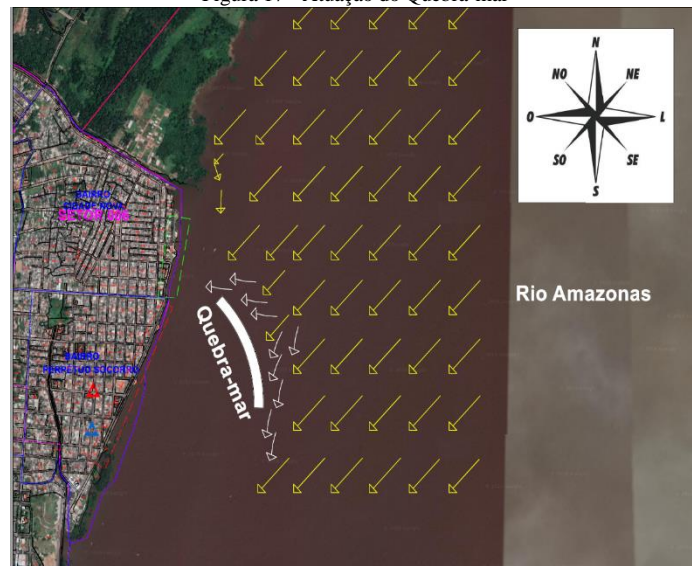
Figura 16 - Linhas de correntes chegando no muro de arrimo da Orla do Perpétuo Socorro



Fonte: Elaboração própria, 2019

Dentre todas as análises feitas das soluções e como hoje já se encontra implementado o muro de arrimo, é interessante discutir a respeito da hipótese de implantação de um quebra-mar, pois é uma solução composta e viável para a proteção da costa da orla, já que tem como principal finalidade a proteção da costa das ações provenientes dos rios e/ou do mar. Assim, o quebra-mar atuaria como uma primeira proteção, dissipando grande parte das energias que vão no sentido da orla e o muro de arrimo existente continuaria exercendo a sua função sem necessitar combater grandes esforços sobre a mesma.

Figura 17 - Atuação do Quebra-mar



Fonte: Autor (2019)

Conforme ilustração da Figura 17 acima, é possível observar como o Quebra-mar situado na frente Orla do perpétuo Socorro poderia interferir diretamente nas ações provenientes do Rio Amazonas e dissipar as linhas de correntes para outro percurso, assim, evitando que o perímetro da orla sofresse com a maior parte do impacto das energias.

O quebra-mar atua provocando a rebentação da onda incidente, a qual começa por originar, a sotamar, a formação de uma zona de forte turbulência, a que se segue, posteriormente, a reformulação do movimento ondulatorio, com ondas de menor altura e menor período (PEREIRA, 2008a).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo analisou a interação do solo com a água, para minimizar e/ou solucionar o problema de erosão causada pela dinâmica das marés no perímetro da Orla do Perpétuo Socorro, em Macapá, estado do Amapá, visando propor uma obra de contenção ideal para o muro de arrimo.

No entanto, a erosão não foi o único foco de análise, já que pode ser contida de várias maneiras em determinados casos. Foi realizado o estudo da orla, de uma borda, de uma estrutura de contenção, analisando toda a interação dentre o solo com a água, para se obter a melhor concepção sobre qual tipo de intervenção será implantada na região.

Assim, projetou-se uma estrutura para se opor plenamente aos esforços solicitantes, resultando em uma estrutura extremamente robusta e resistente, a análise da interação resulta em um projeto que seja possível adequar a natureza, adequar ao meio e onde é possível, resistir ao meio de uma forma satisfatória.

O dimensionamento de um quebra-mar, requer auxílio de modelos numéricos e físicos, capazes de fornecer ao seu desenvolvedor tanto no perfil transversal como em termos de configuração em planta, a noção mais clara possível de como a estrutura será solicitada durante o decorrer da sua vida útil. O perfil transversal de um quebra-mar vai depender de muitos parâmetros, uns com ações externas, outros relacionados com seu próprio material para a sua construção.

Após análise dos dados disponíveis, e tendo em vista futuras etapas de desenvolvimento de projeto, recomenda-se que sejam realizados alguns novos estudos em forma de buscar viabilizar o refinamento do mesmo; como:

- Levantamento topo-batimétrico na área afetada diretamente e indiretamente;

- Levantamento batimétrico na região específica;
- Levantamento geofísico completo;
- Levantamento geotécnico, buscando obter a correlação com dados geofísicos e caracterização sedimentar, para a realização ideal do dimensionamento ao quebra-mar.
- Simulação numérica de correntes e ondas como peça fundamental para a realização do projeto dos quebra-mares;
- Conhecimento das intensidades das linhas de correntes e medidas de correntes sazonais no inverno e verão.

Em suma, o dimensionamento de um quebra-mar é algo complexo, sendo dependente de vários fatores de difícil quantificação. É um processo iterativo e em que as soluções adaptadas têm que estar em sistemática atualização, sob forma da verdade hoje, não o ser amanhã.

REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e Gestão de Portos e Custas: A Técnica Aliada ao Enfoque Logístico e Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2009. 775 p.

BARROS, P. L. de A. **Obras de Contenção - Manual Técnico**. Jundiaí: São Paulo. Maccaferri, 2017. Disponível em: <https://www.maccaferri.com/br/download/tm-br-manual-obras-de-contencao-pt-feb21/>. Acesso em: 07 de maio de 2019.

BRAGA, A. L. C. **Caracterização Morfodinâmica dos Depósitos Sedimentares da Orla Fluvial da Cidade de Macapá, Amapá**. 2010. 117 f. Monografia - Pró-Reitoria de Ensino de Graduação - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2010.

CHIOSSI, N. **Geologia de engenharia**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 424 p.

CRAIG, R. F. **Craig Mecânica Dos Solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 390 p.

CRUZ, D. F. V. **Estruturas Portuárias – Possibilidades e Desafios no Dimensionamento de Quebramares**. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Universidade de Aveiro, Portugal, 2008.

FILHO, C. L. M.; NUMMER, A. V. **Introdução à Geologia de Engenharia**. 5 ed. Santa Maria: editoraufsm, 2014. 454 p.

GALLO, M. N.; DARDENGO, L.; FREIRE, L. C. S.; VILELA, C.; SOUSA, M.; SILVA, L. M.; KRELLING, A. P.; PEIXOTO, R.; PONTES, R. K.; VINZON, S. B.; LE GUENNEC, B. Caracterização Física da Área de Entre-Marés na Orla de Macapá (AP). In Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar, 2007, **Anais...** Florianópolis: XII COLOMAR, 2007.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2008, 200 p.

IAEG. **Commission “Engineering Geological Mapping”**. Classification of rocks and soils for engineering geology mapping. Part 1: rocks and soils materials Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Krefeld, v.19, p. 364 – 371, 1979.

INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E

TECNOLÓGICAS DO ESTADO DO AMAPÁ - IEPA. **Estudos dos Parâmetros Hidrodinâmicos, Morfodinâmicos e Sedimentares da Orla Urbano-Portuária dos Municípios de Macapá e Santana - Estado do Amapá**. Relatório Técnico Final. Amapá, 2008. 58 p.

KNAPPETT, J. A.; CRAIG, R. F. **Craig Mecânica Dos Solos**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 444 p.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5 ed. Rio Grande do Sul: UNIVERSIDADE FEEVALE, 2003. 311 p.

PEREIRA, G. S. **Projecto de um Quebramar Destacado de Proteção para a Frente Marítima de Espinho**. 2008. 222 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2008a.

PEREIRA, G. S. **Análise dos Processos de Rotura e de Escoamento em Quebramares de Taludes: Estudo do Quebramar Norte do Porto de Leixões**. 2008. 264 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2008b.

RANZINI, S. M. T.; NEGRO JR. A. **Obras de Contensões: Tipos, Métodos Construtivos, Dificuldades Executivas**. In: HACHICH, Waldemar et al. (Comp.). **Fundações: Teoria e Prática**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1998. Cap. 13, p. 497-515.

SANTOS, V. F. **Ambientes Costeiros Amazônicos: Avaliação de Modificações por Sedimentos Remoto**. 2006. 305 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) – Universidade federal Fluminense, Niterói, 2006.

SANTOS JUNIOR; P. J. **Gabiões e Estruturas de Arrimo: Análise Teórico-Numérico-Experimental do Comportamento Mecânico**. 2018. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2018.

SILVA, C. G. **Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos Atuantes na Linha de Costa**. In: NETO, J. A. B. (org), et al. **Introdução a Geologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 280 p.

SOUSA, N. M. B. **Obras Marítimas de Acostagem: O Caso do Porto de Abrigo da Ilha do Porto Santo**. 2011. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Madeira, Universidade de Madeira, Funchal, 2011.

SOUZA, C. R. G. **A Erosão nas Praias do Estado de São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco**. In: BONONI, V. L. R.; SANTOS JUNIOR, N. A. (Org.). **Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado**. Instituto de Botânica - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. 2009. p. 49-69.

SOUZA, C. R. G. **Praias Arenosas Oceânicas do Estado de São Paulo (Brasil): Síntese dos Conhecimentos Sobre Morfodinâmica, Sedimentologia, Transporte Costeiro e Erosão**

Costeira. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. Volume Especial 30 Anos, p. 307 – 371, 2012.

VILLWOCK, J. A. **A Costa Brasileira: Geologia e Evolução**. Notas Técnicas. CECO/UFRGS. RS, Brasil, 1994.