

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DA BARRA DA LAGOA DO CAMACHO, SANTA CATARINA, BRASIL

Daniella Borderes de Oliveira¹; João Luiz Baptista de Carvalho²;

Antônio Henrique da Fontoura Klein³

Resumo: Ao sul do estado de SC, entre os municípios de Laguna e Jaguaruna, encontra-se o Complexo Lagunar Sul-Catarinense. A Lagoa do Camacho ($28^{\circ} 36' S$ e $048^{\circ} 54' W$) faz parte deste complexo, e aparece conectada ao Oceano Atlântico pelo Canal do Camacho, que atravessa uma barreira arenosa. No entanto esta abertura não é permanente, o que acaba por gerar períodos de não contato entre a Lagoa do Camacho e o oceano. Este fato fez com que a comunidade pesqueira local solicitasse ao Governo do Estado uma obra que mantivesse o Canal do Camacho permanentemente aberto, e assim propiciasse a atividade pesqueira no interior da lagoa. Deste modo, ao fim de 1990 iniciaram-se as obras de estabilização da abertura da Lagoa do Camacho. Em julho de 1993, após uma longa interrupção, as obras foram finalmente concluídas. Entretanto, mesmo na presença dos guia-correntes a lagoa ainda oscila entre épocas de abertura e fechamento. O presente trabalho tem como objetivo analisar o grau de estabilidade da Lagoa do Camacho e os parâmetros que possuem influência sobre este; e consequentemente a eficiência das obras de engenharia efetuadas no local.

Abstract: In the southern portion of Santa Catarina province, between Laguna and Jaguaruna, lays the lagunal complex known as Complexo Lagunar Sul-Catarinense. Being a part of such complex, the Camacho's Lagoon appears conected to the Atlantic Ocean by the Camacho's Channel which flows through the sandy barrier. Nevertheless this channel is not permanently open; this generates periods of no contact between Camacho's Lagoon and the ocean. Because of such behavior the local fishermen's community asked the Province Government for a solution: something should be made

¹ Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG; ComCur de Pós Graduação em Engenharia Oceânica; Cx. Postal: 474; CEP: 96 201-900; Rio Grande; RS; Brasil; Fone/Fax: (0XX53) 233 66 19; dborderes@mailbr.com.br

² Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI; Centro das Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Laboratório de Oceanografia Física; Cx. Postal 360; CEP: 88302-202; Itajaí; SC; Brasil; Fone/Fax: (0XX47) 341 75 78; carvalho@cttmar.univali.br

³ Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI; Centro das Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Laboratório de Oceanografia Geológica; Cx. Postal 360 ; CEP: 88302-202; Itajaí; SC; Brasil; Fone/Fax: (0XX47) 341 75 78; klein@cttmar.univali.br

to keep the lagoon open and, as a consequence, the fishery inside it. So, by the end of 1990, the task of stabilizing the channel was started. In July 1993, after a long break in the works, the groins were finally built. However, even with the groins, the lagoon still shows an oscillating profile, being open just from time to time. This study aims to analyse the stability of Camacho's Lagoon and the factors which act over it; and, related to that, the efficiency of building groins in the area.

PALAVRAS-CHAVE: Canais de Maré, Estabilidade de Canais de Maré

1. INTRODUÇÃO

Lagoas costeiras são corpos d'água rasos, geralmente orientados paralelamente à costa, separados do oceano por uma barreira arenosa e conectados a este, mesmo que de modo intermitente, por um ou mais canais de maré (PHLEGER, 1969 e KJERVE & MAGILL, 1989 *apud* KJERVE, 1994). Estas recobrem 13% da região costeira de todo o globo terrestre (BARNES (*apud* KJERVE, 1990)), e desenvolvem-se em áreas de plataforma continental ampla, planície costeira extensa, e regime de ondas muito energético.

Estes ambientes estão presentes principalmente em locais de micromaré, embora também possam ser eventualmente encontrados nos de meso e macromaré. Conforme NICHOLS & BIGGS (1985), as variações de nível em áreas sob a influência de micromarés, mesomarés e macromarés são de 0 a 2 metros, 2 a 4 metros e acima de 4 metros, respectivamente.

O corpo d'água lagunar pode ser salgado, salobre ou doce. Isto devido à variação de maré, ao aporte fluvial e à processos como o de evaporação e/ou percolação, respectivamente (GOODWIN, 1996). KJERVE (*apud* KJERVE, 1990) classificou-as segundo os graus de troca d'água entre os ambientes continental e marinho, em três tipos: (1) sufocadas, apresentando apenas um pequeno canal ligando o sistema lagunar ao marinho; (2) restritas, com mais de um canal de ligação entre os dois sistemas e; (3) abertas, apresentando uma grande área de contato entre os dois sistemas. Estes canais são denominados “canais de maré” e apresentam na sua porção oceânica uma embocadura, também chamada de barra.

SKOU (1990), define canais de maré como as passagens que ligam as lagoas costeiras aos mares. Como o próprio nome sugere, o fator de maior importância na geração de correntes é a maré. Além de expostos à ação da maré, estes sistemas também estão condicionados à força das ondas à jusante e do fluxo d'água continental, oriundo da drenagem.

Os canais de maré surgem no ambiente costeiro de um modo natural, decorrentes, em sua maioria, de uma falha na barreira arenosa. Constituem-se de material frágil à erosão (areia), o quê faz com que apresentem geometria e localização oscilantes ao longo do tempo e em função das condições climáticas e oceanográficas. Tal oscilação, juntamente com a capacidade de resposta do canal, classifica-o como sendo estável ou instável.

O fato de uma barra ser estável depende do balanço entre os agentes desestabilizadores que favorecem o seu fechamento depositando sedimentos, e os agentes estabilizadores que propiciam a abertura, expelindo os sedimentos nela depositados (ROSMAN *apud* CALIXTO, 1990). Os agentes estabilizadores são os de características hidráulicas (velocidade da corrente de maré, volume d'água a ser escoado...), e os agentes desestabilizadores são os processos sedimentológicos (taxa de transporte de sedimentos). Modificações significativas em variáveis de um grupo causam mudanças nas variáveis do outro grupo. E as variáveis do primeiro grupo, através de um mecanismo de retroalimentação, voltam a ser afetadas por tais modificações. Assim, se uma barra apresenta predominância de processos gerados pelos agentes estabilizadores, diz-se que esta é estável. Caso contrário, se os agentes sedimentológicos forem os de maior influência sobre o sistema, este é considerado instável.

Então, considerando-se as relações existentes entre os agentes hidráulicos e sedimentológicos, torna-se possível a identificação de dois tipos de instabilidade: (1) a que gera a migração da barra ao longo da linha de costa, e, (2) a que leva ao fechamento da barra (estabilidade da seção transversal). Sendo que, neste trabalho consideraremos apenas o último tipo de instabilidade.

1.1 Fechamento de Barras

As barras de canais de maré podem estar sempre abertas, raramente abertas ou sujeitas a fechamentos periódicos (GOODWIN, 1996).

O grau de influência da maré e da quantidade de água doce (descarga fluvial) que chegam ao sistema, são os fatores primários responsáveis pela manutenção da profundidade de um canal de maré; além da duração e freqüência da inundação das áreas no continente próximas à barra.

Barras onde a área de seção transversal flutua ao redor de um valor tendem a ser estáveis contra o fechamento. Nestas, as variações em decorrência de eventos climatológicos extremos são relativamente pequenas, existindo assim uma tendência da área da barra retornar ao valor de equilíbrio (GOODWIN, 1996). Tais mudanças podem ser causadas por um escoamento substancial após ou durante uma enchente de um rio, ou ainda, devido a um transporte excepcional de sedimento junto à costa, reduzindo, desta forma, a área do canal da barra.

Barras instáveis são aquelas em que a área da seção transversal do canal não retorna ao equilíbrio após um evento perturbador. A instabilidade está associada a um decréscimo na área da barra, resultando numa redução na habilidade do escoamento, conforme descrição de VAN DE KREEKE (1992) (**apud** GOODWIN, 1996). Em uma barra instável, esta situação resulta em um fechamento gradual. Um evento que aumente a largura da barra, gerando um canal muito raso e pobemente definido, dificulta a drenagem do sistema, e também pode levar ao fechamento da barra (GOODWIN, 1996).

A taxa de liberação de sedimentos para a barra a partir do oceano aberto é governada pela taxa de transporte litorâneo ao longo e através da costa, resultantes da ação das ondas. A taxa de liberação de sedimentos continentais dependerá do transporte a partir do rio/bacia de drenagem e, em muitos casos, do aporte eólico. Se o escoamento da maré e a descarga fluvial forem insuficientes para remover os sedimentos depositados pela ação das ondas e ventos, a barra terá seu tamanho reduzido e poderá evoluir para o fechamento.

1.2 Utilização de Guia-Correntes

O controle das seções transversais e da profundidade dos canais de maré, através da fixação de suas margens por molhes normais à costa e/ou dragagens, é uma atividade bastante comum nas regiões costeiras. Tal manejo visa facilitar a navegação, o controle da qualidade d'água para as populações adjacentes ou o enriquecimento da lagoa por espécies marinhas. No entanto, muitas vezes isto é efetuado sem que sejam tomadas as devidas considerações sobre o ambiente e suas condições de estabilidade. Esta atitude vem ocasionando uma série de danos aos locais que sofreram este tipo de interferência. Os prejuízos devem-se principalmente às mudanças geradas por estas construções no padrão de transporte sedimentar ao longo da costa. Isto faz com que ocorram processos deposicionais ou erosivos indesejáveis, que podem levar ao assoreamento ou erosão de determinadas áreas.

2. ÁREA DE ESTUDO

No sul do estado de Santa Catarina, entre os municípios de Laguna e Jaguaruna, encontra-se o Complexo Lagunar Sul-Catarinense. A Lagoa do Camacho ($28^{\circ} 36' S$ e $048^{\circ} 54' W$) faz parte deste complexo, e aparece conectada ao Oceano Atlântico pelo Canal do Camacho, que atravessa uma barreira arenosa.

A Lagoa do Camacho é tida como sufocada, recobrindo uma área aproximada de 24 km^2 com profundidade média de 2 m (Instituto de Pesquisas Hidroviárias, INPH, 1993). “A precipitação e

evapotranspiração anuais médias são de 1.390 e 910 mm, respectivamente, resultando num superávit anual de 480 mm” (G.A.P.L.A.N., 1986). A média anual do fluxo de água doce no sistema é de $4,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, obtidos através dos parâmetros climáticos (KLEIN et al., 1998).

Segundo INPH (1991), a região oceânica é dominada pela ação de ondas, com altura inferior a 2,0 m em 98% do tempo. Os ventos NE são os mais freqüentes e intensos, seguidos dos de NNE, S e SW (INPH, 1992).

Entre a Ponta do Costão do Ilhote e o Cabo de Santa Marta Grande formam-se campos de dunas transversais, de dimensões e alturas variáveis. A formação é resultante dos ventos incidentes no local, sendo construída principalmente pelo vento NNE (GIANINI, 1993).

Medições efetuadas pelo DEOH-GEOCO na Lagoa do Camacho em 1994, mostram que o nível d’água médio é -0,30 m (em relação ao datum vertical do IBGE), mas pode oscilar de -0,41 m a +0,46 m , de acordo com as condições climáticas vigentes. A maré astronômica é classificada como semi-diurna com desigualdade diurna ($F=0,84$), sofrendo forte influência meteorológica (INPH, 1991).

2.1 Histórico das Condições de Abertura e Fechamento da Barra do Camacho

O histórico disponível para a Barra da Lagoa do Camacho (Quadro 1) demonstra que pelo menos desde 1927 ela vem apresentando um perfil de instabilidade, permanecendo fechada a maior parte do tempo e abrindo somente em épocas de condições meteorológicas extremas (KLEIN et al., 1998).

Devido às oscilações entre períodos de abertura e fechamento, há muito tempo a comunidade pesqueira local vinha solicitando ao Governo do Estado uma obra que mantivesse o canal da lagoa permanentemente aberto. Assim, o intercâmbio entre as águas dos dois sistemas aumentaria a salinidade dentro da lagoa e propiciaria a entrada de larvas de organismos marinhos (peixes e crustáceos) de valor econômico. Segundo os pescadores, a fixação da barra seria fundamental para o desenvolvimento sócio econômico da região. Além disto, o canal possibilitaria a diminuição dos riscos de cheias nos municípios das bacias dos rios Congonhas e Tubarão (DEOH-GEOCO, 1994).

QUADRO 1: PERÍODO, CONDIÇÕES DE ABERTURA/FECHAMENTO DA BARRA DO CAMACHO E CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS OCORRIDAS DURANTE O EVENTO (MODIFICADA DE FACIMAR, 1997).

| DATA | CONDIÇÕES DA BARRA | CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS |
|---|--|--|
| 1927 | Aberta, permanecendo assim até a metade da década de 30 | Tempestade excepcional (Pimenta, 1958), associada a enchentes históricas no Vale do Rio Itajaí (RADAMBRASIL - IBGE, 1986) |
| Meados da década de 30 até início da década de 70 | Não se tem registro de abertura duradoura | Ocorreram duas enchentes em 1957 e 1961 |
| 1952 e 1966 | Fechada | Levantamento aerofotográfico |
| 1972 | Fechada | Inundação no leste catarinense |
| 1973 | Aberta por alguns meses | Devido ao efeito acumulativo de chuvas e tempestades associadas |
| Março de 1974 a outubro de 1980 | Permaneceu aberta por um período de seis anos e oito meses | Abertura deu-se em período de pluviosidade anômala no Vale do Rio Tubarão (Bigarella & Becker, 1975) |
| Julho de 1983 a dezembro de 1990 | Aberta | Mais intensa manifestação do fenômeno “El Niño” (Arantes, 1992) |
| Final de 1990 | Fechada | Início das obras de fixação e abertura da barra do Camacho (INPH 63/91) |
| 03/10/1991 | Aberta | Fora do alinhamento do canal, entretanto ligando-se a este. Visita do INPH. Segundo moradores, a abertura se deu naturalmente por força de ondas há uns dois dias |
| 1992 | Fechada | Barreira chega a apresentar apenas 60 metros. Ano de manifestação do fenômeno “El Niño” (Arantes, 1992) |
| Janeiro de 1993 | Sem informações (provavelmente fechada) | Início da obra de abertura e fixação da barra do Camacho |
| 10/07/1993 a 23/08/1993 | Aberta | Em 15/06/93 abrem a barra devido às cheias na bacia do Rio Congonhas e em 25/07/93 ocorre uma ressaca conjugada com uma elevação anormal do nível do mar, resultando em deslizamento do molhe. Em seguida, foi fechada para reparos causados por tempestades (Vargas & Dias, 1995) |
| 15 de maio de 1994 | Aberta | Abertura emergencial da barra devido à cheia da Bacia do Rio Congonhas (DEOH-GEOCO, 1994) |

| DATA | CONDIÇÕES DA BARRA | CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS |
|-----------------------------|--------------------|--|
| Dezembro de 1994 | Fechada | Proposta do DEOH para reabertura |
| Maio de 1995 | Aberta | Implantado pela CIDASC o projeto de reabertura |
| Setembro a dezembro de 1995 | Fechada | Condições naturais |
| 23/12/1995 | Aberta | Abertura emergencial devido a grandes cheias. Nível d'água atinge +0,70 m. Permanece aberta pelo menos até os três próximos meses. Canal inicialmente dragado a -1,5 m chega a atingir a profundidade de até 6,0 m |
| Agosto de 1996 a 12/04/1997 | Fechada | Canal encontra-se fechado. Em 31 de outubro visita à barra pela equipe da FACIMAR/UNIVALI juntamente com equipe técnica do DEOH. Em 12 de abril visita à barra pela equipe da FACIMAR |

NOTA: Modificada de FACIMAR (1997).

2.2 Obras de Abertura e Fixação da Barra do Camacho

Diante das supostas melhorias que seriam geradas pela fixação da abertura da Barra do Camacho, a IFPSC (Inspetoria Fiscal dos Portos de Santa Catarina), nos últimos meses de 1990, deu início às obras. No entanto, as atividades de estabilização foram interrompidas logo a seguir.

Em outubro de 1991, o INPH realizou uma visita de inspeção ao local, onde encontrou as obras de estabilização desativadas e os molhes, aparentemente em bom estado, soterrados devido à ressaca recente (INPH, 1991). A visita gerou um parecer técnico, no qual, o INPH viabilizou o reinício das obras de fixação.

No mês de janeiro de 1993 foram retomadas as atividades de abertura e fixação da Barra do Camacho (DEOH-GEOCO, 1995). Desta vez o projeto foi modificado, posicionando os guia-correntes somente na barra do canal a uma profundidade de 1,5 m. As obras foram concluídas em 10/07/1993, mas já em 23/08/1993 a barra foi fechada artificialmente. Tal atitude se fez necessária para a recuperação do enraizamento dos guia-correntes, que haviam sofrido avarias devido às intensas correntes no canal após a sua fixação (INPH, 1993).

Uma ressaca conjugada com uma elevação anormal do nível do mar em 25 de julho de 1993 fez com que ocorresse deslizamento de 60 m no molhe NE e 58 m no SW. As avarias foram decorrentes do assentamento dos molhes em profundidade insuficiente (INPH, 1996).

2.3 Danos nos Molhes após a Conclusão da Obra

Devido às cheias ocorridas no período de dezembro de 1995 houve um deslizamento geral em 27 m do molhe SW para o interior do canal. Segundo INPH (1996), nos trechos recuperados em 1994, em ambos os molhes, cuja cota de fundação foi reestabelecida por orientação do DEOH na profundidade de -2,5 m (com relação ao nível zero do IBGE), não ocorreram recalques nem avarias.

No ano de 1995, em período anterior ao das cheias, notou-se o efeito “peral” (erosão no pé da obra ocasionada pela reflexão das ondas incidentes que provocam gradativamente o recalque nas extremidades) no cabeço do molhe SW, havendo um recalque de cerca de 1,5 m, cuja solução foi a reposição de blocos de mesma dimensão sobre os demais que foram rebaixados pela erosão (INPH, 1996). O fato se repetiu no molhe NE, mas de forma mais acentuada, erodindo aproximadamente 7,0 m contados a partir da extremidade do coroamento da obra para trás (INPH, 1996).

3. PROPOSTA DE ESTUDAR A ESTABILIZAÇÃO DO CANAL DA BARRA DO CAMACHO

Motivado pelos altos custos de manutenção o DEOH, em 1996, solicitou à FACIMAR um parecer técnico sobre a eficiência das obras realizadas para a perenização do Canal do Camacho (FACIMAR, 1997). Na ocasião levantou-se a hipótese de que o canal projetado não teria condições satisfatórias de estabilidade. Então, julgou-se que um estudo que analisasse a dinâmica da região em conflito seria bastante conveniente. A partir daí, gerariam-se informações que poderiam ser essenciais para qualquer tomada de decisão futura.

Deste modo, o presente trabalho vem complementar as informações sobre a Barra do Camacho, propondo-se a identificar o seu grau de estabilidade e os fatores que influem sobre este.

4. METODOLOGIA

4.1 Conhecimento da Dinâmica do Sistema

Antes de analisar a estabilidade da Barra do Camacho julgou-se necessário conhecer as freqüências principais de oscilação no sistema lagunar afim de determinar quais agentes teriam importância significativa na geração dos fluxos que poderiam manter o canal aberto.

Para tanto, foram utilizadas séries temporais de nível d’água, vento e vazão disponíveis para a região, repassados à UNIVALI/CTTMar pelo DEOH. As séries analisadas foram:

- registros de maré no Porto de Laguna de março a novembro de 1992 (INPH,1992);

- registros de nível d'água nas lagoas do Camacho, Santa Marta e Mirim no período de março a novembro de 1992(INPH,1992);
- registros de intensidade e direção de vento no Farol de Santa Marta referentes aos meses de março e abril de 1992 (INPH,1992);
- registros diários de descarga fluvial do Rio Tubarão para todo o ano de 1992 (cedidos pela ANEEL).

4.2 Determinação da Estabilidade

As informações utilizadas na análise de estabilidade foram extraídas dos levantamentos topo-hidrográficos realizados pelo INPH posteriormente à conclusão da obra.

4.2.1 Definição de Parâmetros

Na análise de estabilidade foram utilizados os seguintes valores dimensionais, retirados de DEOH-GEOCO (1995):

- comprimento do Canal do Camacho:1.000 m;
- largura do Canal do Camacho: 35 m
- profundidade do Canal do Camacho: 1,5 m
- área de menor seção transversal, A_c : $59,5 \text{ m}^2$
- talude das margens: 3:2
- área de espelho d'água: 24 km^2 (obtido via método das massas proporcionais)

Para determinar-se a variação dos níveis na embocadura oceânica do canal, foram determinadas as constantes harmônicas da maré para o Porto de Laguna através do pacote de programas PAC de FRANCO (1988) para análise harmônica de maré.

4.2.2 Critérios de Estabilidade

O estudo da estabilidade da Barra do Camacho foi analisado pelos critérios empíricos que se baseiam na:

1. Relação entre Prisma de Maré (P) e Área de Menor Seção Transversal(A_c);
2. Relação entre Velocidade Média Máxima (V_{\max}) e Área de Menor Seção Transversal (A_c);
3. Relação entre Capacidade de Resposta (C_r) e Área de Menor Seção Transversal (A_c).

As relações acima foram analisadas via solução analítica, realizada em planilha eletrônica seguindo metodologia de Mehta & Öszöy (1978) para hidráulica de canais de maré e a de O'Brien & Dean (1972) para estabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONHECIMENTO DA DINÂMICA DO SISTEMA

O nível d'água no Porto de Laguna variou entre 40 cm e -50 cm, com valor médio de -7,9 cm, enquanto que na Lagoa do Camacho a oscilação esteve entre 6 cm e -52 cm com média em -30 cm.

Cabe ressaltar que na época da medição da série de nível do Canal do Camacho a barra encontrava-se fechada não havendo, portanto, oscilações significativas de maré astronômica dentro da mesma.

Os espectros de energia referentes aos níveis d'água medidos no Porto de Laguna, e os espectros de fase e coerência entre as séries do Porto de Laguna e da Lagoa do Camacho são apresentadas nas (Figuras 5.1, 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3). Foram observados três períodos de oscilação mais significativos: 44,05; 18,79 e 12,30 dias. Estes ocorrem na Lagoa do Camacho com um atraso de fase de 3,14; 2,83 e 1,86 dias, apresentando coerência de 0.90; 0.95 e 0.8 respectivamente.

A série temporal de vazão do Rio Tubarão é apresentada na (Figura 5.2).

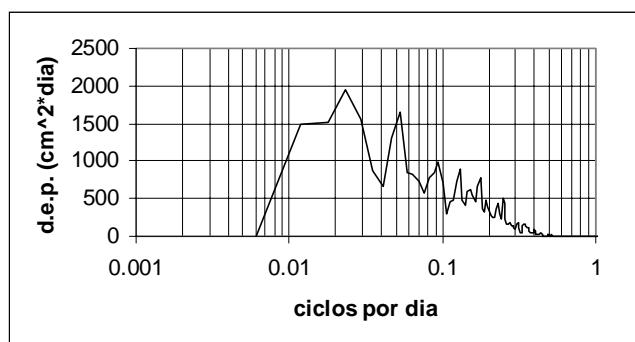


Figura 5.1: Espectro de potência para a série filtrada de nível d'água obtida no marégrafo do Porto de Laguna.

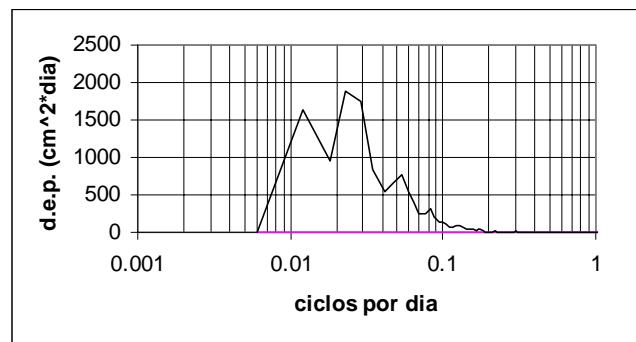


Figura 5.1.1: Espectro de potência para a série bruta de nível d'água obtida na régua do canal do Camacho.

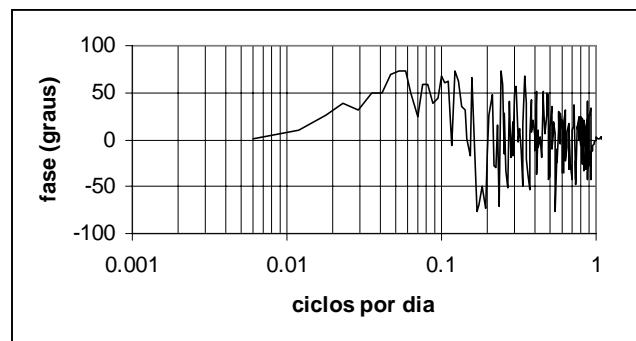


Figura 5.1.2: Espectro de fase entre as séries do marégrafo do Porto de Laguna e da régua do canal do Camacho.

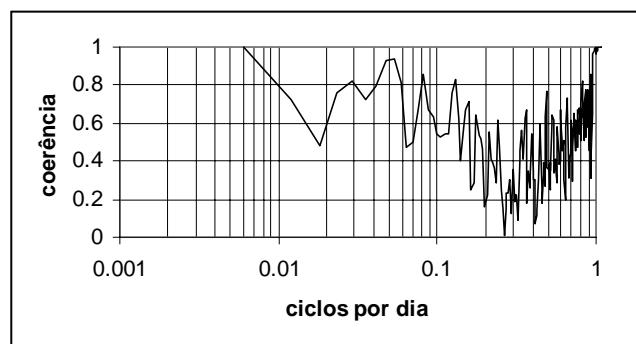


Figura 5.1.3: Espectro de coerência entre as séries do marégrafo do Porto de Laguna e da régua do canal do Camacho.

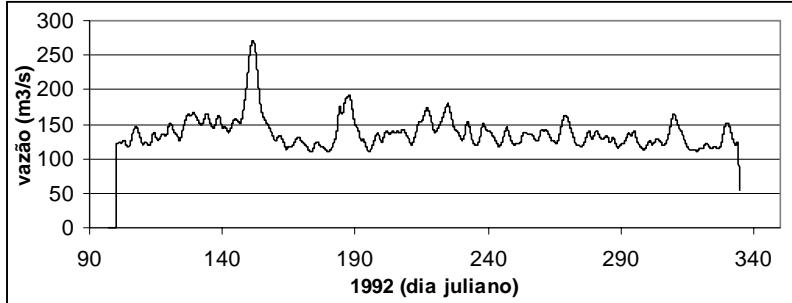


Figura 5.2: Vazão do Rio Tubarão obtida na estação limnimétrica do município de Tubarão para o período compreendido entre abril e novembro de 1992.

A partir dos espectros de energia, fase e coerência entre a série de vazão do Rio Tubarão e a de nível d'água medida no Porto de Laguna (Figuras 5.3, 5.3.1, 5.3.2), não foi possível observar uma correlação nítida entre estas para o período de observação. Entretanto, sabe-se que esta correlação existe em freqüências mais baixas. Os períodos de cheia induzem a um aumento significativo no nível médio dentro da lagoa. É este aumento de nível que força, em última análise, as aberturas das barras dos canais de maré intermitentes.

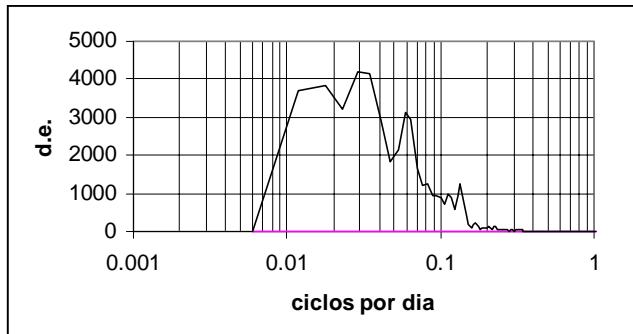


Figura 5.3: Espectro da série de vazão do Rio Tubarão.

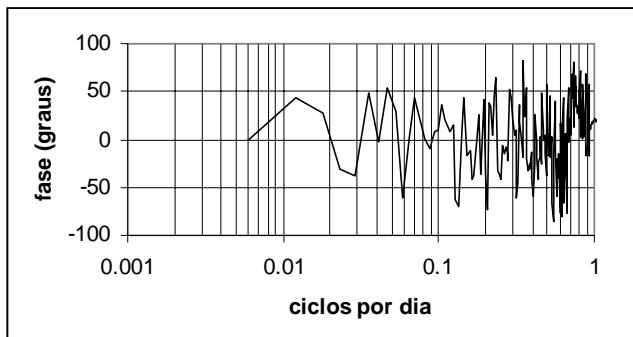


Figura 5.3.1: Espectro de fase entre as séries do marégrafo do Porto de Laguna e de vazão no Rio Tubarão.

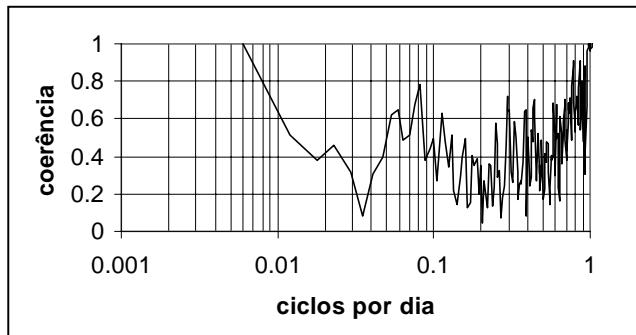


Figura 5.3.2: Espectro de coerência entre as séries do marégrafo do Porto de Laguna e de vazão no Rio Tubarão.

Observando-se o espectro de energia de nível d'água no Porto de Laguna sem a filtragem de marés (Figura 5.4) observa-se que os picos de energia devido às marés diurna e semidiurna são bastante significativos, embora menores que as outras oscilações acima de 10 dias.

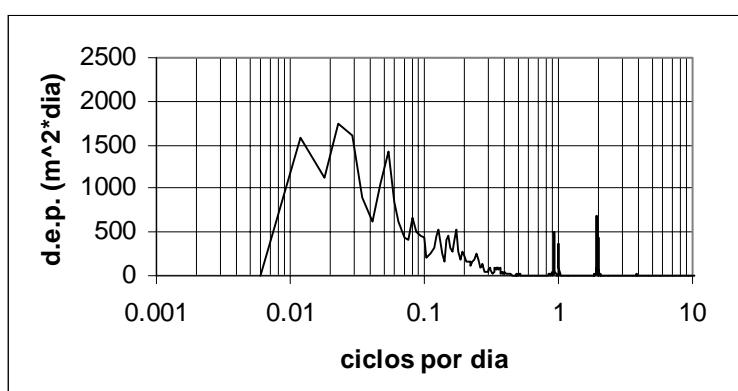


Figura 5.4: Espectro de potência para a série bruta de nível d'água obtida no marégrafo do Porto de Laguna.

Embora não haja medições de nível d'água na Lagoa do Camacho em situação de canal aberto, o padrão observado para Laguna deve se repetir no Camacho quando a lagoa se encontrar aberta. Fazendo uma análise de escala temporal, os fluxos no canal gerados pelas oscilações superiores a 10 dias, mesmo estas sendo as de maior energia, seriam muito inferiores aos da maré diurna, e esta aos da maré semidiurna. Isto porque os volumes de água que entram na lagoa na maré semidiurna teriam que escoar pelo canal numa escala de tempo muito menor (6 horas) gerando

velocidades maiores. Este fato permite determinar os critérios de estabilidade da embocadura do canal do Camacho considerando apenas os fluxos devido à propagação da maré semidiurna.

A análise harmônica de maré revelou que as componentes de maior importância agindo sobre o sistema são respectivamente a M_2 , S_2 , O_1 , K_1 (Quadro 2).

Nas simulações para os critérios de estabilidade foi utilizada uma amplitude máxima de 0,22 m. Este valor foi determinado como a maior variação de nível entre baixa-mar e preamar encontrada numa previsão de marés utilizando-se as quatro constantes harmônicas.

5.2 DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE

5.2.1 Relação Entre Prisma de Maré (P) e Área de Menor Seção Transversal (A_c)

Considerando os parâmetros dimensionais da obra e utilizando-se a metodologia de Metha & Özsöy (1978) para a hidráulica de canais de maré encontrou-se uma amplitude no interior da lagoa (a_B) de 0,034 m, partindo de uma oscilação de 0,22m na embocadura oceânica do canal; um prisma de maré, $P = 1.660.000 \text{ m}^3$; e uma área crítica da seção, A_c , ótima para 175 m^2 .

| QUADRO 2: PRINCIPAIS COMPONENTES DE MARÉ PARA LAGUNA, SC | | | |
|--|------------------|----------|-------------|
| | AMPLITUDE (m) | FASE (s) | PERÍODO (s) |
| M_2 | 0,0746 | 3.780 | 44.720 |
| S_2 | 0,0583 | 24.404 | 43.200 |
| O_1 | 0,0688 | 49.289 | 92.970 |
| K_1 | 0,0434 | 84.509 | 86.170 |

Segundo Jarret (1976), a A_c ótima está dentro do seguinte intervalo:

$$56\text{m}^2 \leq A_c \leq 327 \text{ m}^2,$$

com valor médio para A_c de 127 m^2 .

Deste modo notamos que a área de menor seção transversal A_c do Canal do Camacho ($59,5 \text{ m}^2$) não se enquadra nos critérios de estabilidade propostos por O' Brien e Jarret. Ou seja, apresentando este valor para A_c o canal é instável e não será capaz de manter-se aberto.

5.2.2 Relação Entre Velocidade Média Máxima (V_{\max}) e Área de Menor Seção Transversal (A_c)

A partir da análise da hidráulica de canais de maré, seguindo metodologia de Metha & Özsöy (1978), obteve-se um valor de velocidade média máxima, V_{\max} , de 0,12 m/s para o Canal do Camacho, considerando-se apenas a propagação de uma onda de maré semidiurna com 0,22 m de amplitude em sua extremidade oceânica. Para que o canal apresentasse condições de estabilidade, a solução analítica sugere que V_{\max} deveria ser 0,85 m/s.

O critério de Escoffier aplicado ao Canal do Camacho (Figura 5.1), mostra condições de estabilidade para diversos valores de áreas de menor seção transversal A_c , e amplitudes de maré a_0 . Deste, percebe-se que não há estabilidade quando os valores de A_c são inferiores a 200 m², e a V_{\max} é menor que 0,4 m/s.

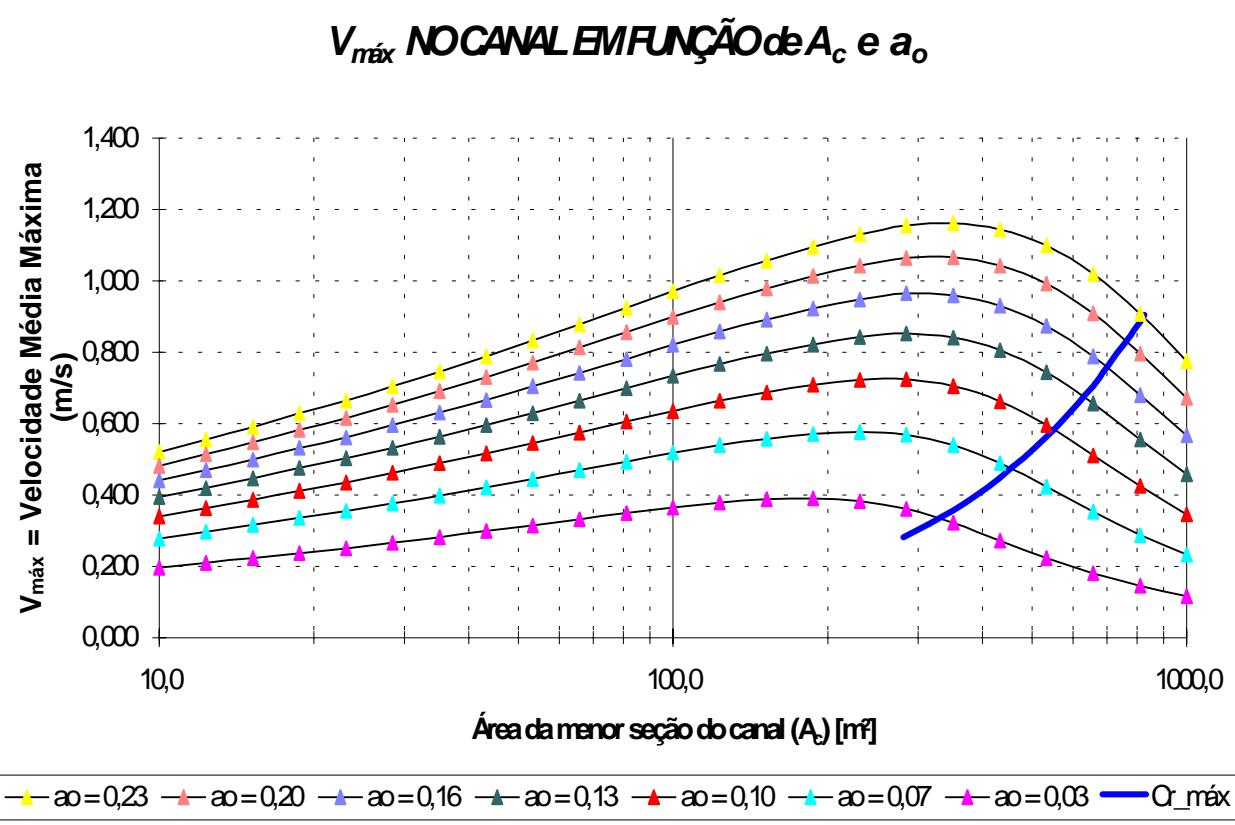


Figura 5.1: Curvas de estabilidade e de capacidade de resposta para a Barra do Camacho

5.2.3 Relação Entre Capacidade de Resposta (C_R) e Área de Menor Seção Transversal (A_c)

A capacidade máxima de resposta C_R , calculada via solução analítica é mostrada na Figura 5.1 (linha cheia azul). Nota-se que mesmo com uma amplitude de maré mínima de 0,03 m, o ambiente só apresentaria capacidade de voltar ao equilíbrio se sua A_c fosse de no mínimo 280 m^2 .

O critério da velocidade média máxima, V_{max} , impõe um valor em torno de 0,8 m/s para que sejam criadas condições ideais de fluxo no canal, e consequentemente uma área de menor seção transversal estável. Vimos através dos valores calculados que raramente o canal irá apresentar tal velocidade, impossibilitando a remoção dos sedimentos depositados pelas ondas, o que levará ao assoreamento da embocadura.

No gráfico que mostra o critério de Escoffier (Figura 5.1) nota-se que o canal fixado com A_c de $59,5\text{ m}^2$ está muito longe de apresentar condições estáveis. As curvas de estabilidade para as diferentes amplitudes de maré mostram que A_c seria estável num valor mínimo de 200 m^2 . Isto considerando uma a_0 mínima de 0,03 m. Para uma situação extrema no Canal do Camacho, com a_0 de 0,22 m, um A_c estável seria de 350 m^2 .

Portanto, o Canal de Camacho, para toda e qualquer amplitude de maré atuante, apresenta A_c muito abaixo das dimensões mínimas necessários para a sua estabilidade.

No caso de uma proposta de estabilização do canal seria necessário determinar-se as percentagens de ocorrência de cada amplitude de maré, e então encontrar-se um A_c estável para a mais freqüente. Como os custos para obtenção de um A_c sempre estável são geralmente muito altos, estuda-se uma percentagem de tempo em que deseja-se que o canal apresente condições de estabilidade, e propõe-se A_c baseado neste valor.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se os aspectos ambientais da região e seu histórico de abertura e fechamento, supõe-se que as obras de implantação dos molhes na Barra do Camacho afim de mantê-la permanentemente aberta foram um equívoco: os guia-correntes não atingiram plenamente seu objetivo, que era de permitir a troca d'água ininterrupta entre o Oceano Atlântico e a Lagoa do Camacho.

Através da aplicação dos critérios de estabilidade utilizados neste trabalho, pôde-se perceber que a Barra do Camacho apresenta um pronunciado perfil de instabilidade.

Como mostrado na seção (5), a Barra do Camacho apresenta área mínima de seção transversal e velocidades de fluxo muito abaixo daquelas que gerariam condições de estabilidade para o sistema. Para que esta seja aberta é necessário um período de elevadas descargas fluviais.

Uma vez aberta, o fluxo no canal será mantido pela ação das marés. Considerando que o fluxo no canal é mantido não pela maré meteorológica, mas sim pela maré astronômica semidiurna, de baixo potencial energético, as velocidades geradas não serão eficientes na remoção do sedimento depositado. Assim, com as elevadas taxas de transporte sedimentar de origem continental e oceânica que ocorrem no local, o canal evolui até um estado de completo assoreamento.

Deste modo, para que o processo de fechamento da Barra do Camacho fosse melhor compreendido, propõe-se estudos que determinem a importância quantitativa do transporte sedimentar da área, pois, como já mostrado o efeito qualitativo é bastante importante.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALIXTO,R.J.. **Estabilidade Hidráulico-Sedimentológico de Embocaduras de Canais de Maré**
- **O Caso da Lagoa Rodrigo de Freitas.** Rio de Janeiro, 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- DEOH-GEOCO. **Relatório do Acompanhamento dos Níveis D'Água da Cheia Ocorrida na Bacia Hidrográfica do Rio Congonhas em Maio de 1994.** Florianópolis, 1994.
- _____.**Relatório a Respeito das Obras de Fixação e Abertura da Barra da Lagoa do Camacho.** Florianópolis, 1995.
- _____.**Monitoramento das Salinidades nas Lagoas do Camacho e Garopaba do Sul e na Bacia do Rio Congonhas em Função da Reabertura da Barra do Camacho.** Florianópolis, 1995.
- FACIMAR. **Parecer Técnico Sobre o Conjunto de Obras Já Efetuadas e Previstas Para Perenização do Canal da Barra do Camacho.** Itajaí, 1997.
- FRANCO, A. S.. **Tides: Fundamentals, Analysis and Prediction.** 2. ed. São Paulo: FCTH, 1988.
- G.A .P .L .A .N. **Atlas de Santa Catarina.** Florianópolis, 1986.
- GIANINI, P.C.F.. **Sistemas Deposicionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC.** São Paulo, 1993. Tese (Doutoramento em Geologia Sedimentar) - Setor de Geociências. Universidade de São Paulo.
- GOODWIN, P. **Predicting The Stability of Tidal Inlets for Wetland and Estuary Management. Journal of Coastal Research,** Fort Lauderdale, n.23, p.83-101, 1996.
- INPH. **Parecer Técnico Quanto aos Aspectos Hidráulicos-Sedimentológicos Relativos à Obra de Fixação da Barra do Camacho.** Rio de Janeiro, 1991.
- _____. **Monitoramento Ambiental do Complexo Lagunar da Região Sul Catarinense - Medições de Níveis D'Água e Vento.** Rio de Janeiro, 1992.
- _____. **Simulação do Escoamento de Maré e das Concentrações de Sal na Lagoas do Camacho e Garopaba do Sul, Santa Catarina.** Rio de Janeiro, 1993.

_____. **Inspeção Técnica Realizada na Barra do Camacho.** Rio de Janeiro, 1996.

KJERVE, B.. **Manual for Investigation for Hydrological Processes in Mangrove Ecosystems.**

Paris: UNESCO, 1990.

_____. **Coastal Lagoon Processes.** Amsterdam: Elsevier Science, 1994.

KLEIN, A.H.F.; SHETTINI, C.A.F.; CARVALHO, J.L.B.; DIEHL, F.P.. Implications of Inlet Stabilization on the Camacho Lagoon, Southern Brazil. In: International Coastal Symposium (1998: Miami). **Anais...** Miami. p. 00-00 (no prelo).

NICHOLS, M.M.; BIGGS, R.B.. Estuaries. In: DAVIS JR, R.A. **Coastal Sedimentary Environments.** Springer-Verlag, 1985. p. 345-363.

SKOU, A.. On the Geometry of Cross-Section Areas in Tidal Inlets. **Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering Technical University of Denmark**, Lyngby. n.51, 1990.