

Integração da gestão de recursos hídricos e da zona costeira em Santa Catarina: a zona de influência costeira nas bacias dos rios Mampituba, Araranguá, Tubarão e Tijucas, SC

Integrated management of water resources and coastal zone: the zone of coastal influence in the basins of Mampituba, Araranguá, Tubarão and Tijucas rivers, SC, Brazil

Ester Loitzenbauer¹ e Carlos André Bulhões Mendes²

¹ Universidade do Estado do Rio Grande do Sul, Osório, RS, Brasil

ester-loitzenbauer@uergs.edu.br

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

mendes@iph.ufrgs.br

Recebido: 22/07/2015 - Revisado: 26/09/2015 - Aceito: 23/02/2016

RESUMO

Como o uso do solo na bacia hidrográfica afeta a zona costeira, ambas as esferas devem ser geridas de maneira integrada. Contudo, as políticas brasileiras de manejo dos dois ambientes estão fragmentadas e não há efetiva consideração da zona costeira como parte integrante da bacia hidrográfica. A introdução de uma Zona de Influência Costeira (ZIC) é importante para incluir as relações de causa e efeito entre o uso do solo e da água e a zona costeira durante o processo de gestão, principalmente para aplicação da outorga e do licenciamento. O presente estudo visa testar se a utilização da ZIC baseada em critérios físicos é útil para a gestão costeira integrada. O critério físico utilizado é a propagação da onda de maré no estuário, que é simulada através do módulo de fluxo não permanente do modelo HEC-RAS. O estudo de caso são as bacias dos rios Mampituba, Araranguá, Tubarão e Tijucas, SC. A ZIC foi definida utilizando a vazão mínima afluente, resultando em: até 29 km a montante para o rio Mampituba; 34,4 km no rio Itoupava e 28,8 km no rio Mãe Luíza (afluentes ao Araranguá); 20,7 km no rio Tubarão e 21,25 km no rio Tijucas. O modelo representou de maneira satisfatória a penetração da maré astronômica, porém gerou uma ZIC pequena devido à baixa amplitude de maré nos estuários analisados. A ZIC baseada em critérios físicos se mostra uma ferramenta útil, porém o critério utilizado precisa de adaptações, como a inclusão da linha de 50 km da costa ou a observação da maré meteorológica.

Palavras Chave: Propagação da onda de maré. Remanso. HEC-RAS. Gerenciamento Costeiro.

ABSTRACT

The land use in the basin directly affects the coastal zone as both are connected and must be managed in an integrated manner. However, in Brazil the management policies of both environments are fragmented and there is no effective consideration that the coastal zone is part of the basin. This study aims to test whether the use of a zone of coastal influence (ZCI) based on physical criteria is useful for integrated coastal management. The physical criterion used is the propagation of tidal wave in the estuary, which is simulated by the non-permanent flow module of HEC-RAS model. The case study is the basins of Mampituba, Araranguá, Tubarão and Tijucas rivers, Santa Catarina state, Brazil. The ZCI was set using the minimum affluent flow, which leads to: up to 29 km upstream in the Mampituba River, 34.4 km in Itoupava River and 28.8 km in Mãe Luíza River (both Araranguá River affluents), 20.7 km in Tubarão River and 21.25 km in Tijucas river. The model showed good results for the penetration of the astronomical tide, although the ZCI was small due to low tidal range in the analyzed estuaries. The ZCI based on physical criteria proves to be a useful tool, but the criteria used need adaptations, such as the inclusion of 50 km line from the coast or the propagation of meteorological tide. The ZCI is important to include the cause and effect relationships between land and water use and coastal zone management, especially for the grant of water rights and environmental licensing.

Keywords: Tidal Waves Penetration. Backwater. HEC-RAS. Coastal Management.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é a origem do sistema de rios que suprirá os estuários e zonas costeiras com água doce e sedimentos. Através desse contínuo fluvio-marinho costeiro (NICOLODI; ZAMBONI; BARROSO, 2009) o uso do solo na bacia afeta a zona costeira. Destaca-se, assim, a importância da gestão integrada entre os recursos hídricos e a zona costeira.

Contudo, existe uma lacuna na gestão integrada no Brasil. As políticas de gerenciamento costeiro e de recursos hídricos são separadas institucionalmente, sendo que os recursos hídricos, de competência do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), onde a gerência acaba quando a influência oceânica começa, e a partir daí começa a ingerência do Gerenciamento Costeiro. Não há efetiva consideração de que a zona costeira é parte integrante da bacia hidrográfica, mesmo nas partes baixas das bacias (próximas ao exutório), como nas áreas que drenam diretamente para o oceano (e que, neste caso, não pertencem à bacia, mas são influenciadas pelo uso do solo nela).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997) rege a gestão de águas e Agência Nacional de Águas (ANA) apresenta competência executiva para a gestão. Entretanto, as normativas que definem a sua ingerência contemplam apenas a bacia hidrográfica – considerada como a área de drenagem das águas continentais ou águas doces (salinidade até 0,5‰). Assim, se considera que não é competência da ANA e do SINGREH as áreas estuarinas, e os instrumentos de gestão de recursos hídricos (como a outorga) só deveriam ser aplicados em corpos de água doce. O gerenciamento costeiro observa a definição de zona costeira presente no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II – PNGC II (Res. CIRM N° 005/1997). Nesta definição, a faixa terrestre da zona costeira (integrante da bacia hidrográfica) é formada pelos municípios que sofrem influência dos fenômenos ocorrentes na zona costeira, por exemplo, defrontantes com o mar; ou distantes até cinquenta quilômetros da linha da costa, que contemplem, em seu território, atividades ou infraestruturas de grande impacto ambiental na zona costeira. Assim, um ambiente contínuo é fragmentado. A contaminação das águas costeiras e estuarinas e o aumento da intrusão salina são exemplos de problemas que podem surgir quando a gestão não é feita de forma integrada (GENZ; LESSA; CIRANO, 2008; LOITZENBAUER; MENDES, 2012).

A gestão costeira não deve ser separada da gestão de recursos hídricos, e para isso deve haver a delimitação clara e prática da zona de gestão integrada. Clark (1996) indica que a delimitação da zona costeira deve corresponder às unidades físicas ou ecológicas da costa. Uma forma de representar o ambiente físico costeiro é através da salinidade – maior salinidade, maior influência oceânica, menor ação continental, e vice-versa (LOITZENBAUER; MENDES, 2011). Outro meio de definir o limite costeiro é ação da maré – até aonde o efeito da elevação do nível do mar é sentida (KJERFVE, 1987). Destaca-se que a utilização do limite máximo da penetração da maré para delimitar o estuário é utilizada no estado americano do Texas, que possui tradição no gerenciamento do fluxo de águas doces à zona costeira (TEXAS, 2009).

A utilização do limite da maré seria mais apropriada para a gestão integrada, pois cria uma área maior do que utilizando a salinidade. No processo de gestão desta área, chamada de Zona de Influência, o uso do solo deve observar as consequências para a zona costeira, sem fazer parte dela. Em geral, a utilização da salinidade definiria uma zona costeira como as mesmas dimensões espaciais que são geradas pela definição do PNGC II, pelo menos nos estados do sul do Brasil. Salienta-se que a aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos deve ser feita em toda a área territorial da bacia – incluindo a zona costeira terrestre. O que se preconiza neste artigo é a criação de uma área que não pertença à zona costeira, mas que continue a observar as implicações geradas diretamente à zona costeira. A gestão integrada de recursos hídricos e da zona costeira deverá ser feita tanto na zona costeira como nesta zona de influência.

Desta forma, o presente estudo pretende testar a seguinte hipótese: *A utilização de uma zona de influência costeira baseada em critérios físicos é útil para a gestão integrada costeira, sobretudo com os recursos hídricos?* Para testar essa hipótese, utiliza-se a definição de estuário de Kjerfve (1987) como critério físico, onde o limite superior do estuário é limitado pela propagação da onda de maré. Assim, a Zona de Influência Costeira (ZIC) é definida como área entre a zona costeira (municípios costeiros do PNGC II) e o limite superior do estuário (Figura 1). A área de estudo para aplicação da metodologia são as bacias dos rios Mampituba, Araranguá, Tubarão e Tijucas, localizados no estado de Santa Catarina, devido à deficiência no processo de gestão integrada do estado (LOITZENBAUER; MENDES, 2014). Posteriormente, são discutidas as implicações da ZIC para a gestão integrada de recursos hídricos e de meio ambiente na zona costeira.

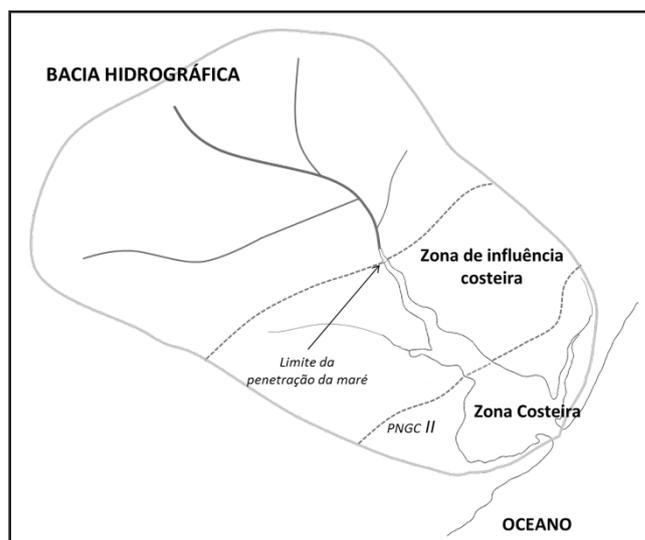


Figura 1 - Esquema da delimitação da zona costeira e da Zona de Influência Costeira a partir da definição de estuário de Kjerfve (1987) e Loitzenbauer e Mendes (2014)

METODOLOGIA UTILIZADA

Área de Estudo

O foco do presente estudo são os trechos baixos das bacias (estuários) dos rios localizados no litoral sul do estado de Santa Catarina: Mampituba, Araranguá e Tubarão, e no litoral central do estado, Tijucas, já acima da ilha de Florianópolis (Figura 2). Estes estuários apresentam características geomorfológicas distintas, porém são estreitos, rasos e estão sujeitos ao mesmo clima e regime de marés, micro maré (amplitude menor que 2 m) semi-diurna com desigualdades diurnas. Na região, a maré meteorológica apresenta importância na elevação do nível do mar e está relacionada à ocorrência de ventos provenientes do quadrante sul/sudoeste (COASTAL PLANNING & ENGINEERING DO BRASIL, 2011). Existem poucos estudos sobre essas bacias.



Figura 2 - Bacias dos rios estudados: Tijucas, Tubarão, Araranguá e Mampituba

O rio Mampituba, que faz divisa com o estado do Rio Grande do Sul, drena uma área de aproximadamente 1.200 km², com vazão média de 19 m³.s⁻¹ e uma profundidade média em torno de 4 m (D'AQUINO, 2010). O rio nasce nas escarpas basálticas da Serra Geral e deságua no Oceano Atlântico após 62 km de oeste a leste (D'AQUINO et al., 2011a). No estuário, os efeitos da maré são sentidos a quilômetros a montante da foz (GUERRA, 1997), e a desembocadura do rio é fixa por molhes.

A bacia de drenagem do rio Araranguá apresenta uma área de 3020 km², com vazão média de 65 m³.s⁻¹ e profundidade de 8 m (D'AQUINO, 2010). Suas nascentes estão localizadas na Serra Geral, com 15 cursos de água compondo o seu sistema hídrico. O rio Araranguá é formado pela junção dos rios Itoupava e Mãe Luzia, e após se tornar o Araranguá apresenta apenas um único afluente, o rio dos Porcos. Com orientação Leste-Oeste e sinuosidades do tipo meandrante, sua foz desloca-se para nordeste paralelamente a linha de costa por cerca de 7 km antes de desaguar no mar. As principais atividades econômicas desenvolvidas nessa bacia são o cultivo de arroz, a mineração,

a suinocultura, abastecimento público e atividades de turismo e lazer (D'AQUINO; PEREIRA FILHO; SCHETTINI, 2010). Os principais problemas ambientais da bacia estão relacionados ao aumento da população, agricultura extensiva e a extração e beneficiamento do carvão. D'Aquino, Pereira Filho e Schettini (2010) analisaram a hidrodinâmica do estuário após a passagem de uma inundação rápida, e Coastal Planning & Engineering do Brasil (2011) modelou a intrusão salina em face de diferentes cenários de vazão e de fixação da barra do rio Araranguá.

O rio Tubarão, o segundo maior da drenagem atlântica do estado, drena uma área de aproximadamente 5.600 km² após percorrer 120 km (BELTRAME, 2003), possuindo uma vazão média de 130 m³.s⁻¹ e profundidade de 5 m (D'AQUINO, 2010). O rio Tubarão nasce junto a Serra Geral, e tem como seus principais afluentes os rios Braço do Norte e Capivari. O uso da água na bacia é intenso, tendo como usos abastecimento público de pelo menos seis municípios, abastecimento industrial, irrigação, recreação, atividade pesqueira e turística. Toda a bacia é considerada bastante impactada, principalmente por atividades carboníferas, agrícolas, pecuárias, entre outras (LIMA et al., 2001). Bertoluzzi (2003) e Marcomin (1996) analisaram os aspectos socioambientais da bacia, usos da água e impactos ambientais das atividades regionais. Beltrame (2003) foi o primeiro a estudar as características oceanográficas aplicadas à produção de camarão, e D'Aquino et al. (2011b) analisou o transporte de sal e a hidrodinâmica do baixo estuário.

O rio Tijucas apresenta uma bacia de drenagem de 2.400 km², vazão média de 50 m³.s⁻¹ e profundidade média de 3 m (D'AQUINO, 2010). Na bacia desenvolvem-se atividades agropecuárias e há um polo cerâmico. Este último leva à mineração a céu aberto de solos para a extração de argila, o que intensifica a erosão e o transporte de sedimentos para o rio e estuário. A hidrodinâmica e a distribuição dos sedimentos no estuário foram estudadas por Schettini e Carvalho (1998).

Descrição do modelo

A premissa utilizada para a simulação é que, nos trechos finais da bacia hidrográfica (região estuarina), há uma região de baixa declividade, em regime subcrítico e sujeito aos efeitos da oscilação dos níveis do mar. Esse trecho final é controlado pelos fenômenos de jusante (oceano).

Para o cálculo da linha d'água nesta situação, foi utilizado o módulo não permanente do modelo HEC-RAS 4.1.0 (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2010). Assume-se que o estuário se estende até a seção onde a oscilação da maré gera elevação do perfil da linha d'água (remanso) de mais de 0,1 m.

O módulo não permanente do HEC-RAS utiliza as equações completas de Saint-Venant, conservação de massa (1) e quantidade de movimento (2), para representar o escoamento unidimensional.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (2)$$

onde Q é a vazão do rio; A é a área molhada da seção transversal do rio; h é o nível d'água no rio; g é a aceleração da gravidade; t é o tempo; x é a distância no sentido longitudinal do rio e S_f é a declividade da linha de energia.

A declividade da linha de energia (S_f) é representada pela equação de Manning (3):

$$S_f = \frac{Q \cdot |Q| \cdot n^2}{R^{4/3} \cdot A^2} = \frac{Q \cdot |Q|}{K_c^2} \quad (3)$$

onde R é o raio hidráulico (razão entre a área e o perímetro molhado da seção), n é o coeficiente de rugosidade de Manning e K_c é a condutância hidráulica.

O coeficiente de rugosidade de Manning (n) representa o atrito com o leito do rio, englobando o efeito da forma e da vegetação existente.

As equações de Saint-Venant representam um sistema de equações diferenciais com duas variáveis independentes (x e t) e duas variáveis dependentes (h e Q); os outros termos ou são constantes ou são funções das variáveis citadas. O modelo resolve essas equações aproximando-as pelo esquema numérico de diferenças finitas de Preissmann (1961). Posteriormente, o sistema de equações algébricas é resolvido para dadas condições inicial e de contorno. Mais detalhes sobre o esquema numérico de Preissmann (1961) e as aproximações do modelo podem ser obtidos em Fread (1993) e U.S. Army Corps of Engineers (2010).

As condições iniciais utilizadas são a geometria (para A e R) e os coeficientes de rugosidade (n) das seções transversais, e a vazão inicial (Q) na seção mais a montante. Como condições de contorno de montante pode ser utilizado o hidrograma de entrada (Q) e de jusante a variação do nível (h).

Dadas as aproximações das equações parciais, a rotina de cálculo das equações algébricas resultantes fica:

1) Cálculo da velocidade média (v), da taquicarga (bv) e a condutância hidráulica (K_c) para cada seção a partir das equações 4, 5 e 6;

$$v_1 = \frac{Q_1}{A_1} v_1 = \frac{Q_1}{A_1} \quad (4)$$

$$h_{v1} = \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} h_{v1} = \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \quad (5)$$

$$K_c = \frac{A_1 R_1^{2/3}}{n} K_c = \frac{A_1 R_1^{2/3}}{n} \quad (6)$$

onde α é o coeficiente de Coriolis, g é a aceleração da gravidade e b_v é a taquicarga.

2) O modelo assume um nível d'água para a seção seguinte e, assim, um tirante correspondente (y_2) e calcula v_2 , bv_2 e K_c pelas fórmulas descritas;

3) Em seguida, é determinado a perda de carga (h_e) entre as seções 1 e 2, através da equação (7):

$$h_e = LS_f + c \cdot \left(\frac{\alpha_2 v_2^2 - \alpha_1 v_1^2}{2g} \right) \quad (7)$$

onde L é a distância entre as seções 1 e 2.

4) Também é calculado um segundo tirante na seção 2 (y'_2) pela equação (8):

$$y'_2 = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e - \left(z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \quad (8)$$

onde z_i é a cota do ponto mais profunda seção i , em relação a qual o tirante é referido.

5) O módulo da diferença entre y_2 e y'_2 é calculado, com tolerância admitida. Se o módulo for maior que a tolerância, retorna-se ao segundo passo, assumindo-se como novo y_2 a soma algébrica do anterior mais 70% da diferença. Nas iterações seguintes aplica-se o método das secantes, repetindo-se todo o procedimento até que a diferença mencionada seja menor que a precisão admitida.

6) Definido valor de y_2 , parte-se para a seção seguinte, retornando ao primeiro passo.

Como resultado, o modelo apresenta os valores de velocidade (v), nível (h) e a condutância hidráulica (K_c) para cada seção.

Aplicação do modelo

Nas bacias em estudo, como condição de contorno de jusante, foi utilizada a variação horária da maré astronômica na boca do estuário. Para os rios Mampituba, Araranguá e Tubarão foram utilizados dados da tábua de maré da Marinha do Brasil (2012) para o Porto de Imbituba, SC (Figura 3) – local mais próximo com dados. Para o rio Tubarão, como não havia dados de seção transversal na boca do estuário, optou-se por considerar a condição de contorno de jusante no limite entre o Rio Tubarão e a Lagoa Santo Antônio. Optou-se pelo período de 8 a 15 de Janeiro de 2012 por ser maré de sizígia, período de maior amplitude da maré, mesmo período simulado. Para o rio Tijucas utilizou-se a tábua do Porto de Florianópolis, SC (Figura 3) para o mesmo período.

Como condição de contorno de montante, foram utilizados dados de seção transversal, níveis e vazão obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA/Hidroweb) (Tabela 1). Outras seções transversais necessárias para a simulação, ao longo do estuário e principalmente na boca do estuário (limite inferior da simulação) foram obtidas de D'Aquino (2010). A altitude de todas as seções transversais foi ajustada pelas elevações indicada no ponto no Modelo Numérico do Terreno (MNT), visto que não estavam referenciadas pelo nível do mar. Para melhorar a simulação, seções transversais foram interpoladas entre as seções

existentes e foram ajustadas pela elevação do ponto no MNT, de forma a gerar pelo menos uma estação referenciada a cada 5 km. A figura 4 apresenta as seções utilizadas para cada estuário.

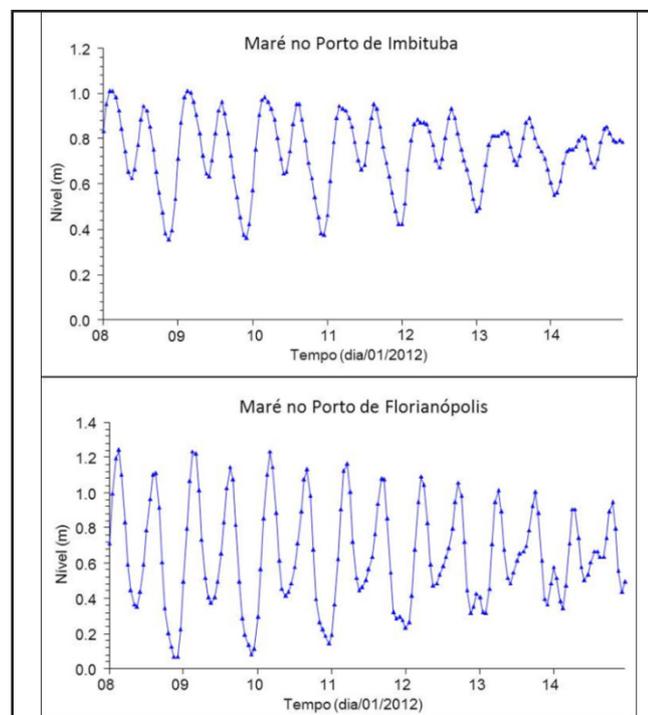


Figura 3 – Variação horária da maré astronômica no Porto Imbituba e em Florianópolis, SC durante o período de 8 a 15 de janeiro de 2012

Fonte: Dados da Marinha do Brasil (2012)

Nos rios Mampituba e Tijucas, o aporte de vazão dos tributários localizados a jusante da condição de contorno de montante não foi considerado. Foi assumido que a influência destes tributários não é significativa.

A simulação da bacia do Rio Araranguá considerou os dois principais afluentes, os rios Itoupava e Mãe Luzia. O Rio Itoupava utilizou como condição de contorno a vazão afluente na estação Taquaruçu e o Rio Mãe Luzia insere a soma das vazões nas estações Foz do Manoel Alves e Forquilha (Tabela 1) numa seção interpolada a jusante da confluência entre os dois rios (número 12 na Figura 4).

Inicialmente, foi feita a simulação do Rio Tubarão sem considerar a influência do rio Capivari na vazão aportando ao estuário. O resultado indicou que a propagação da maré não chega até a confluência do rio Capivari com o Tubarão (estação 11,5 na Figura 4). Então, a simulação se repetiu, excluindo-se as estações localizadas a montante da confluência. Na estação 11,5 foi computada a soma entre a vazão do rio Tubarão (estação Rio do Pouso) e a do rio Capivari (estação Armazém Capivari).

Foram representados três cenários de variação da vazão afluente ao estuário: média, média das mínimas mensais e mínima registrada, obtidos dos dados das estações consideradas condição de contorno a montante (Tabela 1). Para melhor representar o remanso causado pela maré, foi utilizado um hidrograma constante no tempo para cada vazão.

A partir da simulação hidrológica, o limite do remanso causado pela maré é definido no rio principal. A partir da diferença entre os níveis máximo e mínimo da água em cada cenário simulado, o limite do estuário foi definido como sendo o ponto mais a montante onde essa diferença foi maior que 0,1 m. Esse ponto foi marcado no mapa em software de geoprocessamento.

Tabela 1 – Estações ANA/Hidroweb utilizadas como condição de contorno de montante (Figura 4)

Estação	Mampituba	Araranguá			Tubarão		Tijucas
		Itoupava	Mãe Luzia		Rio do Pouso	Armazém Capivari	
	Praia Grande 84970000	Taquaruçu 84949800	Foz do Manoel Alves 84853000	Forquilha 84820000	Rio do Pouso 84580000	Armazém Capivari 84600000	São João Batista 84095500
Série de vazões	1986 a 2006	1943 a 2004	1977 a 2004	1942 a 2007	1939 a 2004	1942 a 2007	1983 a 2006
Drenagem	339 km ²	970 km ²	355 km ²	526 km ²	2740 km ²	840 km ²	1890 km ²
Rio	Mampituba	Araranguá	Manoel Alves	Mãe Luzia	Tubarão	Capivari	Tijucas
Q méd. (m ³ .s ⁻¹)	17,73	34,65	18,27	12,83	66,22	13,34	52,88
Q méd. mín. (m ³ .s ⁻¹)	2,70	7,16	3,70	2,30	31,52	12,40	29,48
Q mín. (m ³ .s ⁻¹)	0,074	0,002	0,10	0,03	5,41	2,88	3,96

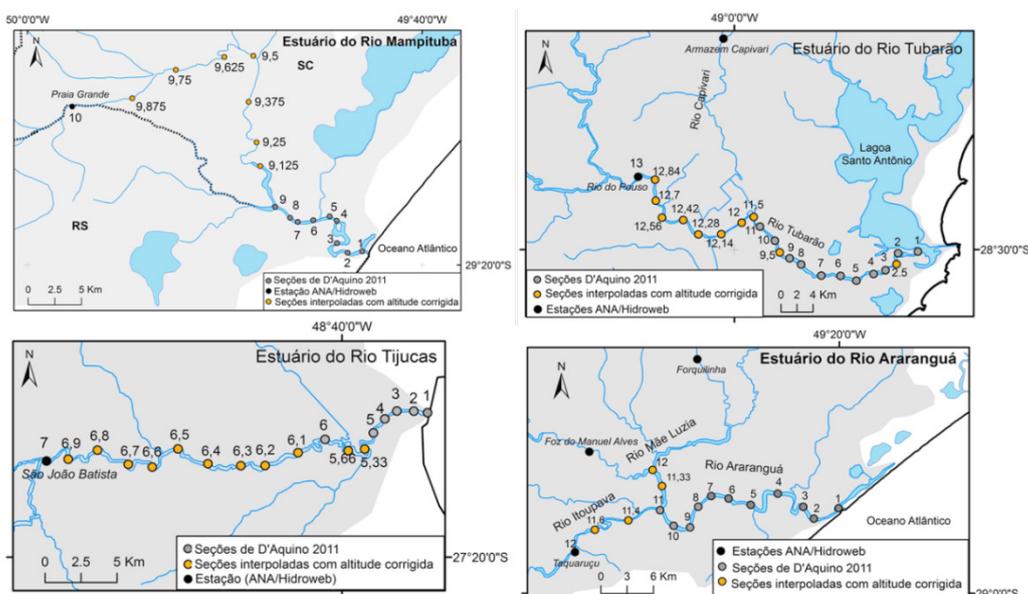


Figura 4 – Seções utilizadas para as simulações

Assim, a Zona de Influência Costeira (ZIC) foi definida como sendo os municípios localizados a jusante da linha paralela à costa que intersecta esse ponto (chamada de linha do estuário) menos os municípios considerados costeiros pelo PNGC II. A utilização desta linha paralela à costa se deu devido à impossibilidade de fazer a propagação da maré em todos os afluentes das bacias, devido à falta de dados hidrológicos.

A ZIC é o foco da gestão costeira integrada, sobretudo com os recursos hídricos. Desta forma, a ZIC é comparada com a área dos municípios que pertencem à bacia de drenagem atlântica, com os municípios costeiros e com a faixa de 50 km da costa mencionada no PNGC. Práticas de gestão são discutidas a partir desta comparação.

Calibração do modelo

A escala espacial das simulações foi definida através da interpolação entre as seções conhecidas. Por tentativa e erro a escala espacial foi definida até que a perda de energia seja pequena suficiente para manter a estabilidade do modelo.

No presente modelo, a perda de energia é referente ao atrito com as paredes/fundo do canal. A descrição adequada da mudança no gradiente de energia é necessária para que as perdas por fricção sejam corretamente calculadas pelo modelo. Isso ocorre devido a grande declividade do fundo, ao número de Manning e a grande espaçamento entre uma seção transversal e outra. Na presente modelagem, as incertezas estão relacionadas a dois dos fatores citados. O primeiro é o número de Manning, que foi definido por tentativa e erro em alguns casos e em referências bibliográficas em outros. O segundo é devido às estações utilizadas. Como não foram feitas saídas de campo para medir a batimetria das seções, foram utilizados dados do HIDROWEB. Contudo, as medições feitas pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos não é feita no mesmo dia/período para todas as estações. Muitas vezes, as seções transver-

sais das estações são amostradas em anos diferentes, o que gera imprecisões na representação do canal. Essas incertezas refletem na propagação da onda de maré no estuário, pois quanto mais atrito, menor a propagação da onda estuário adentro.

Para o rio Mampituba, foram utilizados 200 m entre as estações 1 e 9,625, e 50 m entre a 9,625 e 10. No rio Araranguá: 200 m entre as seções 1 e 11; 50 m entre a 11 e 12 (em ambos os afluentes). Para o Rio Tubarão: 200 m entre um e nove; 50 m entre nove e 12 (posteriormente entre 9 e 11) para ambos afluentes. Para o rio Tijuca: 400 m entre 1 e 6,3 e 80 m entre 6,3 e 7. A localização das estações nas bacias é apresentada na figura 4. O tempo de passo utilizado para todos os estuários foi de 1 hora.

A calibração do modelo é feita a partir do coeficiente de rugosidade (n). Por tentativa e erro, o valor do n das seções é modificado de forma a gerar o melhor ajuste entre as velocidades/níveis geradas pelo modelo e as medidas. Utilizou-se a seção mais a montante em todas as bacias, cujos dados de níveis e velocidades foram obtidos nas estações da ANA/Hidroweb (Tabela 1). Posteriormente, o n foi extrapolado para todas as seções da bacia. Foi calculado um n para a vazão média e a média mínima. A vazão mínima absoluta não foi calibrada devido aos valores extremamente baixos de nível, que dificultou o ajuste. Para esta vazão utilizou-se o n da vazão média mínima.

RESULTADOS

Calibração do modelo

O resultado da calibração do n para as vazões simuladas nas bacias analisadas é apresentado na tabela 2.

O n foi calibrado para cada um dos trechos superiores do rio Araranguá (Mãe Luzia e Itoupava). No trecho inferior, foi utilizado o valor da média aritmética entre os dois trechos.

Assim, para a vazão média o n no trecho inferior ficou 0,034 e para as vazões média mínima e mínima foi de 0,035.

Tabela 2 – Resultado da calibração do coeficiente de rugosidade de Manning (n) para os estuários analisados

Parâmetro	Mamp.	Arara. (Ito.)	Arara. (ML)	Tub. (RP)	Tij.
Q méd ($m^3.s^{-1}$)	17,73	34,65	31,10	66,22	52,88
NA obs (m)	1,05	1,13	1,53	1,69	1,23
NA mod (m)	1,12	2,26	1,50	1,67	1,56
ΔH (m)	+0,07	+0,62	+0,03	+0,01	
n	0,030	0,020	0,048	0,038	0,020
Q méd mín ($m^3.s^{-1}$)	2,70	7,16	6,00	31,52	29,48
NA obs (m)	0,460	0,91	0,76	1,10	0,85
NA mod (m)	0,460	1,12	0,66	1,10	1,04
ΔH (m)	0,00	+0,21	-0,10	0,00	
n	0,030	0,020	0,050	0,032	0,015

*NA obs= nível da água observado; NA mod = nível da água modelado; ΔH = diferença entre os níveis observado e modelado. Ito = Itoupava; ML= Mãe Luzia e RP = Rio dos Porcos.

Os valores obtidos para o n estão dentro da faixa considerada normal para rios de planície com características semelhantes. Os rios Tijucas e Araranguá Itoupava apresentaram valores baixos, que representam um rio com fundo arenoso. O rio Araranguá Mãe Luzia apresentou valores altos, típico de rios montanhosos (com maior declividade) (FREAD, 1993).

A análise da diferença entre o nível da água observado e o modelado constata o bom resultado da calibragem – em geral menor que 0,2. O afluente Itoupava do Rio Araranguá apresentou diferença maior. Neste caso, n menor que 0,020 gera instabilidade do modelo, e, além disso, não acredita-se que seja representativo da situação real. Uma possibilidade para melhorar esse ajuste seria revisar a declividade do fundo. Contudo, para tanto seria necessário medições de campo, que não foram possíveis neste estudo.

Através de uma análise de sensibilidade apenas variando o n , foi observado que a diminuição do n gera um aumento da penetração da maré dentro do estuário, porém variações maiores que 0,005 é que se tornam significativas na penetração da maré.

Modelagem

A figura 5 apresenta os perfis da linha d'água máximo e mínimo para as vazões simuladas nos estuários.

Os resultados das simulações mostram que a vazão é inversamente proporcional à penetração da onda de maré. Quanto maior a vazão afluente, menor é a influência da maré, para todos os estuários analisados. Assim, o amortecimento da onda de maré é maior no caso da vazão média, resultando na menor penetração. Este resultado está de acordo diversos autores,

incluindo Cai, Savenije e Jiang (2014) e Unnikrishnan, Shetye e Gouveia (1997), que mencionam a vazão de água doce como o principal fator limitante da penetração da maré num estuário.

A intrusão salina está fortemente relacionada à penetração da maré, astronômica ou meteorológica, em situações de baixa descarga fluvial (SHAHA; CHO; KIM, 2013). Assim, foram utilizados dados de intrusão salina para relacionar com a penetração da onda de maré, pois são os únicos dados disponíveis para os estuários analisados, mesmo que a intrusão salina possa estar relacionada com condicionantes meteorológicos.

A figura 6 compara os resultados obtidos em estudos anteriores para intrusão salina com os resultados da simulação da penetração da maré. Para o rio Mampituba, D'Aquino et al (2011a) obteve intrusão salina em superfície a até 29 km da foz do estuário e a até 35 km em profundidade, quando a vazão era de $4,1 m^3.s^{-1}$. O modelo representou a ação da maré a até 29,0 km para uma vazão de $2,70 m^3.s^{-1}$.

Para a bacia do rio Araranguá, Coastal Planning & Engineering do Brasil (2011), simulou a intrusão salina para uma vazão de $3,52 m^3.s^{-1}$ obtendo valores de até 14 km em superfície e 33 km em profundidade para o afluente Itoupava e 44 km para o Mãe Luzia. O presente estudo simulou a penetração da maré a até 34,4 e 28,8 km na vazão mínima absoluta, para os rios Itoupava ($0,002 m^3.s^{-1}$) e Mãe Luzia ($0,13 m^3.s^{-1}$), respectivamente.

D'Aquino et al. (2011b) ao analisar a intrusão salina no estuário do rio Tubarão, obteve valores 29 km em profundidade e 10 km em superfície, em maio de 2007. O estudo não realizou medição de vazão, e a estação ANA/Hidroweb Rio do Pouso apresenta medições até 2004. A modelagem mostra a penetração da onda de maré a até 20,7 km da boca do estuário, na condição de vazão mínima da série. Schettini e Carvalho (1998) analisaram a intrusão salina na bacia do rio Tijucas, encontrando valores de 4 km em superfície e 14 km em profundidade, em medições realizadas em dezembro de 1995. O presente estudo obteve que a onda de maré se propaga a até 21,25 km na vazão mínima absoluta.

Kjerfve (1987) divide o estuário em três zonas, sendo a mais a montante (*zona de maré do rio*) sob efeito da oscilação da maré e com salinidade zero; e a intermediária (*zona de mistura*) com salinidade variável. A figura 1 apresenta estas duas zonas sendo aplicadas à gestão integrada recebendo os nomes de *zona de influência costeira* e *zona costeira*, respectivamente. A partir desta definição é esperado que a intrusão salina penetrasse uma distância menor do que a maré.

Ao relacionar o resultado das simulações com os estudos de intrusão salina (Figura 6), apenas o afluente Itoupava do rio Araranguá e o rio Tijucas se enquadram no esperado – intrusão salina a uma distância menor que a maré. O afluente Mãe Luzia do rio Araranguá não obtém o resultado esperado, talvez devido à imprecisão na determinação do perfil do leito, diferente entre o utilizado neste estudo e o de Coastal Planning & Engineering do Brasil (2011). Nos rios Mampituba e Tubarão, uma possível justificativa seja o efeito da maré meteorológica na intrusão salina, que não é contemplada na presente modelagem.

As forçantes de maré meteorológicas se tornam mais importantes à medida que a maré astronômica diminui, caso dos estuários ao sul de Santa Catarina. O estuário do rio Itajaí-Açu,

onde a maré é 40% maior, fenômenos meteorológicos são responsáveis por 30% da variação do nível do mar (TRUCCOLO; FRANCO; SCHETTINI, 2006).

Zona de Influência Costeira

O resultado obtido com a vazão mínima absoluta foi utilizado para determinação da Zona de Influência Costeira (ZIC), pois representa a maior influência da maré nas bacias estudadas. Assim, a partir da definição de estuário de Kjerfve (1987), o estuário se estende a até 29 km no rio Mampituba, 34,4 km no rio Itoupava e 28,8 km no rio Mãe Luzia (afluentes ao Araranguá), 20,7 km no rio Tubarão e 21,25 km no rio Tijucas. Esta distância, obtida pela modelagem, foi utilizada para traçar uma linha reta paralela à costa que intersecte as fronteiras da bacia. Isso foi feito porque não há dados suficientes para realizar a simulação em todos os afluentes das bacias. Desta forma, a ZIC é delimitada pelos municípios localizados dentro desta área (da linha de costa até o limite do estuário) menos os municípios já considerados costeiros pelo PNGC II. A figura 7 apresenta o limite do estuário, os municípios costeiros e a ZIC para as bacias estudadas.

Na figura 7 foi incluída a linha de 50 km da costa, mencionada no PNGC II para representar os municípios que localizados até esta linha podem ser parte da zona costeira, se contemplarem, em seu território, atividades ou infraestruturas de grande impacto ambiental na zona costeira ou ecossistemas

costeiros de alta relevância. Este critério é um vago e subjetivo, pois o que define essas atividades de grande impacto ambiental? Além disso, as atividades podem se instalar no território posteriormente a elaboração da norma que determina os municípios costeiros (anexo B do PNGC II), e sem a devida atualização da norma, estes municípios não seriam contemplados na zona costeira. Contudo, considerando as dimensões do território brasileiro e a área das bacias de drenagem atlântica na Região Hidrográfica do Atlântico Sul (LOITZENBAUER; MENDES, 2014), essa linha poderia ser utilizada como critério adicional para a definição da ZIC. As bacias simuladas possuem regime de micro maré, portanto, geram uma ZIC pequena. No caso do rio Mampituba, a bacia não apresenta ZIC, pois a área definida como estuário está totalmente localizada na zona costeira. No caso do rio Tubarão a ZIC é pequena e esta é uma bacia com atividades de grande impacto ambiental – mineração de carvão. Na bacia do rio Tijucas, a área da ZIC englobaria apenas um município. O aumento da ZIC para os municípios com mais de 50% do território localizado entre a linha de 50 km e a costa, menos os municípios costeiros, poderia ser solução. Essa opção também poderia ser aplicada em bacias com exutório em regime de macro maré, onde o limite do estuário poderia se estender a mais de 500 km da costa se aplicada à definição de Kjerfve (1987).

Para manter a proposição de aplicar a definição de estuário de Kjerfve (1987) na gestão integrada uma solução seria realizar a simulação da maré incluindo o efeito da maré meteorológica, que possui grande relevância na área de estudo.

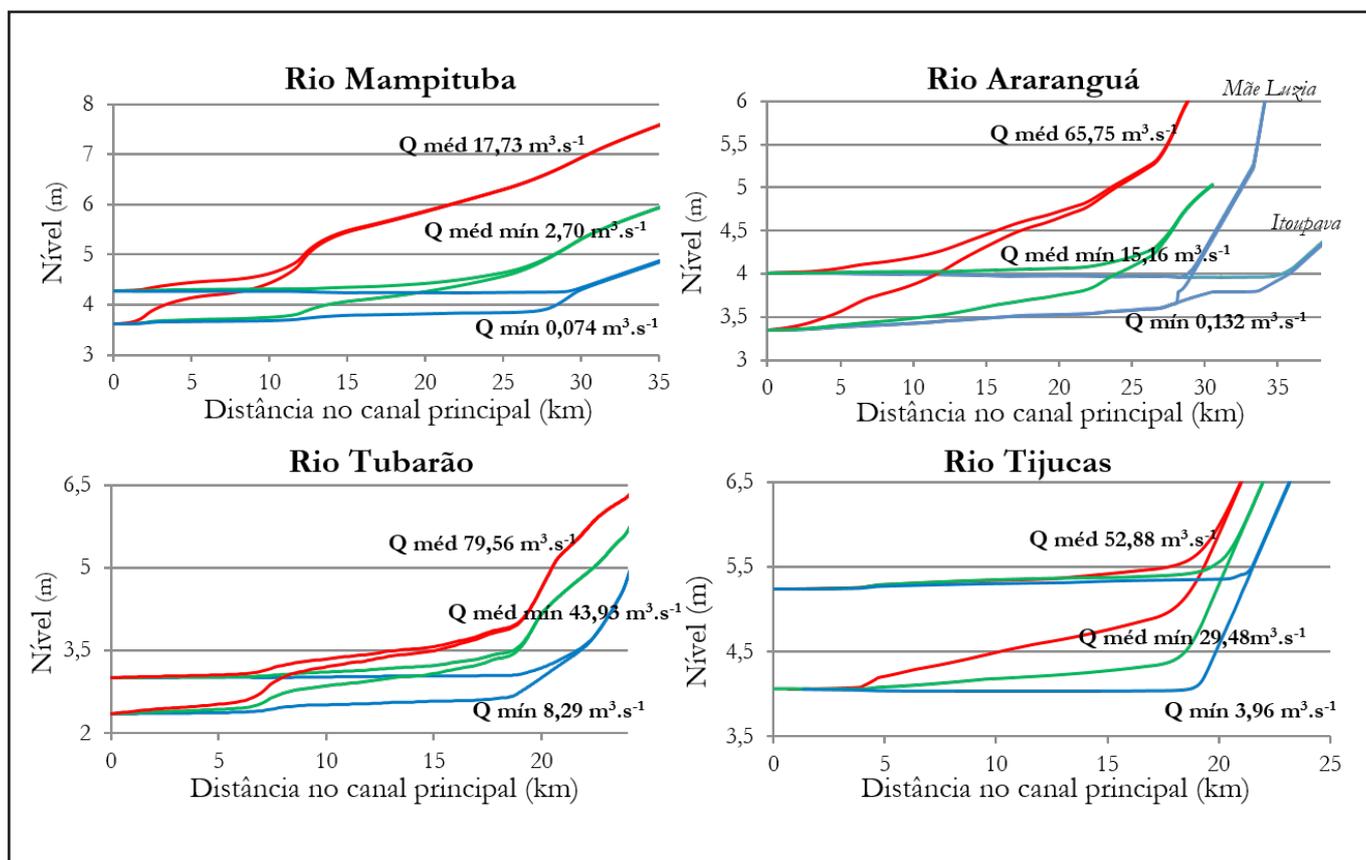


Figura 5 – Perfis da linha d'água nos estuários das bacias estudadas para as três vazões simuladas. No Rio Araranguá as vazões média e média mínima representam o Rio Araranguá e a vazão mínima contempla os afluentes Itoupava e Mãe Luzia

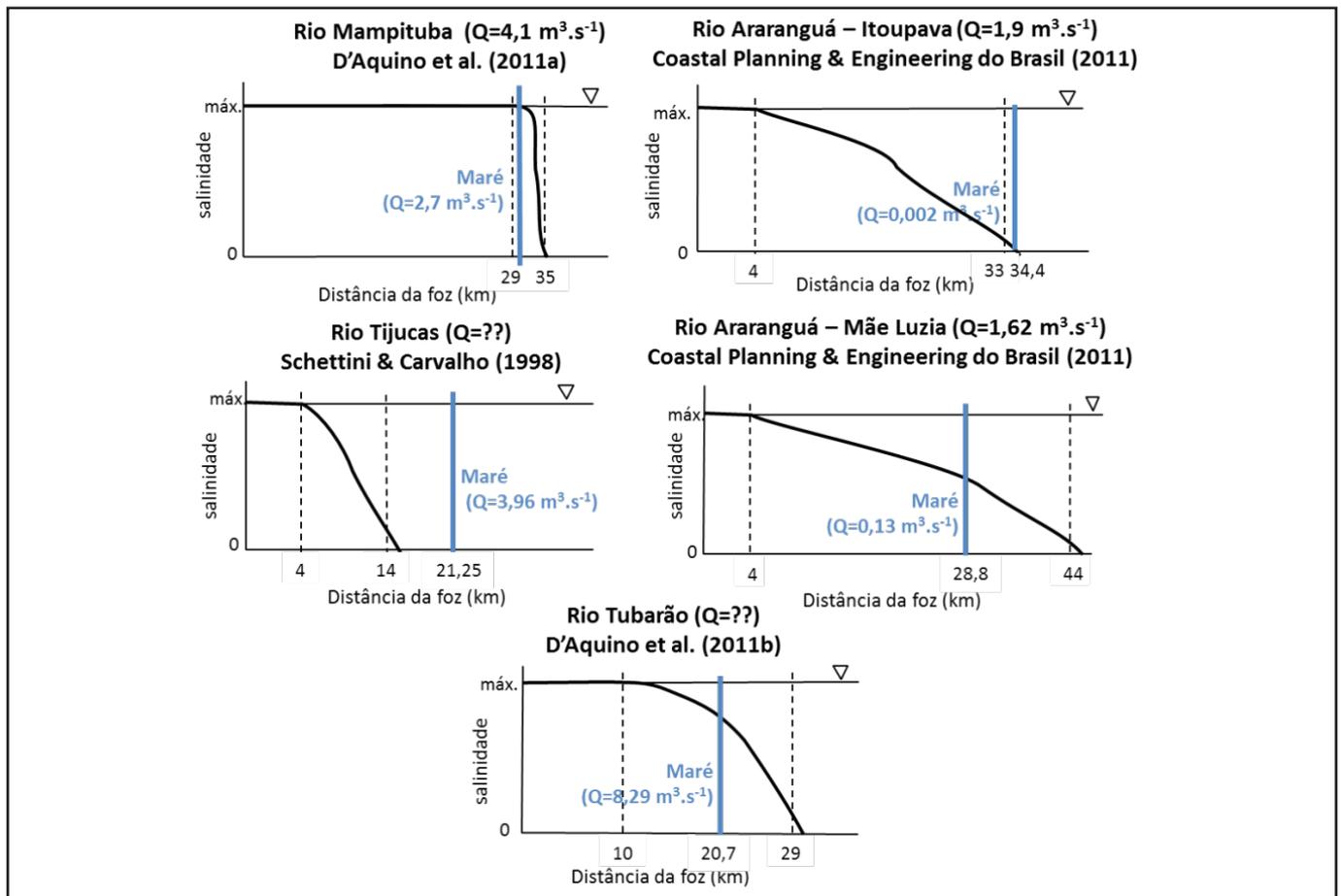


Figura 6 – Comparação entre o resultado da simulação da penetração da onda de maré e estudos anteriores de intrusão salina nas bacias estudadas

Contudo, devido à falta de dados e de estudos na área, um grande esforço de medições e simulações seria necessário.

De qualquer maneira, a ZIC é a esfera territorial da gestão integrada de recursos hídricos e da zona costeira. É uma proposta para incluir as relações de causa e efeito entre o uso da terra na bacia e a qualidade ambiental costeira, considerando a dinâmica física. Esta zona deve facilitar e promover a gestão integrada. Sendo assim, não está sujeita as implicações de ser considerada zona costeira, como, por exemplo, a existência de um plano municipal de gerenciamento costeiro ou a aplicação dos outros instrumentos de gestão costeira. Nesta zona, os instrumentos de gestão de recursos hídricos e ambiental devem ser aplicados considerando as consequências geradas para os estuários e zonas costeiras, especialmente a outorga e o licenciamento ambiental.

Com relação os recursos hídricos, problemas de quantidade e de qualidade hídrica afetam a zona costeira. Na quantidade hídrica, principalmente a diminuição da vazão de água doce afeta os estuários KENNISH, 2002; (OLSEN; PADMA; RICHTER, 2006), resultado do aproveitamento dos recursos hídricos na bacia de drenagem. O uso da água nas bacias estudadas deve ser gerido de maneira a considerar a interação com a zona costeira. Na ZIC, outorga deve observar a dinâmica da salinidade (relação entre a variação na descarga de água doce e a intrusão

salina no estuário), ou seja, quanto de água pode ser retirado da bacia sem que haja aumento significativo da intrusão salina.

O estado americano do Texas é um exemplo da utilização desta metodologia. Há previsão na Lei das Águas estadual que a outorga de uso da água para armazenamento, retirada ou derivação a até 200 milhas (aproximadamente 322 km) a montante da boca do estuário deve observar as consequências para as baías ou estuários (TEXAS, 2009).

Neste contexto surge o questionamento de como o processo de outorga vai *observar as consequências para as baías ou estuários*. Uma possibilidade é a criação um modelo de apoio à outorga que simule a intrusão salina em função da vazão afluente ao estuário e das condicionantes ambientais (precipitação e evaporação), ou seja, que simule a dinâmica da salinidade (LOITZENBAUER; MENDES, 2011). Assim, através da simulação e do balanço hídrico entre os usos e a água disponível é possível quantificar o impacto dos usos da água nos estuários e zonas costeiras.

Cabe ao comitê de bacia verificar a necessidade específica do sistema e solicitar os estudos necessários para aplicação da metodologia. Esta será aplicada tanto na zona costeira (municípios do PNGC II) quanto na ZIC. Salienta-se que, na compreensão dos autores, a outorga de uso da água deve ser aplicada em toda a bacia, incluindo a zona costeira – mas não utilizando o

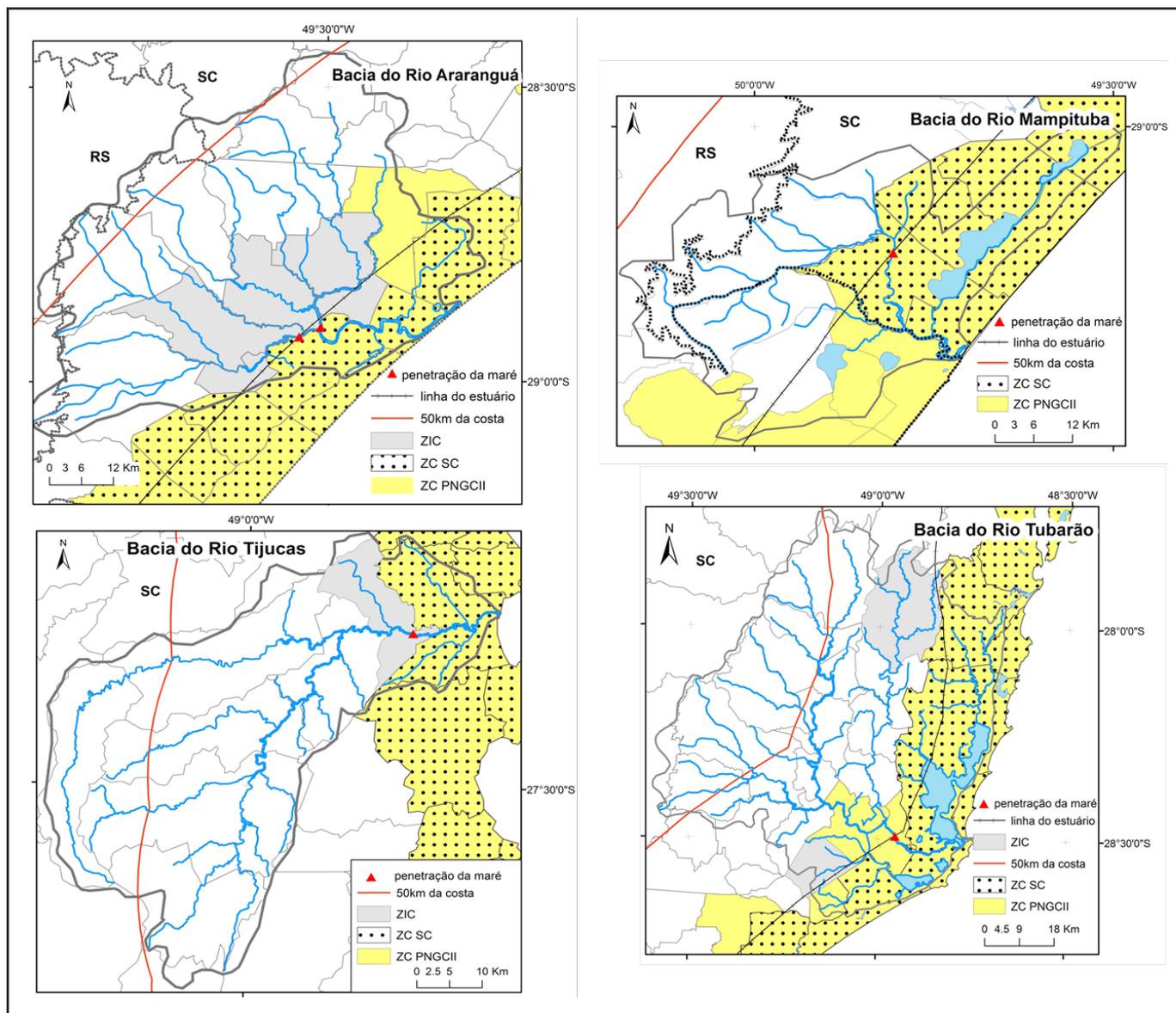


Figura 7 – A Zona de Influência Costeira (ZIC) nos estuários estudados em função da penetração da maré. A linha paralela a costa de 50 km é apresentada, assim como as zonas costeiras segundo o plano nacional de gerenciamento costeiro II (ZC PNGC II) e utilizada pelo estado de Santa Catarina (ZC SC)

mesmo procedimento. A diferença entre as duas zonas é que a primeira está sujeita ao plano de gerenciamento costeiro (e seus instrumentos) e a segunda não. Ambas as zonas devem considerar as implicações das ações realizadas no seu território nos estuários e zonas costeiras adjacentes. Fora destas zonas o procedimento de outorga deve seguir as normas tradicionais, por exemplo, a vazão ecológica.

Em termos de qualidade hídrica, o lançamento de efluentes, tanto domésticos como industriais quanto difusos provenientes da drenagem agrícola, podem comprometer os estuários e zona costeira, assim como as atividades econômicas (por exemplo, turismo e aquicultura) e os ecossistemas relacionados. Por isso, na ZIC o licenciamento ambiental e a outorga qualitativa aparecem como instrumentos ideais para gerir o lançamento de efluentes considerando as implicações

para a zona costeira. Empreendimentos de relevante impacto ambiental, que necessitem de EIA/RIMA para sua instalação, deverão observar as implicações deste na zona costeira em toda a ZIC. A outorga qualitativa deve observar quanto do efluente lançado irá se conservar até atingir a zona costeira ou o quanto irá impactá-la. A montante da ZIC, a outorga continuaria a observar a vazão de referência e o licenciamento ambiental não precisaria considerar as relações com a zona costeira.

CONCLUSÃO

O modelo utilizado representou de maneira satisfatória a penetração da maré astronômica nos estuários analisados. Se comparado com estudos anteriores de intrusão salina, os

resultados das bacias Mampituba, Araranguá e Tubarão não representaram o esperado – apresentando intrusão salina a maior distância do que a penetração da maré. Isso se justifica pelo fato de as simulações realizadas não considerarem o efeito da mare meteorológica, principal forçante oceânica no sistema.

As incertezas relacionadas às seções transversais utilizadas também podem ser parcialmente responsáveis pela não coincidência do resultado da simulação com os estudos anteriores de intrusão salina. Medições de campo realizadas no mesmo período de tempo poderia solucionar essa questão.

Assim, a metodologia se mostrou parcialmente útil, pois seriam necessárias algumas modificações para que o critério físico fosse representado de forma mais condizente com a realidade.

Além disso, o critério utilizado gerou uma área pequena em virtude da baixa amplitude de maré nos estuários analisados. Não é interessante ter uma área tão pequena em bacias que possuam em seu território atividades de grande impacto ambiental, como as bacias do rio Tubarão e Araranguá. A inclusão da linha de 50 km da costa ou a penetração da maré meteorológica poderia ser uma opção. Destaca-se que a linha de 50 km poderia ser aplicada também em bacias com regime de macro maré.

Contudo, a existência de uma ZIC é importante para incluir as relações de causa e efeito entre o uso do solo e dos recursos hídricos e a zona costeira durante o processo de gestão. O fato de não ser considerada como zona costeira, ou seja, sem estar sobre as normas do PNGC II torna a gestão mais fácil.

A metodologia proposta beneficia principalmente a gestão através dos instrumentos da outorga de uso dos recursos hídricos e do licenciamento ambiental, promovendo a melhora da qualidade ambiental costeira – mantendo bons níveis de qualidade da água e respeitando os fluxos afluentes necessários aos estuários.

REFERÊNCIAS

BELTRAME, E. *Seleção de sítios e planejamento da atividade de cultivo de camarões marinhos com base em geotecnologias*. 2003. 212 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2003.

BERTOLUZZI, I. P. *Estudos sobre as interações entre a água e o material em suspensão, na bacia do rio Tubarão e complexo lagunar – SC/Brasil*. 2003. 322 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Santiago de Compostela, Galiza, Espanha, 2003.

CAI, H.; SAVENIJE, H. H. G.; JIANG, C. Analytical approach for predicting fresh water discharge in an estuary on tidal water level observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 18, n. 10, p. 4153-4168, Oct. 2014.

CLARK, J. R. *Coastal zone management handbook*. New York, NY: Lewis Publishers, 1996.

COASTAL Planning & Engineering do Brasil. *Projeto básico com detalhamento construtivo dos molhes de fixação da barra do rio Araranguá, município de Araranguá (SC)*. Modelagem numérica de

alternativas - análise dos efeitos nos processos de intrusão salina. Florianópolis, 2011. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/planos-de-recursos-hidricos/planos-diretores-de-bacias>>. Acesso em: 23 jan. 2014.

D'AQUINO, C. A. *Processos de transporte e retenção de sedimentos finos em estuários dominados por rios*. 2010. 132 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

D'AQUINO, C. A.; ANDRADE NETO, J. S.; BARRETO, G. A. M.; SCHETTINI, C. A. F. Caracterização oceanográfica e do transporte de sedimentos em suspensão no estuário do Rio Mampituba, SC. *Rev. Bras. Geof.*, v. 29, n. 2, p. 217-230, abr./jun. 2011a. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2011000200001>. Acesso em: 22 fev. 2015.

D'AQUINO, C. A.; FRANKLIN DA SILVA, L.; COUCEIRO, M. A. A.; PEREIRA, M. D.; SCHETTINI, C. A. F. Transporte de sal e hidrodinâmica do estuário do rio Tubarão. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 16, n. 3, p. 113-125, jul./set. 2011b. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=2&SUMARIO=23>>. Acesso em: 20 mar. 2015.

D'AQUINO, C. A.; PEREIRA FILHO, J.; SCHETTINI, C. A. F. Fluvial modulation of hydrodynamics and salt transport in a highly stratified estuary. *Braz. J. Oceanogr.*, v. 58, n. 2, p.165-175, abr./jun. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-87592010000200007>. Acesso em: 22 fev. 2015.

FREAD, D. L. Flow Routing. In: MAIDMENT, D. R. *Handbook of hydrology*. New York: McGraw-Hill, 1993.

GENZ, F.; LESSA, G. C.; CIRANO, M. Vazão Mínima para Estuários: um estudo de caso no Rio Paraguaçu/BA. *RBRH: revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 3, p. 73-82, jul./set. 2008. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=14&SUMARIO=168>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

GUERRA, A. J. T. *Novo dicionário geológico e geomorfológico*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

KENNISH, M. J. Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environ. Conservation*, v. 29, n. 1, p. 78-107, Mar. 2002.

KJERFVE, B. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: DAY JR., J. W.; HALL, C. H. A. S.; KEMP, W. M.; YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. *Estuarine ecology*. New York, NY: Wiley, 1987. p. 47-78.

LIMA, M. C.; GIACOMELLI, M. B.; STÜPP, V.; ROBERGE, F. D. Especificação de cobre e chumbo em sedimento do rio Tubarão pelo Método Tessier. *Quím. Nova*, v. 24, n. 6, p. 734-742,

nov./dez. 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422001000600005>. Acesso: 15 fev. 2015.

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. A dinâmica da salinidade como uma ferramenta para a gestão integrada de recursos hídricos na zona costeira: uma aplicação à realidade brasileira. *Rev. Gestão Costeira Integr.*, v. 11, n. 2, p. 233-245, jun. 2011. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/rgci/rgci248.html>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. A Faixa Terrestre da Zona Costeira e os Recursos Hídricos na Região Hidrográfica do Atlântico Sul, Brasil. *Rev. Gestão Costeira Integr.*, v. 14, n. 1, p. 81-94, mar. 2014. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/rgci/rgci448.html>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. Salinity dynamics as a tool for water resources management in coastal zones: an application in the Tramandaí River basin, southern Brazil. *Ocean Coastal Manag.*, v. 55, p. 52-62, Jan. 2012.

MARCOMIN, F. E. *Zoneamento ambiental do Rio Tubarão – SC, através da análise de metais pesados em água, sedimento, substrato e planta e de componentes estruturais da paisagem*. 1996. 145 f. Dissertação (Mestrado em Biociências) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

MARINHA DO BRASIL. Tábua de Maré. Niterói, 2012. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>> Acesso em 10 mar. 2012.

NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A.; BARROSO, G. F. Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas e Zonas Costeiras no Brasil: Implicações para a Região Hidrográfica Amazônica. *Rev. Gestão Costeira Integr.*, v. 9, n. 2, p. 9-32, 2009. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-115_Nicolodi.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2014.

OLSEN, S. B.; PADMA, T. V.; RICHTER, B. D. *Guía para el Manejo del Flujo de Agua Dulce a los Estuarios*. Washington DC: USAI, The Nature Conservancy, The Coastal Resource Center e University of Rhode Island, 2006.

SCHETTINI, C. A. F.; CARVALHO, J. L. B. Hidrodinâmica e distribuição de sedimentos em suspensão dos estuários dos rios Itapocu, Tijucas e Camboriú. *Notas Téc. Facimar*, v. 2, n. 1, p. 141-153, 1998.

SHAHA, D. C.; CHO, Y. K.; KIM, T. W. Effects of River Discharge and Tide Driven Sea Level Variation on Saltwater Intrusion in Sumjin River Estuary: an Application of Finite-Volume Coastal Ocean Model. *J. Coastal Res.*, v. 29, n. 2, p. 460-470, 2013.

TEXAS. *Texas Water Code*. [S.l.]: Austin, TX, 2009.

TRUCCOLO, E. C.; FRANCO, D.; SCHETTINI, C. A. F. The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina. *Braz. J. Coastal Res.*, v. 39, p. 547-552, 2006.

UNNIKRISHNAN, A. S.; SHETTYE, S. R.; GOUVEIA, A. D. Tidal propagation in the Mandovi-Zuari Estuarine Network, West Coast of India: impact of freshwater influx. *Estuarine, Coastal Shelf Science*, v. 45, n. 6, p. 737-744, Dec. 1997.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *HEC-RAS River Analysis System*. Reference Manual. Davis, CA: USACE Hydrologic Engineering Center, 2010. Disponível em: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf> Acesso em: 20 set. 2013.

Contribuição dos autores

Ester Loitzenbauer - Este artigo foi fruto do trabalho da primeira autora durante o seu doutorado.

Carlos André Bulhões Mendes, foi o orientador da tese, contribuindo, portanto, com ideias e sugestões quanto ao aprimoramento do trabalho.