ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Assoreamento nas baías de Antonina e de Paranaguá – PR: análise integrada das áreas fontes de sedimentação e obras de dragagem

Brendo Benato Rutyna¹, Carlos Roberto Soares², Carlos Augusto Wroblewski³, Eduardo Vedor de Paula⁴

¹Graduação em Oceanografia pela Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Av. Beira-mar, s/n, CEP 83255-976, Pontal do Sul, Pontal do Paraná. (41) 3511-8600. brendo.rutyna@gmail.com (autor correspondente). ²*In memoriam*. Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar. ³Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Rua Cel. Francisco H. dos Santos, S/N, Centro Politécnico, Curitiba, Paraná. carloswroblewski@ufpr.br. ⁴Professor associado, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra. edugeo@ufpr.br.

Artigo recebido em 12/05/2020 e aceito em 13/04/2021.

RESUMO

A segurança à navegação é fator primordial para garantir aos navios acesso aos portos. Obras de dragagens são necessárias para a manutenção dos canais de navegação diante do processo de assoreamento em regiões estuarinas. Entretanto, o volume dragado, em metros cúbicos, na região portuária do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), aumentou ao longo do tempo. O presente estudo se restringe aos setores que interessam à navegação e às instalações portuárias, isto é, o eixo E-W do CEP, que abrange os trechos do canal de acesso aos portos paranaenses nas baías de Paranaguá e Antonina. O total de sedimentos realocados entre 1999 e 2018 nos trechos do canal foi da ordem de 42.517.662,79 m³. A manutenção destes setores é extremamente onerosa, uma vez que mais de 4.000.000 m³.a⁻¹ de material sedimentar são retirados anualmente para garantir acessibilidade aos navios. Ao estimar a produção de sedimentos na área de drenagem do CEP, obteve-se o valor anual de 197.017,23 ton. Dessa forma, torna-se necessário desenvolver estratégias para a retenção de sedimentos nas áreas fonte, a fim de garantir a prosperidade das atividades portuárias nos próximos anos. Recomendações à expansão dos portos na região foram apresentadas ao final.

Palavras-chave: Unidades Hidrográficas. Dinâmica Sedimentar. Descarte de Sedimentos. Gestão Ambiental Portuária.

Silting in the Bays of Antonina and Paranaguá - PR: Integrated Analysis of Sedimentation Sources and Dragging Works

ABSTRACT

Safety in navigation is a primordial aspect to the ports. Dredging works are necessary for the maintenance of the navigation channels before the process of silting in estuarine regions. However, the volume in cubic meters dredged in the port region of the Paranaguá Estuary Complex (CEP) has increased over time. This study is restricted to sectors that are of interest to navigation and to port installation, in other words, the E-W axis of the CEP that includes the sections of the access channel to the ports of Paraná in the bays of Paranaguá and Antonina. The total of relocated sediments between 1999 and 2018 in the canal segments is of the order of 42.517.662,79 m³. The maintenance of these sectors becomes extremely costly, since more than 4.000.000 m³.a⁻¹ of sedimentary material is removed to guarantee accessibility to the ships. When estimating the sediment production in the CEP drainage area, the annual value of 197,017.23 tons is obtained. Thus, it becomes necessary to develop strategies for retaining sediments in the source areas, in order to guarantee the prosperity of port activities in the coming years. Recommendations for expanding ports in the region were presented at the end.

Keywords: Hydrographic Units. Sedimentary Dynamics. Sedimentary Disposal. Port Environmental Management.

Introdução

A segurança à navegação é fator primordial para garantir aos navios acesso aos portos (Ferreira; Piedade, 2018). Obras de dragagens são necessárias para a manutenção dos canais de navegação diante do processo de assoreamento em regiões estuarinas (Trevisan, 2018). Por serem

obras que afetam o ambiente, as dragagens são passíveis de licenciamento ambiental por órgãos ambientais e intervenientes, conforme explicitado na legislação brasileira (Brasil, 1986; 1997; Carbinatto e Corradi, 2018; Roldão et al., 2021). Associados ao licenciamento são estabelecidos

Planos de Controle Ambientais (PCA), considerando o planejamento das áreas de despejo em longo prazo, assim como as taxas de assoreamento e as necessidades de expansão portuária para atender as exigências de mercado (Notteboom, 2004; Brasil, 2005, 2012; Pascali, 2017; Menegazzo, 2018; Haguenaer et al., 2020).

Os efeitos ambientais e as mudanças decorrentes da destinação e deposição do material dragado podem ter consequências relativamente graves e atingem dimensões de caráter geológico, biológico, físico, químico, oceanográfico e socioeconômico (Machado de Castro et al., 2012; Santos Ferreira, 2019). São eles: a alteração das condições hidráulicas e sedimentológicas do escoamento, com possível alteração dos padrões de circulação e mistura da água, salinidade e turbidez; alteração das condições do local de lançamento do material dragado; poluição por substâncias tóxicas existentes no material de dragagem, sua suspensão e movimentação durante a atividade, com alteração da qualidade da água; e impactos diretos sobre habitats da fauna e flora aquática, associada ao sedimento marinho e águas interiores (Porto e Teixeira, 2002; Fonseca e Palma, 2018; Waydzik, 2018). Além disso, a escolha inadequada dos locais de despejo de sedimentos dragados pode acarretar transformações nos padrões de circulação local, fazendo com que muitas vezes o material retorne para os locais mais próximos à costa, propiciando uma intensa sedimentação ou desestabilizando praias, através de erosão (Lana e Soares, 1994; Angulo et al., 2020).

Estuários normalmente são definidos como feições de transição entre o continente e o oceano (Dyer; Perillo, 1995). Segundo diversos autores como Bokuniewicz (1995), Boyd et al. (2006), Prandle (2009), Perillo e Syvitski (2010), Demarco (2019) e Lessa, (2020), são originados pela criação de um espaço de deposição por processos de erosão, principalmente fluvial, no qual o rápido preenchimento no tempo geológico se dá pela interação entre os processos hidrodinâmicos, como a descarga dos rios, ondas e marés. O ambiente resultante é consequência da combinação desses processos sobre todo o estuário ou em partes específicas, onde é possível evidenciar mudanças geomorfológicas associadas aos processos de transporte dos sedimentos e intervenções antrópicas (Skilbeck et al., 2017; Mahoney e Bishop, 2018; Kumbier et al., 2018; Sartoretto, 2019).

A necessidade de dragagens em função do processo de assoreamento, para garantir calado aos navios diante de um mercado internacional competitivo (Notteboom, 2004; Pascali, 2017; Menegazzo e Petterini, 2018; Trevisan, 2018;

Santos Ferreira, 2019), torna-se extremamente onerosa para o empreendimento e para o estado. O conhecimento da natureza e da distribuição dos sedimentos de fundo nos estuários têm devida importância para o planejamento de canais de acesso aos portos, bacias de evolução e berços de atracação, assim como para as obras de dragagens e áreas de despejo, tendo em vista que a dinâmica sedimentar determina a segurança à navegação (Paula et al., 2006; Santos, 2018; Belchior, 2019).

Segundo Paula et al. (2006), o conhecimento das bacias hidrográficas que drenam para as áreas de navegação e acesso aos portos de Paranaguá e Antonina (canal da Galheta), no eixo E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá, Paraná (CEP/PR), deve ser indispensável para o monitoramento do assoreamento. Os seus estados de conservação, bem como as fragilidades ao desenvolvimento dos processos erosivos devem ser considerados para que o assoreamento não seja tratado apenas por meio da realização de obras de dragagens. Dessa forma, sugere-se como hipótese que o assoreamento, responsável pelo aumento da quantidade de material dragado no decorrer do tempo, ocorre em função das diferentes áreas fonte nas bacias hidrográficas adjacentes, estas que disponibilizam sedimentos por processos naturais, ou são incrementados pelo uso inadequado do solo por atividades antrópicas.

Nesse contexto, objetivou-se correlacionar as áreas de maior propensão à erosão nas bacias hidrográficas com as áreas de maior deposição sedimentar nos trechos do canal da Galheta, tendo em vista que a manutenção dos calados dos setores críticos à navegação é extremamente custosa do ponto de vista ambiental e econômico. Espera-se assim, contribuir para que as obras de dragagens se tornem um processo mais aprimorado do que o conduzido atualmente. Conhecer os processos sedimentares, naturais ou incrementados pelas atividades humanas, amplia a compreensão acerca da geomorfologia costeira e permite um trabalho articulado na construção científica entre os diversos elementos em que os interesses econômicos, ambientais e sociais estão contextualizados.

Material e métodos

Localização e Caracterização da Área Experimental

A região litorânea do Estado do Paraná está localizada entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico e entre os litorais dos Estados de São Paulo, ao norte, e de Santa Catarina, ao sul. Sua extensão territorial abrange as bacias hidrográficas

que drenam para as baías do Complexo Estuarino de Paranaguá e de Guaratuba (Figura 1).

Figura 1. Principais características da área de estudo com destaque para as baías do CEP, segmentação do canal da Galheta no eixo E-W, localização das antigas áreas de descarte e atual ACE – 20.

O CEP localiza-se na porção centro-norte do litoral paranaense, entre os paralelos 25° 00'S e 25° 35'S, e os meridianos 48° 15'W e 48° 50'W. Possui uma área superficial de aproximadamente 612 km² e se subdivide em dois eixos principais: (I) eixo E-W, com 56 km de extensão que contemplam as baías de Antonina e Paranaguá; (II) eixo N-S, com 30 km de extensão que contemplam as baías das Laranjeiras e dos Pinheiros (Angulo et al., 2016). A conexão do CEP com o oceano é feita por meio de três desembocaduras (Figura 1), sendo a sul objeto de estudo do presente trabalho por nela estar localizado o canal da Galheta.

Durante anos a Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA) mantém o canal da Galheta com profundidades seguras à navegação (APPA, 2015), através de dragagens periódicas em setores específicos do canal e das bacias de evolução, divididos em trechos Alfa, Bravo, Charlie e Delta (Figura 1).

A preocupação com a destinação dos sedimentos dragados na área de estudo teve início

em 1994, quando a Capitania dos Portos do Estado do Paraná (CPPR) solicitou ao Centro de Estudos do Mar (CEM/UFPR), um parecer técnico relativo às áreas até então autorizadas (Lamour, 2007). O descarte dos sedimentos era efetuado sem a devida avaliação de impacto ambiental em sete regiões distintas conforme mostrado na Figura 1.

O local sugerido pelo CEM para descarte do material dragado denomina-se Área Circular Externa – ACE 20 e vem sendo utilizada desde 1998. Com aproximadamente uma milha náutica de raio, sua localização se encontra na plataforma continental rasa a cerca de oito milhas náuticas da costa (Soares et al., 1997). O conhecimento do regime hidrográfico, da sedimentologia e da ecologia da baía fez com que as sete áreas que eram utilizadas para deposição de material dragado até 1994 fossem consideradas inadequadas, conforme dita o documento.

Os trechos do canal da Galheta apresentam as seguintes características gerais e sedimentológicas, segundo APPA (2015):

Tabela 1. Características estruturais e sedimentológicas dos trechos do canal da Galheta.

Trecho	Extensão (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Composição Sedimentar
Alfa	8.635	250	16	Areia grossa a fina, secundariamente silte e, excepcionalmente, no máximo 15% de argila.
Bravo I	6.052	200	15	Predominância de areia fina, em alguns pontos chegando a quase 90% desta fração granulométrica.
Bravo II	14.448	200	14	
Surdinho	900	160	14	
Charlie I	3.000	500/600	14	Modas principais de areia média a fina nas classificações granulométricas mais constantes. Ocasionalmente apresenta silte até 40%.
Charlie II	(*)	50/85	14	
Charlie III	2.300	400	14	
Delta I	12.930	100/340	9,5	Apresenta maior variação granulométrica, talvez influenciada pelas contribuições fluviais, ocasionalmente apresentando até 4% de grânulos e até 39% de argila. No entanto, as modas granulométricas principais são areia fina a muito fina e silte.

Dinâmica Sedimentar no CEP

O entendimento da dinâmica sedimentar é importante na caracterização dos processos de assoreamento nos trechos do canal da Galheta. Este conhecimento torna-se decisivo no apontamento das áreas que, historicamente, acumularam níveis mais expressivos de sedimentos.

Na costa paranaense, a propagação das ondas segue o padrão do sistema de formação no Atlântico Sul, vinculadas aos centros de geração em áreas oceânicas distantes (Angulo et al., 2017). Os eventos de ondas de alta energia no litoral sul brasileiro são formados principalmente a partir de ciclones subtropicais, independente das direções dos ventos locais (Bigarella et al., 1978). A ocorrência simultânea desses eventos com a intensificação de forçantes, como os ventos sul-sudeste, potencializam os processos de erosão costeira (Nemes, 2011).

Com o predomínio das ondas de direção sul e sudeste, a deriva litorânea longitudinal líquida resultante é para norte. Tal fato é confirmado pela orientação das fozes dos rios e córregos nas praias, além da morfologia dos deltas-de-maré vazante (Angulo, 1992).

As marés são semidiurnas com interações de oscilações não lineares, de modo que a amplitude da maré de sizígia pode chegar a 1,5 m, na costa oceânica e, 2,2 m, no interior do estuário (Mantovanelli, 1999). Elas geram correntes de enchente e vazante, e ainda podem criar vórtices de maré (Camargo et al., 2003). A capacidade das correntes de maré vazante e enchente em transportar sedimentos de fundo estão mais relacionadas à ocorrência de eventos de alta energia que ao movimento das marés astronômicas (Noernberg et al., 2007), visto que as marés

meteorológicas podem atingir 80 cm acima do nível das marés astronômicas (Marone e Jamiyanaa, 1997).

A influência da maré no CEP é o agente de maior impacto na dinâmica sedimentar, pois se trata de um estuário hipersíncrono com efeito de convergência excedendo o atrito, que resulta no aumento da amplitude das marés na cabeceira (Mantovanelli, 1999). Na parte externa do Canal da Galheta, o transporte de sedimentos ocorre ao longo do canal, influenciado pelas correntes de maré de sizígia, que têm capacidade de transportar sedimentos de fundo, e durante eventos de alta energia, quando o transporte de sedimentos ocorre paralelamente à costa devido à intensificação das correntes de deriva litorânea (Noernberg et al., 2007).

No interior do estuário predominam sedimentos siliciclásticos com diâmetro médio entre 0,016 e 1,032 mm, ou seja, das classes silte fino até areia muito grossa, e possuem teores de carbonatos e matéria orgânica geralmente inferiores a 5% (Oliveira, 2015). Na desembocadura ocorrem bancos arenosos submersos e semisubmersos que configuram deltas de maré, sendo que os de maré vazante são mais desenvolvidos que, de enchente (Angulo, 1992; 1999).

Procedimentos Metodológicos

A área de drenagem do CEP foi subdividida em bacias hidrográficas. Contudo, devido à variabilidade da extensão territorial das mesmas, bem como presença de ilhas e conjuntos de pequenos rios que drenam diretamente ao estuário, Paula et al. (2018) subdividiram a área de

drenagem do CEP em 43 Unidades Hidrográficas, sendo que as mesmas foram revisadas no presente trabalho e encontram-se representadas na Figura 2.

Figura 2. Área de drenagem do CEP subdividida em unidades hidrográficas (UH) que drenam para as suas respectivas baías.

A estimativa da produção de sedimentos nas unidades hidrográficas consiste no grau de suscetibilidade erosiva, considerando-se o grau de coesão das unidades geológicas, textura e profundidade das unidades pedológicas, índices morfométricos (declividade e forma das vertentes), pluviosidade e cobertura vegetal e uso da terra para o ano de 2017, integrados via álgebra de mapas, conforme roteiro metodológico proposto por Paula Rutyna, B. B.; Soares, C. R.; Wroblewski, C. A.; Paula, E. V.

(2010; 2016), com base nos trabalhos de Crepani et al. (2001) e Campagnoli (2005; 2006). Este roteiro foi aplicado em diferentes porções da área de estudo por Wroblewski e Paula (2015), Wroblewski (2016) e Goldbach (2017).

A relação anual da quantidade de sedimentos dragados nos diferentes trechos do canal da Galheta, disponível no Planejamento Estratégico da Infraestrutura Marítima dos Portos

do Paraná – PEIM_PR (APPA, 2017), foi utilizada para estimar a taxa de assoreamento anual. A estimativa foi calculada através dos valores de sedimentos realocados durante as obras de dragagens de manutenção entre 1999 e 2016, divididos pelo número de anos, considerando apenas o período efetivamente dragado em cada trecho. O resultado gerado também foi dividido por hectares de cada trecho, devido a variação de extensão entre eles, obtendo-se assim, o valor em ($\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)/ha. Cabe ressaltar que, entre 1999 e 2016, ocorreram, quase que restritivamente, apenas obras de manutenção. Entre 2017 e 2018, foi realizada a maior obra de aprofundamento da história do CEP.

Os dados de dragagens foram planilhados na ferramenta Microsoft Office Excel em colunas contendo o ano, período de obras, objetivo, draga utilizada, empresa responsável e volume dragado em cada setor do canal da Galheta. Para correlacionar com os dados sedimentológicos das unidades hidrográficas e realizar análises gráficas,

estabeleceu-se quadros comparativos contendo: (I) a estimativa de produção de sedimentos drenados por unidade hidrográfica; (II) o volume de material dragado nas obras de manutenção em cada trecho do canal da Galheta, entre os períodos de 1999 e 2016; e (III) a quantidade de material dragado durante a obra de aprofundamento entre julho de 2017 e agosto de 2018.

Gráficos estatísticos e cartogramas foram gerados através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por meio do software de geoprocessamento em ambiente ArcGIS 10.2.2.

Resultados e discussão

Análise dos Dados de Sedimentos Dragados

No período entre os anos de 1999 e 2016 foram dragados um total de 30.739.669,1 m^3 , o que equivale a uma taxa anual de manutenção de 4.148.755 m^3 (Tabela 2).

Tabela 2. Volumes (m^3) dragados em obras de manutenção e aprofundamento dos trechos do canal da Galheta, assim como a estimativa anual de assoreamento. * Obra pontual de aprofundamento em 2014. Fonte: APPA (2017).

TRECHO	Área (ha)	Manutenção (m^3) 1999 - 2016	Aprofundamento (m^3) 08/2017 – 07/ 2018	Assoreamento		
				(m^3/ano)	Desvio Padrão	(m^3/ano)/ha
ALFA	110,56	14.770.481,87	4.595.988,42	1.477.048,19	1.130.745,70	13.359,70
BRAVO I	87,64	1.932.953,93	1.501.271,62	276.136,28	187.725,16	3.150,86
BRAVO II	216,49	881.350,05	2.132.856,42	176.270,01	52.255,10	814,21
SURDINHO	7,75	*352.017,00	133.035,98	#	#	#
CHARLIE I	13,99	4.424.650,39	285.5447,6	491.627,82	577.014,50	3.537,29
CHARLIE II	15,4	809.134,79	#	115.590,68	101.126,11	7.505,89
CHARLIE III	62,15	500.550,77	1.696.179,95	250.275,38	125.089,47	4.026,74
DELTA I E II	125,6	7.068.530,27	#	1.009.790,04	974.452,54	8.039,73
ECHO	14,18	#	#	#	#	#
TOTAL	778,76	30.739.669,07	12.914.780,02	4.148.755,40	511.052,67	85.851,27

Ressalta-se que somente o setor Alfa, situado na desembocadura estuarina (Figura 3), representou 48,1% deste total, com volume médio de dragagem de 1.477.048,2 m^3/ano . Para fins de comparação, também foi apresentada a quantidade dragada durante a maior obra de aprofundamento do histórico do CEP, entre agosto de 2017 e julho de 2018 (Figura 3 e Tabela 2). O setor Alfa novamente se sobressaiu, havendo uma retirada de sedimentos na ordem de 4.595.988,4 m^3 .

Na região portuária da baía de Antonina, porção mais interna do estuário que contempla os terminais Barão de Teffé e Ponta do Félix, o trecho que abrange Delta I e II é classificado como o segundo mais assoreado, depois de Alfa. Tal fato se deve às altas taxas de sedimentação desta porção

do estuário, levando em consideração que o canal artificial funciona como armadilha de sedimentos (Lamour, 2007).

No período entre os anos de 2002 e 2005 foram dragados um total de 8.168.070 m^3 , o que equivale a uma taxa anual de manutenção de 1.361.345 m^3 . Dessa vez o setor Alfa representou 65,9% deste volume total (Soares, 2016).

Em 2009, diante do eminente risco de rebaixamento do calado de Alfa de -11,30 m para -9,80 m, a APPA contrata em emergência por dispensa de licitação a empresa SOMAR para realizar a manutenção do setor. Somente nesta obra, foram dragados 4.007.292,3 m^3 de sedimentos. A partir de dezembro de 2010, deu-se início a serviços de dragagem de manutenção na

medida em que o processo emergencial anterior não contemplou os outros setores do canal.

Destaca-se que o total de sedimentos dragados em 13 meses de aprofundamento, entre

agosto de 2017 e julho de 2018, equivalem a 42% de 16 anos de manutenção, isso sem contemplar Charlie II e Delta I e II.

Figura 3. A: zoom no canal da Galheta representando os seus segmentos; B: assoreamento anual nos segmentos por hectare; C: assoreamento anual em m³ para cada trecho; e D: Total de sedimentos dragados entre o período estudado.

Estimativa de Produção de Sedimentos para as UHs

A relação da quantidade de sedimentos produzidos em cada unidade hidrográfica que drena para o CEP é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidade de sedimentos produzidos pelas Unidades Hidrográficas que correspondem à: baía de Antonina; baía de Paranaguá; baía de Laranjeiras e ilhas estuarinas/oceânica.

Nº	Unidade Hidrográfica	Área (Km²)	Estimativa da Produção Anual (t.a ⁻¹)	Estimativa da Produção Anual (t.km².a ⁻¹)
18	Bacia Hidrográfica do Alto Rio Cachoeira	112,64	9.912,90	88,36
19	Bacia Hidrográfica do Médio Rio Cachoeira	92,90	6.408,00	69,24
20	Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Cachoeira	109,67	4.656,90	42,76
21	Bacia Hidrográfica do Rio Faisqueira	103,20	4.276,40	41,54
22	Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno	112,54	5.793,82	51,52
23	Unidade Hidrográfica Piaçaguera	119,34	2.664,27	22,66
24	Unidade Hidrográfica Foz do Nhundiaquara	95,48	2.936,92	31,20
25	Unidade Hidrográfica Baía de Antonina	34,40	1.489,25	44,29
26	Bacia Hidrográfica do Rio Cacatu	106,22	6.124,40	58,01
27	Bacia Hidrográfica do Rio São João	71,48	3.945,03	55,36
28	Bacia Hidrográfica do Alto Rio Nhundiaquara	140,95	11.256,56	80,3
29	Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Nhundiaquara	115,30	6.242,90	54,39
30	Bacia Hidrográfica do Rio Marumbi	102,77	8.584,28	83,71
31	Bacia Hidrográfica do Rio do Pinto	87,58	5.227,23	59,88
32	Bacia Hidrográfica do Rio Sagrado	135,02	10.055,75	74,90
34	Bacia Hidrográfica do Rio Jacareí	40,42	2.578,57	63,93
Média		98,74	5.759,57	57,63
Desvio Padrão		#	2.916,46	18,71
TOTAL BAÍA DE ANTONINA		1.579,92	92.153,18	922,05
35	Bacia Hidrográfica do Rio Ribeirão	87,87	4.653,11	53,17
36	Unidade Hidrográfica do Rio Emboguaçu	30,75	2.419,93	82,29
37	Unidade Hidrográfica do Rio Itiberê	59,67	2.614,97	45,57
38	Bacia Hidrográfica do Rio do Salto	108,76	4.187,50	38,61
39	Bacia Hidrográfica do Alto Guaraguaçu	81,63	1.738,89	21,51
40	Bacia Hidrográfica do Baixo Guaraguaçu	77,46	1.463,17	19,36
41	Unidade Hidrográfica do Rio Maciel	70,05	1.834,70	26,19
Média		73,74	2.701,75	40,96
Desvio Padrão		#	1.246,00	22,16
TOTAL BAÍA DE PARANAGUÁ		516,19	18.912,27	286,70
4	Unidade Hidrográfica do Rio Taquara	75,75	1.856,47	25,08
5	Unidade Hidrográfica do Rio dos Patos	89,92	2.029,77	23,29
6	Bacia Hidrográfica do Alto Rio Guaraqueçaba	166,51	6.878,22	41,59
7	Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Guaraqueçaba	107,59	4.334,64	40,78
8	Bacia Hidrográfica do Alto Rio Serra Negra	138,88	8.806,76	63,71
9	Bacia Hidrográfica do Baixo Rio Serra Negra	68,48	3.354,69	49,69
10	Unidade Hidrográfica Serra do Itaqui	122,23	2.971,4	24,89
11	Bacia Hidrográfica do Rio Perdeneiras	123,07	9.832,87	80,32
12	Bacia Hidrográfica do Rio Açungui	152,76	10.744,64	70,83
13	Bacia Hidrográfica do Rio Tagaçaba	78,43	4.583,92	58,82
14	Bacia Hidrográfica do Rio Tagaçaba de Cima	102,10	8.490,72	83,63
15	Bacia Hidrográfica do Rio Potinga	108,30	8.326,03	76,90
16	Bacia Hidrográfica do Rio Pacotuva	92,16	3.331,16	36,32
17	Unidade Hidrográfica Baía Laranjeiras	92,06	2.682,43	29,67

Média		108,45	5.587,41	50,39
Desvio Padrão		#	3.126,71	21,83
TOTAL BAÍA DAS LARANJEIRAS		1.518,24	78.223,72	705,52
1	Unidade Hidrográfica do Superagui	158,65	2.067,18	13,89
2	Unidade Hidrográfica da Ilha das Peças	108,25	729,79	6,98
3	Ilhas de Guaraqueçaba	32,05	335,39	12,01
33	Ilhas de Antonina e Paranaguá	33,51	828,74	28,16
42	Unidade Hidrográfica Oceânica	99,04	3.038,46	30,68
43	Unidade Hidrográfica da Ilha do Mel	28,53	728,50	28,38
Média		76,67	1.288,01	20,02
Desvio Padrão		#	1.040,60	10,21
TOTAL ILHAS ESTUARINAS / OCEÂNICA		460,03	7.728,06	120,10
DESVIO PADRÃO - CEP		#	3.069,03	22,62
MÉDIA GERAL - CEP		94,75	4.581,80	47,31
TOTAL GERAL - CEP		4.017,18	197.017,21	2.034,37

Assim, os dados estimados de produção de sedimentos no Complexo Estuarino de Paranaguá indicam uma produção total de 197.017,2 toneladas anuais de sedimentos, o que se traduz em uma produção média de 47,3 t.km².a⁻¹. De modo geral, as UHs com maiores valores de produção de sedimentos encontram-se nas Serras, tais como as UHs do Rio Cacheira, Marumbi e Nhundiaquara. Contudo, salienta-se que o maior valor médio de produção sedimentar por km² foi encontrado nas UHs que drenam para a baía de Antonina, com o valor de 57,6 t.km².a⁻¹. Ademais, na mesma região encontram-se valores muito superiores, chegando a 88,4 t.km².a⁻¹, na Unidade Hidrográfica do Alto Rio Cachoeira que, conforme já apontado por Paula (2010), é a principal contribuinte para os processos de assoreamento que se desenvolvem no estuário. A produção de sedimentos para cada UH pode ser observada na Figura 4.

Assoreamento versus Dragagens e a Expansão da Atividade Portuária

As alterações antrópicas desenvolvidas em estuários tais como atividades de dragagens, retificação de canais, ocupações de zonas intermarés e de manguezais, tendem a aumentar a taxa de sedimentação, favorecendo o assoreamento (Bianchini et al., 2019; Angulo et al., 2020; Fernandes et al., 2021; Wang et al., 2021). Pesquisas relacionadas (Monge-Ganuzas et al., 2013; Williams et al., 2014; Traini et al., 2015; Van Maren et al., 2015; Elliott et al., 2019) afirmam que essas atividades antrópicas podem: diminuir a área de atuação da maré (alteração da dinâmica do prisma de maré), o que modifica as velocidades de enchente ou as de vazante e faz com que o sedimento seja transportado em diferentes taxas (Dijkstra et al., 2019); e alterar a circulação

estuarina (Lana e Soares, 1994; Nichols, 2018). Além disso, o aprofundamento de canais pode aumentar a concentração de sedimentos em suspensão por ampliar a capacidade de transporte na superfície do estuário (Van Maren et al., 2015; Chant et al., 2018; Niesten et al., 2021) e por modificar o padrão de penetração da cunha salina (Silva e Gomes, 2012; van Rijn e Grasmeyer, 2018; Eidam et al., 2021). A retificação de canais pode proporcionar um aumento na capacidade de transporte das correntes e, com isso, transportar mais sedimento (Monge-Ganuzas et al., 2013; Van Maren et al., 2015; van Rijn et al., 2018).

Seguindo essa lógica, diversos fatores provavelmente foram responsáveis por causarem impactos na paisagem do CEP (Miura e Noernberg, 2020) e os processos sedimentares locais, principalmente após a década de 1960 (Angulo et al., 2020). São eles: a ampliação da área portuária no eixo E-W; a necessidade do estabelecimento de um canal cuja profundidade do leito passou a ser mantida por dragagens contínuas; a ocupação das áreas intermarés e dos manguezais pelas expansões do porto, indústria e urbanização (moradias) e; o aumento do despejo de efluentes domésticos e industriais que deságuam nas baías (Angulo et al., 2020).

Atualmente, a principal interferência antrópica no transporte e balanço de sedimentos no eixo E-W do CEP é constituída pela necessidade das contínuas dragagens de manutenção (APPA, 2017). Os resultados obtidos no presente estudo, mesmo que possivelmente influenciados por eventuais erros decorrentes da falta de precisão de alguns dados batimétricos, ou pela inexistência de registros, demonstram um indício da ordem de grandeza do volume de sedimentos retidos nos

trechos do canal da Galheta, sendo o setor Alfa o mais crítico neste sentido.

Figura 4. Produção de sedimentos ($t.km^2.a^{-1}$) nas UHs que drenam para o CEP.

As maiores taxas de sedimentação observadas no trecho Alfa estão associadas ao fato deste ter sido escavado sobre um complexo de bancos arenosos, o Banco da Galheta (Figura 3), caracterizado como parte do maior delta de maré vazante do litoral do Paraná (Angulo, 1992; Lamour, 2007; Dalazen et al., 2020). Com uma área aproximada de 88 km², sendo 65 km² depositados na porção sudoeste e 23 km² na porção nordeste, o banco é formado predominantemente *Rutyna*, B. B.; Soares, C. R.; Wroblewski, C. A.; Paula, E. V.

por areias muito finas e bem selecionadas, que tem seu aporte relacionado ao transporte via deriva litorânea (NE) numa faixa entre a linha de costa e a isóbata de 10m (Soares, 2016).

Lamour (2000) e Lamour et al., (2007) inferem que o fluxo sedimentar carregado por sobre o lobo terminal do delta está associado à formação de uma frente preferencial de sedimentação no canal principal de vazante (canal da Galheta), responsável pela flexão do eixo geométrico do

canal para SW. Apesar de ter sido dragado de forma retilínea, foi progressivamente se tornando curvo, o que evidencia a entrada de sedimentos de SW-NE (Lamour e Soares, 2008).

Diferentemente do que propõem diversos autores (Wang et al., 1999; Bosboom e Stive, 2009; Elias e Hansen, 2013; Sandbach et al., 2018) sobre as células de circulação sedimentar residual em estuários, a desembocadura sul do CEP apresenta um padrão incomum. De acordo com Soares (2016), os residuais de transporte nessa região não apresentam a tendência de importação de sedimentos para o interior estuarino. Observa-se a formação de uma zona de convergência de correntes e transporte, na qual os sedimentos tendem a depositar nas margens sul do canal da Galheta, antes de serem redirecionados ao lobo terminal do delta (Cruz e Noernberg, 2020). Essa deposição está intimamente associada à formação da zona crítica de assoreamento (ZCA), a montante de Alfa, onde há convergência de fluxos entre duas células de circulação (Soares, 2016) – o que reforça a tendência de deposição sedimentar nessa região. Esta recirculação na porção sul do Banco da Galheta segrega o fluxo em duas vertentes: (I) parte acompanha a região do lobo terminal do delta, sentido SW-NE, sendo redirecionada para a ZCA e; (II) outra porção flui em direção à costa, sendo redirecionada ao canal principal de vazante (Galheta) via canal marginal de enchente (Soares, 2016).

Outro padrão diferenciado associado à desembocadura sul do CEP, é o de propagação das ondas observado na região sul do Banco da Galheta, onde a quebra sobre o banco promove a dissipação da energia e a formação de um gradiente longitudinal de altura de onda na costa (Nielse, 2009; de Souza, 2017). Tal gradiente associado à incidência oblíqua do trem de ondas favorece a formação de uma corrente longitudinal em direção ao interior do canal (SW-NW), promovendo o aumento do atrito com fundo e sendo responsável pela disponibilização de grande quantidade de sedimentos, os quais tendem a ser advectados pelas correntes predominantemente em direção à ZCA (Elias e Hansen, 2013; Soares, 2016). Cabe ressaltar que a dissipação da energia de ondas durante a incidência de eventos extremos intensifica a ocorrência desses processos (Noernberg et al., 2007; Soares, 2016).

De maneira geral, pode-se inferir que a incidência de ondas é o principal agente na ressuspensão de sedimentos (especialmente na porção sul do Banco da Galheta), assim como a ação da maré é preponderante para redirecionar o fluxo residual para o canal principal de vazante, uma vez que, perante a ação isolada das ondas, este

fluxo tenderia a adentrar o estuário. Além do mais, o fluxo da maré parece ser fundamental para a formação da zona de convergência na zona crítica de assoreamento, conforme descrito por Soares (2016). A ação conjunta destas forçantes em reter os sedimentos na ZCA, reforça a teoria de que o maior desenvolvimento da porção sul do Banco da Galheta e a formação da ZCA estão associados à retenção dos sedimentos provenientes de NE em virtude do efeito de “molhe hidráulico” das correntes de maré vazante, conforme descrito por Soares et al (1994), Angulo (1999) e Lamour (2000).

Esses fatores demonstram a complexidade própria da dinâmica da desembocadura do CEP com três canais, onde diversos elementos confluem para modificar a configuração dos bancos além das dragagens. Outro fator que pode ser considerado se refere às áreas de despejos até então utilizadas, entretanto, os detalhes desta interferência são ainda pouco conhecidos. O esforço exacerbado demandado para manter as profundidades de projeto no setor Alfa, diante do somatório no que se refere à taxa de sedimentação elevada e o extremo risco à navegação, perante as forçantes oceanográficas de elevado potencial nesta região, provém da necessidade em atender as infraestruturas logísticas e portuárias em Antonina e, especialmente, Paranaguá, além da perspectiva de um novo porto em Pontal do Paraná que demandará dragagens ainda maiores nesta porção do canal, já que estão previstos calados na ordem de 15m de profundidade para este novo empreendimento portuário (Angulo et al., 2007).

Na Lei complementar nº 9 de 28 de outubro de 2014 que, “dispõe sobre o Zoneamento, o Uso e a Ocupação do Solo do Município de Pontal do Paraná, Estado do Paraná” (Pontal do Paraná, 2014), o atual perímetro da Zona Especial Portuária (ZEP) prevê a implantação de atividades portuárias, industriais e de logística na região. Dentre as questões ambientais derivadas desses novos empreendimentos que mais preocupam aos atores envolvidos, destacam-se: aumento da geração de resíduos e substâncias contaminantes; aumento do ruído e da degradação da qualidade do ar e da água em zonas de alto valor natural e turístico; efeitos sobre as dinâmicas costeiras e sedimentares das dragagens para a ampliação do calado nos canais de acesso marítimo às zonas portuárias; impactos potenciais sobre as espécies da fauna marinha, especialmente tartarugas marinhas e golfinhos; degradação dos recursos pesqueiros; derramamentos acidentais no meio marinho; expansão das zonas de retroporto com desmatamento de ecossistemas florestais protegidos; e a fragmentação de ecossistemas

nativos ocasionada pelas estradas e ferrovias (Angulo et al., 2007; 2020).

Além dos aspectos mencionados, existe uma preocupação sobre os reflexos que essa expansão da faixa industrial e portuária teria no patrimônio natural e cultural vinculado à Estação Ecológica e Parque Estadual da Ilha do Mel pelo aumento das demandas de calado do tráfego marítimo. Com o aumento do calado dos navios haverá necessidade de dragar mais, tanto dentro do estuário, como principalmente nos bancos arenosos mencionados, interferindo ainda mais na dinâmica de sedimentos da zona costeira. A interrupção dos fluxos de sedimentos provoca alterações importantes nas costas próximas, como já aconteceu no passado, resultado de sucessivas dragagens no porto de Paranaguá e que causaram a alteração da paisagem em uma das faces da Ilha do Mel pelo acúmulo de areia (SEPL, 2019).

Ampliando os fatos, se na desembocadura do canal da Galheta ocorrem os complexos processos de assoreamento descritos em Alfa, o trecho excepcionalmente mais dragado, outros processos acontecem nos trechos Delta I e II próximos à cabeceira do estuário, elencando-os em segundo lugar.

O assoreamento na baía de Antonina, responsável pelos expressivos volumes dragados nos trechos Delta I e II, é resultado de uma junção de processos naturais e antrópicos que ocorrem nas bacias de drenagem, os quais carregam água e sedimento para o estuário (Paula et al., 2010). Cattani e Lamour (2016) identificaram um aumento progressivo com o passar do tempo. O desenvolvimento das atividades portuárias nessa região tem como barreira o reduzido calado que o canal apresenta (Portos do Paraná, 2021). O nível de assoreamento compromete esse tipo de operação há muito tempo, desde que se percebeu a formação de pequenos baixios, mas que logo se expandiram e se transformaram em ilhas. A manutenção desses setores se torna extremamente onerosa, uma vez que um milhão de m³ em média de sedimentos são retirados anualmente para garantir acessibilidade aos navios. Esses valores implicam em aproximadamente 200 viagens com dragas tipo Hopper, com capacidade de caçamba capaz de atuar na região, até a área de descarte (ACE-20) a cerca de 60 km de distância (~120 km de ida e volta).

De acordo com Cattani (2017), as correntes de fundo desempenham um papel importante no carregamento de sedimentos finos para a cabeceira do estuário nas enchentes e, exportados a jusante, nos períodos de vazante. Talvez esse seja o fator mais influente no processo de assoreamento do que a sedimentação direta da suspensão que chega

através das bacias de drenagem. Por outro lado, Odriski et al. (2003) evidenciaram possíveis mudanças nos padrões de sedimentação na baía de Antonina pela transposição da bacia de drenagem do Capivari (situado no Planalto de Curitiba) para o Cachoeira, devido à construção da Usina Hidrelétrica Parigot de Souza, em 1970. Autores como Bigarella et al. (1978), Odriski et al. (2003), Gonçalves et al. (2005), Paula e Cunico (2006) e Paula (2010, 2016), apontam que o principal motivo da intensificação do processo de assoreamento na região e, consequentemente, nos trechos Delta I e II, está relacionado a esse empreendimento. A transposição fez com que a vazão do rio Cachoeira duplicasse, indicando uma maior competência de transporte sedimentar para o interior do estuário.

Adicionalmente, os eventos episódicos, como as chuvas convectivas, também intensificam o aporte de sedimentos terrígenos (Amorim et al., 2020). Toma-se como exemplo o evento ocorrido em 27/11/2006 na bacia do rio do Pinto (afluente do rio Nhundiaquara), quando foram registrados 70,6 mm em 24 horas na estação pluviométrica de Morretes, uma vazão aproximadamente 15 vezes superior à média identificada para o ano de 2006 (Paula, 2010). Já em março/2011, na região central da Serra do Mar Paranaense, após um acumulado pluviométrico de 230,6 mm em 24 horas, valor superior ao esperado para todo o mês de março (Zapata et al., 2016), um conjunto catastrófico e simultâneo de deslizamentos essencialmente translacionais, corridas de detritos e corridas de lama, associadas a inundações e depósitos na planície, resultou em 2,34 km² de cicatrizes na bacia do rio Jacareí (Paula, 2016). As inundações induzidas pelos processos causaram profunda alteração na paisagem, grande perda material e de uma vida humana (Paz e Paula, 2021).

Esses eventos corroboram com os resultados referentes à elevada suscetibilidade geopedológica a movimentos de massa e processos erosivos nas bacias hidrográficas situadas a montante do estuário.

Mesmo frente a ações de mitigação da produção de sedimentos nas UHs que escoam para a baía de Antonina, a tendência é que a atividade portuária nesta região se torne inviável para o empreendimento e para o estado, sobretudo se considerada a intensificação de eventos climáticos extremos, tais como os citados acima, ou decorrentes de intervenções antrópicas, como agricultura sem adoção de práticas conservacionistas e estradas rurais inadequadas (na bacia do rio Jacareí). Ademais, observa-se que o acesso terrestre de caminhões ao porto não é suficientemente segregado dos tráfegos viários

locais, alavancando prejuízos ambientais e sociais, diminuindo segurança viária da região e limitando a eficiência da operação portuária (MPPR, 2016). Situação semelhante ocorre na área urbana de Morretes, que é atravessada pelo tráfego pesado que se destina ao porto de Antonina. E para complementar, nos trechos Delta I e II, parte das obras de dragagens ocorrem dentro de Unidade de Conservação, uma vez que a porção estuarina do município de Antonina está integralmente inserida na APA Federal de Guaraqueçaba (Paula et al., 2018).

A baía de Antonina ainda não é muito bem compreendida no que diz respeito à sua hidrodinâmica, aporte e dinâmica de sedimentos, apesar de sua importância econômica, ambiental, social e de suas características fisiográficas (Cattani, 2017). Em contrapartida à inviabilidade portuária no município, o Plano Diretor de Zoneamento Portuário do Litoral do Paraná – PDZPO (APPA et al., 2013) indica como potencial investimento a criação de terminal turístico, terminal pesqueiro e marina pública, diversificando os interesses para a área do porto e para o Litoral Norte (Antonina, Morretes e Guaraqueçaba).

Conclusão

A comparação entre as UHs com maior propensão à erosão e os trechos de maior deposição sedimentar no eixo E-W do CEP, proporcionou a análise dos setores críticos à navegação que são mantidos onerosamente por obras de dragagens.

Desta forma, os cenários apresentados visaram ampliar o entendimento acerca dos padrões hidrodinâmicos e de transporte sedimentar observados na região, bem como do aporte proveniente das bacias de drenagens, para que os processos de assoreamento no canal da Galheta não sejam tratados apenas por obras de dragagens, mas através de análises sistêmicas das áreas fontes dessa sedimentação.

O padrão de circulação e transporte sedimentar na desembocadura sul do CEP é altamente complexa em função da sua morfologia e das forças atuantes no ambiente. Além da variabilidade natural, intervenções antrópicas sistemáticas também influenciam nessa dinâmica.

A possível implantação de um novo porto na região representa um enorme desafio para compatibilização dos interesses da atividade portuária, da atividade turística e da sustentabilidade dos recursos naturais utilizados pelas comunidades litorâneas.

Nesse sentido, é fundamental o estudo de novas alternativas que busquem uma solução de menor impacto em relação à implantação do Porto de Pontal e o complexo logístico previsto em

Pontal do Sul, que são investimentos públicos e privados em região ambientalmente sensível de Mata Atlântica.

Por outro lado, a manutenção da atividade portuária em Antonina não se revela viável, frente às elevadas taxas de produção de sedimentos registradas nas UHs que escoam para este estuário.

Como recomendação aponta-se a concentração da atividade portuária nas instalações já consolidadas do porto de Paranaguá, o qual no presente passa por seu maior processo de ampliação já registrado, conforme EIA-RIMA em análise pelo IBAMA.

Por fim, ressalta-se que deve haver um trabalho articulado na construção científica do conhecimento entre seus diversos elementos para adquirirem significado na totalidade das relações socioambientais em que os interesses econômicos estão contextualizados.

Agradecimentos

À memória de Carlos Roberto Soares, amigo comum, mestre das Geociências e “historiador enrustido”. Os autores agradecem à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Centro de Estudos do Mar e aos laboratórios de Biogeografia e Solos (LABS) e de Geoprocessamento e Estudos Ambientais (LAGEAMB), por proporcionarem a execução desse trabalho.

Referências

- Amorim, A. C. B., Scudelari, A. C., Cunha, C., Gonçalves, J. E., 2020. Eventos Extremos de Precipitação no Litoral do Paraná (Baía de Paranaguá). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35(4), 563-575.
- Angulo, R. J., 1992. Sedimentos Paleoestuarinos da Planície Costeira do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências* 40, 115-135.
- Angulo, R. J., 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. *Anais Academia Brasileira de Ciências* 71 (4-II), 935-959.
- Angulo, R. J., Souza, M.C., 2007. Terminal Portuário localizado no município de Pontal do Paraná, PR: Relatório de Impacto Ambiental - RIMA; Estudo de Impacto Ambiental - EIA. AMB Planejamento Ambiental e Biotecnologia LTDA, Curitiba, PR.
- Angulo, R.J., Borzone, C.A., Noernberg, M.A., Quadros, C.J.L., Souza, M.C., Rosa, L.C., 2016. The State of Paraná Beaches. In: Andrew, D.S., Klein, A.H.F. *Brazilian beach Systems*, 1. ed, Switzerland: Springer International Publishing AG, 419-464.

- Angulo, R.J., Souza, M.C., Muller, M.E.J., Noernberg, M.A., Soares, C.R., Borzone, C.A., Marone, E., Quadros, C.J.L., 2017. Erosão e acreção no litoral paranaense. In: Muehe, D. (Org.). Erosão e progradação do litoral brasileiro, 2. ed. Brasília. Editora MMA, pp. 01-66.
- Angulo, R.J., Souza, M.C., Noernberg, M.A., 2020. Anthropic impacts on the morphological and sedimentary processes in the coast of State of Paraná, in Southern Brazil: past and future perspectives. *Journal of Integrated Coastal Zone Management/ Revista de Gestão Costeira Integrada* 20(1), 5-25.
- APPA Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina; FEESC Fundação de Ensino de Engenharia de Santa Catarina; LABTRANS Laboratório de Transporte e Logística, 2013. Plano Mestre Porto de Paranaguá. Paranaguá, PR: APPA; Florianópolis, SC: FEESC; Florianópolis, SC: LABTRANS.
- APPA Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina, 2015. Manutenção do Canal de Acesso, Bacia de Evolução e Berços do Cais Comercial do Porto de Paranaguá (Área Alfa, Bravo e Charlie) e Canal de Acesso ao Porto de Antonina (Áreas Delta). Relatório Técnico Final, I, Paranaguá, PR.
- APPA Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina, 2017. Planejamento Estratégico da Infraestrutura Marítima dos Portos do Paraná – PEIM_PR. Paranaguá, PR.
- APPA Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina; FEESC Fundação de Ensino de Engenharia de Santa Catarina; LABTRANS Laboratório de Transporte e Logística, 2017. Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto de Paranaguá – PDZPO. Revisão IV, PR: APPA; Florianópolis, SC: FEESC; Florianópolis, LABTRANS.
- Bavinck, M., Berkes, F.; Charles, A., Dias, A. C. E., Doubleday, N., Nayak, P., Sowman, M., 2017. The impact of coastal grabbing on community conservation – a global reconnaissance. *Maritime Studies* 16.
- Belchior, F. V. S., 2019. Morfologia e distribuição de dunas submersas do estuário do Rio Potengi (Natal-RN). Dissertação (Mestrado). Natal, UFRN.
- Bianchini, A., Cento, F., Guzzini, A., Pellegrini, M., Saccani, C., 2019. Sediment management in coastal infrastructures: Techno-economic and environmental impact assessment of alternative technologies to dredging. *Journal of environmental management*, 248, 109332.
- Bigarella, J. J., Becker, R. D., Matos, D. J., Werner, A., 1978. A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná: um problema de segurança ambiental e nacional, Curitiba, Governo do Paraná/SEPL/ADEA, pp. 249.
- Bokuniewicz, H., 1995. Sedimentary systems of Coastal-plain Estuaries. In: Perillo, G.M.E. (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of estuaries*, The Netherlands: Elsevier Science B.V., pp. 49-67.
- Bosboom, J., Stive, M. J. F., 2009. *Coastal Dynamics I*. Netherlands. Delft Academic Press.
- Boyd, R., Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., 2006. Estuarine and incised-valley facies models. IN: Posamentier, H. W. & Walker, R. G. *Facies models revisited* 532.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Disponível: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf. Acesso: 12 mai. 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 22 dez. 1997. Disponível: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso: 12 mai. 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso: 12 mai. 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 08 nov. 2012. Disponível: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693> Acesso: 12 mai. 2021.
- Camargo, R., Harari, J., 2003 Modeling the Paranagua Estuarine Complex, Brazil: tidal circulation and cotidal charts. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 51, 23-31.
- Campagnoli, F., 2005. The Brazilian lands: rates of potencial production of sediments. In: *Sediment Budgets Symposium*, 7. Analls of VII IAHS Scientific Assembly. Foz do Iguaçu.
- Campagnoli, F., 2006. The production of the sediment of the South American: porpose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 1, 3-8.
- Carbinatto, G. A., Corradi, C. E., 2018. Sedimento de dragagem: comparações de legislações vigentes. In: *Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*, XIII, Espírito Santo.

- Castro, S. M., Almeida, J. R., 2012. Dragagem e conflitos ambientais em portos clássicos e modernos: uma revisão. *Sociedade & Natureza* 24, 3, 519-533.
- Cattani, P.E., Lamour, M.R., 2016. Considerations regarding the sedimentation rates along the Paranaguá Estuarine Complex: a Bathymetric approach. *Journal of Coastal Research*.
- Cattani, P.E., Lamour, M.R., 2016. Geomorphology and Sedimentology of Antonina and Paranaguá Bays: Spatial Analysis of Environmental Parameters. *Journal of Coastal Research*.
- Cattani, P. E., 2017. O contexto hidrodinâmico na formação da paisagem de fundo da baía de Antonina - PR. Tese (doutorado). Curitiba, UFPR.
- Chant, R.J., Sommerfield, C.K., Talke, S.A., 2018. Impact of Channel Deepening on Tidal and Gravitational Circulation in a Highly Engineered Estuarine Basin. *Estuaries and Coasts* 41(6), 1587–1600.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Hernandes Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. 2001. Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial, São José dos Campos.
- Cruz, O. G., Noernberg, A. M., 2020. Bedforms controlled by residual current vortices in a subtropical estuarine tidal channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 232, 106485.
- Dalazen, J. P., Cunha, C. D. L. D. N., Almeida, R. C. D., 2020. Determinação das taxas de renovação das águas no complexo estuarino de Paranaguá. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(6), 887-899.
- de Souza, M. C., Müller, M. E. J., Noernberg, M. A., Soares, C. R., Borzone, C. A., Marone, E., de Quadros, C. J. L., Angulo, R. J., 2017. Panorama da Erosão Costeira no Brasil: Paraná, 583.
- Demarco, L. F. W., 2019. Caracterização dos processos sedimentares em trecho do canal de acesso ao Porto de Santos, por meio de métodos acústicos. Tese (doutorado). São Paulo, USP.
- Dijkstra, Y. M., Schuttelaars, H. M., Schramkowski, G. P., Brouwer, R. L., 2019. Modeling the transition to high sediment concentrations as a response to channel deepening in the Ems River Estuary. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(3), 1578-1594.
- Dyer, K.R., 1995. Sediment transport processes in estuaries. In: Perillo, G.M.E. (ed.). *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. Developments in Sedimentology 53, Elsevier, pp. 423-449.
- Eidam, E. F., Sutherland, D. A., Ralston, D. K., Conroy, T., Dye, B., 2021. Shifting sediment dynamics in the Coos Bay Estuary in response to 150 years of modification. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126.
- Elias, E. P. L., Hansen, J. E., 2013. Understanding processes controlling sediment transports at the mouth of a highly energetic inlet system (San Francisco Bay, CA). *Marine Geology* 345, 207-220.
- Elliott, M., Day, J. W., Ramachandran, R., Wolanski, E., 2019. A synthesis: what is the future for coasts, estuaries, deltas and other transitional habitats in 2050 and beyond? In: *Coasts and Estuaries*, Elsevier, pp. 1-28.
- Fernandes, E. H., da Silva, P. D., Gonçalves, G. A., Möller, O. O., 2021. Dispersion Plumes in Open Ocean Disposal Sites of Dredged Sediment. *Water*, 13(6), 808.
- Ferreira, A. C., 2018. Análise de risco de navegação portuária com base em SIG. Dissertação (mestrado). Alfeite, Escola Naval.
- Fonseca, R., Palma, C., 2018. Problemas ambientais relacionados com a dragagem de sedimentos poluídos. *Actas das 5ªs Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Lisboa.
- Gonçalves, J. E., Paula, E. V., Oliveira, A. V., Nocko, H. R., Reksidler, R., 2005. Modelagem Hidrodinâmica e de Transporte de Sedimentos na Baía de Antonina. Antonina: ADEMADAN. Relatório Técnico Terminais Portuários Ponta do Felix, pp 43.
- Haguenauer, G., Paiva, D., Kvassay, G., & Pimentel, G., 2020. Uso de indicadores de gestão como critério na alocação de recursos de dragagem em portos públicos brasileiros. *Revista Eletrônica de Estratégia e Negócios* 13, 149-177.
- Kumbier, K., Carvalho, R. C., Woodroffe, C. D., 2018. Modelling hydrodynamic impacts of sea-level rise on wave-dominated Australian estuaries with differing geomorphology. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(2), 66.
- Lamour, M. R., 2007. Morfodinâmica Sedimentar da Desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá -PR. Tese (doutorado). Curitiba, UFPR.
- Lamour, M.R., Soares, C.R., 2008. A “Barra de Paranaguá” e a Evolução Batimétrica do delta de maré vazante na Desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (PR). In: Boldrini, E.B; Soares, C.R; Paula, E.V. (Org). *Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente*. Antonina:

- ADEMADAN/UNIBEM/Secretaria de Ciência e tecnologia para Inclusão social, 69-87.
- Lessa, G., 2020. Aspectos básicos da circulação estuarina e sua relação com o ambiente costeiro. In: Muehe, D., Lins-de-Barros, F. M., Pinheiro, L. S., 2020. Geografia Marinha: Oceanos e Costas na Perspectiva de Geógrafos. Rio de Janeiro, PGGM.
- Maack, R., 1968. Geografia Física do Estado do Paraná, Curitiba, BADEP/UFPR/IBPT.
- Mantovanelli, A., 1999. Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem. Dissertação (mestrado). Curitiba, UFPR.
- Mahoney, P. C., Bishop, M. J., 2018. Are geomorphological typologies for estuaries also useful for classifying their ecosystems? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(5), 1200-1208.
- Marone, E., Jamiyanaa, D., 1997. Tidal characteristics and a variable boundary numerical model for the M2 tide for the estuarine complex of the Bay of Paranaguá, PR, Brazil. *Nerítica* 11(1-2), 95-107.
- Menegazzo, L., Petterini, F., 2018. Maiores Navios no Mundo, mais um Desafio no Brasil: uma análise do Programa Nacional de Dragagem. *Estudos Econômicos*, São Paulo, 48 (1), pp. 175-209.
- Ministério Público do Estado do Paraná, 2016. Disponível: https://meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/peticao_Cumprimento_de_sentenca.pdf. Acesso: 11 mai. 2021.
- Miura, A. Noernberg, M., 2020. Mapping of Conflicts of Use and Occupation of the Paranaguá Estuary Complex and Shallow Platform: Subsidies for Marine Spatial Planning. *Revista Costas* 2 (2), pp. 53-72.
- Monge-Ganuzas, M., Cearreta, A., Evans, G., 2013. Morphodynamic consequences of dredging and dumping activities along the lower Oka estuary (Urdaibai Biosphere Reserve, southeastern Bay of Biscay, Spain). *Ocean & Coastal Management* 77, 40-49.
- Nemes D.D., 2011. Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do estado do Paraná. Dissertação (mestrado). Curitiba, CEM/UFPR.
- Nichols, M. M., 2018. Consequences of dredging. In *Hydrodynamics of estuaries*, 17, 462.
- Nielse, P., 2009. Coastal and estuarine process. Singapore: World Scientific.
- Nielsen, I., Hoitink, T., Vermeulen, B., Huisman, Y., 2021. Mixed sediment transport in a stratified estuary: first insights from a field study. *Copernicus Meetings*.
- Noernberg, M.A., Marone, E., Angulo, R.J., 2007. Coastal currents and sediment transport in Paranaguá estuary complex navigation channel. *Boletim Paranaense de Geociências*, 45-61.
- Notteboom, T., 2004. Container Shipping And Ports: An Overview. *Review of Network Economics* 3(2), 86-106.
- Odreski, L. L. R., Soares, C. R., Angulo, R. J., Zem, R. C., 2003. Taxas de Assoreamento e a Influência Antrópica no controle da sedimentação da Baía de Antonina – Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências* 53, 7-12.
- Oka Fiori, C., Canali, N. E., 1998. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. Meio ambiente e desenvolvimento do litoral do Paraná.
- Oliveira, L.H.S., 2015. Morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna paranaense. Tese (doutorado). Curitiba, UFPR.
- Pascali, L., 2017. The wind of change: Maritime technology, trade, and economic development. *American Economic Review* 107, 9, 2821-54.
- Paula, E. V.; Cunico, C., Boldrini, E. B., 2006. Controle do assoreamento e dos contaminantes por meio da gestão de bacias hidrográficas para o planejamento das dragagens portuárias da Baía de Antonina / Paraná / Brasil. Editora UFPR 12, Curitiba, pp. 195-210.
- Paula, E. V., Santos, L. J. C., Uber, J. A., 2010. Análise da Suscetibilidade Geopedológica à Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR. *Revista de Geografia* 2, 134-147.
- Paula, E. V., 2016. Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina, Paraná: Contribuições ao planejamento do território. In: Reis, R.A.; Abrahão, C.M.S., Tiepolo, L.M.; Chemin, M. (Org.). *Litoral do Paraná: Território e Perspectivas*, v. I, Sociedade, Ambiente e Gestão, 1 ed. Curitiba, Brazil Publishing 1, 11-35.
- Paula, E. V.; Pigosso, A. M. B.; Wroblewski, C. A., 2018. Unidades de Conservação no Litoral do Paraná: Evolução Territorial e Grau de Implementação. In: Sulzbach, M. T.; Archanjo, D. R., Quadros, J. (Org.). *Litoral do Paraná: território e perspectivas* 3, 41-92.
- Paula, E. V.; Santos, L. J. C.; Wroblewski, C. A., Goldback, J., Brum, B. M. S., Rutyna, B. B., 2018. Estimativa da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem do Complexo Estuarino de Paranaguá/PR: subsídios para a gestão costeira. *Laboratório de Biogeografia e Solos da*

- Universidade Federal do Paraná. Curitiba. CNPq. 27p. Relatório Técnico.
- Paz, O. L. D. S., Paula, E. V., 2021. Planície do rio Jacaré após os movimentos de massa de 2011: considerações a partir da análise granulométrica de trincheira e mudanças do canal. *Revista Cerrados* 19,01, 140-159.
- Perillo, G.M.E., 1995. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. In: Perillo, G.M.E. (Ed.). *Geomorphology and sedimentology of estuaries*, The Netherlands, Elsevier Science B.V., 17-47.
- Perillo, G.M.E. & Syvitski, J.P.M., 2010. Mechanisms of sediment retention in estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 87, 175-176.
- Piedade, J., 2018. Segurança marítima e os estudos de segurança. *Relações Internacionais* 57, 11-24.
- Pontal do Paraná. Lei Complementar Nº 9 de 28 de outubro de 2014. Câmara Municipal de Pontal do Paraná, Estado do Paraná, 2014. Disponível: <https://leismunicipais.com.br/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-pontal-do-parana-pr>. Acesso: 22 abr. 2020.
- Porto, M. M., Teixeira, S. G., 2002. Portos e meio ambiente. Edições Aduaneiras, São Paulo.
- Portos do Paraná, 2021. Disponível: <http://www.portosdoparana.pr.gov.br/Operacional/Pagina/Calados>. Acesso: 11 mai. 2021.
- Prandle, D., 2009. Estuaries: dynamics, mixing, sedimentation and morphology. University of Wales, Cambridge, New York 248.
- Roldão, H., Melo, G., Pires, É., Barros-Filho, J. E., Rufino, C., 2021. Licenciamento Ambiental Portuário: avaliação dos programas ambientais na Baía Babitonga-Santa Catarina. *Metodologias e Aprendizado*, 4, 18-32.
- Sandbach, S. D., Nicholas, A. P., Ashworth, P. J., Best, J. L., Keevil, C. E., Parsons, D. R., Simpson, C. J., 2018. Hydrodynamic modelling of tidal-fluvial flows in a large river estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 212, 176-188.
- Santos Ferreira, W. L. dos. Marés de lama: impactos socioambientais dos rejeitos da mineração e dragagem portuária. Estudos de caso de Mariana (MG) e Rio Grande (RS). Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, X, Fortaleza.
- Santos, A. B dos., 2018. Resposta morfo-sedimentar do estuário do rio Potengi aos impactos de dragagem. Dissertação (Mestrado). Natal, UFRN.
- Sartoretto, J. R., 2019. Resposta do Estuário de Santos e São Vicente às pressões naturais e antropogênicas dos últimos 200 anos. Tese (Doutorado). São Paulo, USP.
- SEPL Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral; SEDEST Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo; SEDU Secretaria do Desenvolvimento Urbano e Obras Públicas; SEIL Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística; PRTUR Paraná Turismo; IPARDES Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social; ITGC Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, 2019. Plano para o Desenvolvimento Sustentável do Litoral do Paraná – PDS_Litoral. Governo do Estado do Paraná, Curitiba, PR.
- Silva, O. R., Gomes, M. B. M., 2012. Impactos das atividades portuárias no Sistema Estuarino de Santos. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade* 2, 64-81.
- Skilbeck, C. G., Heap, A. D., Woodroffe, C. D., 2017. Geology and sedimentary history of modern estuaries. In: *Applications of paleoenvironmental techniques in estuarine studies*. Springer, Dordrecht, pp. 45-74.
- Soares, C.R., Lana, P.C., 1994. Baía de Paranaguá: mapas e histórias. Editora UFPR, Curitiba.
- Soares, C. R., Lana, P. C., Lamour, M. R., Carrilho, J. C., Lorenzi, L., Alves, P. R. P., 1997. Parecer técnico sobre as possíveis áreas de despejo do material a ser dragado para o aprofundamento do canal de acesso à região de Antonina (Baía de Paranaguá – PR). Pontal do Paraná, CEM/UFPR/TPPF/FUNPAR.
- Soares, C.R., Lamour, M.R., 2008. Atividade portuária na Baía de Paranaguá (PR): histórico e características da navegação, canais de acesso, berços de atracação, bacias de evolução e áreas de fundeio. In: *Dragagens Portuárias no Brasil Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente*. Boldrini E.B., Soares C.R., Paula E.V., Ademadan/Unibem/MCT, 26-45.
- Soares, P. H., 2016. Influência da geometria do canal de navegação sobre a taxa de assoreamento do Canal da Galheta- Porto de Paranaguá (PR). Dissertação (mestrado). Rio de Janeiro, UFRJ.
- Traini, C., Proust, J. N., Menier, D., Mathew, M. J., 2015. Distinguishing Natural Evolution and Human Impact on Estuarine Morpho-sedimentary Development: A Case Study from the Vilaine Estuary, France. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 163, 143-155.
- Trevisan, C. L., 2018. Índice de Sensibilidade à Dragagem (ISD): metodologia e aplicação no zoneamento e gestão de dragagem na Baía de Sepetiba. Dissertação (mestrado). Niterói, UFF.

- Van Maren, D. S., Van Kessel, T., Cronin, K., Sittoni, L., 2015. The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. *Continental Shelf Research* 95, 1-14.
- van Rijn, L., Grasmeijer, B., 2018. Effect of channel deepening on tidal flow and sediment transport—part II: muddy channels. *Ocean Dynamics*, 68(11), 1481-1501.
- van Rijn, L., Grasmeijer, B., Perk, L., 2018. Effect of channel deepening on tidal flow and sediment transport: part I—sandy channels. *Ocean Dynamics*, 68(11), 1457-1479.
- Wang, Y. H., Cai, S. L., Yang, Y. D., Zhong, Z. Y., Liu, F., 2021. Morphological consequences of upstream water and sediment changes and estuarine engineering activities in Pearl River Estuary channels over the last 50 years. *Science of The Total Environment*, 765, 144172.
- Wang, Z. B., Jeuken, C., Vriend, H. J., 1999. Tidal asymmetry and residual sediment transport in estuaries: a literature study and application to the Western Scheldt.
- Waydzik, F. A., Ratton, E., Neto, D.N., Correia, R., 2018. Metodologia para valoração de impactos ambientais de serviços de dragagem: estudo de caso para a hidrovia do rio paraguaí. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* 7, 59-78.
- Williams, J., Dellapenna, T., Lee, G. L. P., 2014. Sedimentary impacts of anthropogenic alterations on the Yeongsan Estuary, South Korea. *Marine Geology* 357, 256-271.
- Wroblewski, C. A., Paula, E. V., 2016. Estimativa da Produção de Sedimentos na Área de Abrangência da APA de Guaraqueçaba: Subsídio ao Planejamento e Gestão Ambiental. Maringá, XI Simpósio Brasileiro de Geomorfologia, SINAGEO. Cunha, A.P.M.do.A., Alvalá, R.C.dos.S., Oliveira, G.S., 2013. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28, 139-152.
- Zapata, R., Simiano, L. F., Pinheiro, E. G., 2016. O evento águas de março e sua avaliação de danos e perdas. In: Pinheiro, E. G., Pedroso, F. F. F. (eds.). *Construindo um estado resiliente: o modelo paranaense para a gestão do risco de desastres* 1, 34–51.