

Principais Eventos de Inundação Costeira na Costa de Santa Catarina Registrados pela Rede Maregráfica da Epagri entre 2012 e 2020

Argeu Vanz¹, Maria Laura Guimaraes Rodrigues², Matias Guilherme Boll³, Carlos Eduardo Salles de Araújo⁴ e Luis Hamilton Pospissil Garbossa⁵

Resumo – O objetivo deste trabalho foi caracterizar os quatro principais eventos de inundação costeira ocorridos na Costa Catarinense no período 2012 a 2020, associando os dados registrados na rede maregráfica da Epagri aos sistemas atmosféricos atuantes no período. Os eventos ocorreram nos meses de outono, inverno e primavera e apresentaram características similares. Os valores mais altos de maré registrados estão entre 2,0 e 2,5m. Uma diferença encontrada entre os eventos foi o número de inundações costeiras, que variou de 1 a 4 inundações/evento. Foi observado que ciclones extratropicais, situados mais ao sul do Uruguai, provocaram 4 a 5 inundações/evento, enquanto ciclones extratropicais situados entre o Uruguai e o Rio Grande do Sul, entre 1 e 2. Considerando 42 inundações, verificou-se que o percentual de maré acima da prevista ficou entre 30-50%, 51-70%, 71-90% e >90%, em 12, 16, 13 e 1 episódios, respectivamente.

Termos para indexação: Maré; Inundação; Santa Catarina; Ciclones.

Main coastal flooding events at Santa Catarina (South Brazil) coast registered by EPAGRI sea level monitoring network between 2012 and 2020

Abstract – The main objective of this work was to characterize four main coastal flooding events that occurred on the coast of Santa Catarina, Brazil between 2012 and 2020 and associate them with occurring active atmospheric systems, as well as data recorded in Epagri's tidal network. All the flooding events took place in the Fall, Winter or Spring, presenting similar characteristics. The highest recorded tide values varied between 2.0 - 2.5m. What differed from one event to another was the number of coastal flood/event, ranging from 1 to 4. It was observed that extratropical cyclones located further South, in Uruguay, caused 4 and 5 floods per event, while extratropical cyclones located closer to Santa Catarina, between Uruguay and Rio Grande do Sul, 1 and 2. Considering 42 high inundations, it was found that the tide percentage above the forecast tide ranged between 30-50%, 51-70%, 71-90% and >90%, in 12, 16, 13 and 1 episodes, respectively.

Index terms: Tide; Coastal flooding; Santa Catarina; Cyclones.

A maré astronômica é o fenômeno de variação do nível das águas marinhas causada, principalmente, pela atração gravitacional da lua e do sol. A maré astronômica pode ser prevista e é o resultado da soma de ondas senoidais, cuja periodicidade é conhecida e depende exclusivamente de fatores astronômicos. Já a somatória do vento e da pressão atmosférica, associada aos sistemas atmosféricos (ciclones, anticiclones e frentes frias), é conhecida como maré meteorológica e frequente no Sul do Brasil (RODRIGUES et al., 2004).

O impacto de ciclones extratropicais na costa de Santa Catarina (VANZ & RO-

DRIGUES, 2012; TEIXEIRA et al., 2012) depende da intensidade, da posição em relação à área afetada e do período de permanência (CARDOSO et al., 2012). A ação combinada das marés astronômica em fase de sizígia e meteorológica pode causar inundação costeira (ESTEBAN et al., 2015). Marés altas anômalas e ressacas do mar provocam inundação costeira e danos materiais, resultando em transtornos nos locais mais baixos da região costeira. Aquicultura, navegação, obras próximas da linha de costa, erosão e turismo são algumas atividades impactadas por esses eventos intensos/extremos.

Nesse sentido, o monitoramento e o estudo do comportamento do nível do mar são importantes para o uso racional da zona costeira. Para atender as demandas destas atividades, a Epagri implementou uma rede de monitoramento mareográfico, que atualmente conta com onze estações operacionais ao longo da costa. As informações são disponibilizadas na internet a cada hora (www.ciram.com.br/litoral_online/).

O objetivo deste trabalho é mostrar a relação entre o comportamento das marés e dos sistemas atmosféricos durante quatro eventos de marés altas anômalas ocorridos em Santa Catarina e

Recebido em 29/5/2020. Aceito para publicação em 29/4/2021.

<http://dx.doi.org/10.52945/rac.v34i3.827>

¹ Oceanólogo, MSc., Epagri / Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram), 88034-901 Florianópolis, SC, fone (48) 3665-5130, e-mail: argeuvanz@epagri.sc.gov.br.

² Meteorologista, Dra. - Epagri / Ciram, Florianópolis, SC, e-mail: laura@epagri.sc.gov.br

³ Engenheiro-agrônomo, Dr., Epagri / Ciram, Florianópolis, SC, e-mail: matias@epagri.sc.gov.br.

⁴ Oceanógrafo, Dr. - Epagri / Ciram, Florianópolis, SC, e-mail: kadu_araujo@epagri.sc.gov.br

⁵ Engenheiro, Dr., Epagri / Ciram, Florianópolis, SC, e-mail: luisgarbossa@epagri.sc.gov.br.

medidos pela rede maregráfica no período de janeiro de 2012 até abril de 2020. Esses eventos desencadearam inundações costeiras e ocorreram nas seguintes datas: 27 a 30/10/2016 (evento 1), 4 a 7/7/2019 (evento 2) (Figuras 1,2,3), 3 a 4/4/2020 (evento 3) e 6 a 9/4/2020 (evento 4). As cidades mais atingidas foram: Florianópolis, São José, Itajaí, Barra Velha, Balneário Camboriú, Joinville, Balneário Rincão, São Francisco do Sul, Balneário Barra do Sul, Laguna (farol de Santa Marta) e Passo de Torres.

Nas estações maregráficas os dados de nível do mar são obtidos por meio de sensores tipo radar e piezoelétrico, acoplados a um *datalogger* para armazenamento e processamento. Os dados são coletados, transmitidos (GPRS), qualificados pelo servidor do Banco de Dados da Epagri conforme detalhado em publicação específica (EPAGRI, 2020) e disponibilizados ao público de forma *on-line*.

Para preenchimento de falhas de registro de maré foi usada a linguagem

de programação interpretada Python (versão 3.7.2). Foi aplicado um filtro “passa baixa” do tipo Butterworth (BUTTERWORTH, 1930) para reduzir os ruídos de alta frequência provocados pela ação das ondas locais.

A Tabela 1 mostra os valores medidos de maré nos quatro eventos e a porcentagem que ficou acima do previsto. Observa-se que em 12, 16, 13 e 1 vezes o percentual de maré acima da prevista ficou entre 30-50%, 51-70%, 71-90% e acima de 90%, respectivamente.

Em relação a cada evento, a porcentagem acima da prevista variou de 30% a 77% (evento 1), 42% a 83% (evento 2), 40% a 85% (evento 3) e 41% a 95% (evento 4). Porcentagens menores foram registradas na estação maregráfica de Laguna, localizada no interior da lagoa de Santo Antônio, indicando um efeito de amortecimento na maré. As maiores porcentagens ocorreram nos pontos situados dentro da Baía da Babitonga, a qual parece amplificar o si-

nal da maré (TRUCCOLO & SCHETTINI, 1999). Vanz et al. (2019) mostraram que outros eventos também ultrapassaram 55,0cm de diferença entre as marés medida e prevista ao longo dos anos de monitoramento da maré na Costa Catarinense.

Nenhum evento único propiciou a superação dos recordes de maré em toda a costa (Tabela 1). O evento 1 teve o maior valor de maré registrado em Itapoá, São Francisco do Sul e Balneário Rincão; o evento 2, na Ilha da Paz, Joinville e Balneário Camboriú; o evento 3, em Barra Velha, Imbituba, Laguna e Passo de Torres; o evento 4, em Florianópolis (Figura 1). Cabe ressaltar que em Florianópolis o número de locais atingidos foi maior no evento 4, pois, embora o valor de pico tenha sido semelhante em ambos os eventos (182cm no evento 4 e 179,7cm no evento 3), a duração do evento 4 com quatro inundações em dois dias prolongou os transtornos nas praias e no trânsito.

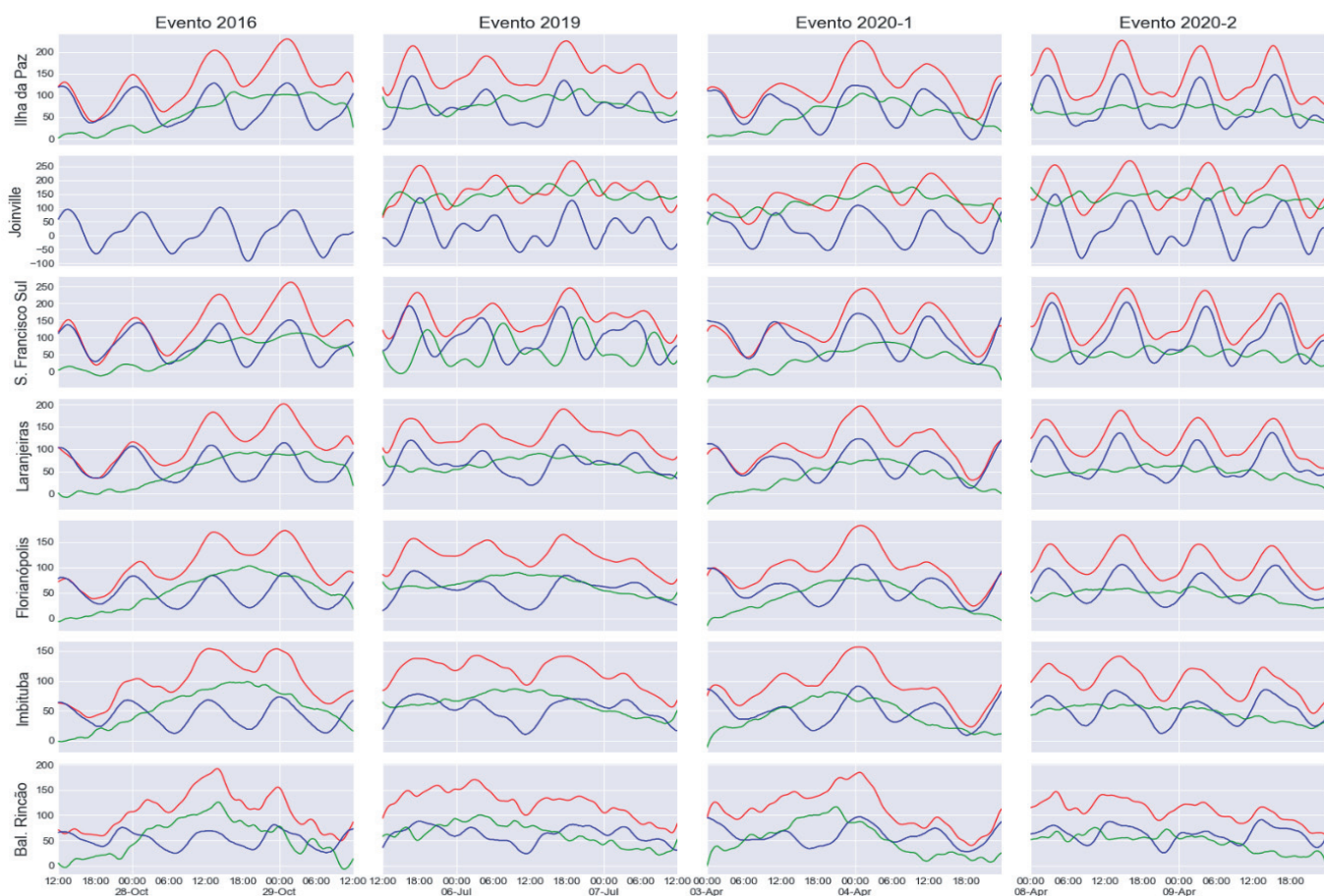
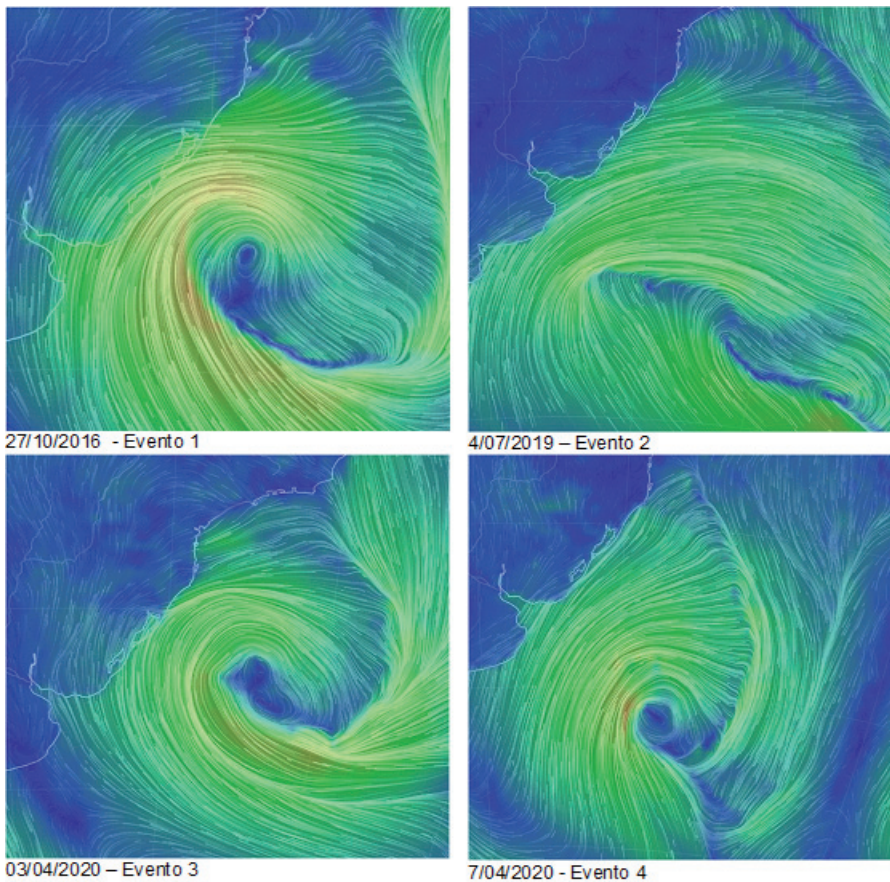


Figura 1. Segmentos dos maregramas mostrando o comportamento da maré em cada evento. (Vermelho - maré medida, azul – maré prevista (astronômica), verde - diferença entre as duas marés, medida e prevista)

Figure 1. Sea level oscillations on each event. (Red curve - measured oscillations; blue curve – forecasted astronomical tides; green curve - the residuals, computed as the difference between the previous curves)



Fonte: <https://earth.nullschool.net>

Figura 2. Circulação de ventos em superfície e localização dos sistemas meteorológicos para cada evento

Figure 2. Surface wind circulation pattern and position of the meteorological phenomena for each event



Figura 3. Inundação costeira da Avenida da Saudade – Florianópolis (7/7/2019 -17h20)

Foto: Matias Guilherme Boll

Figure 3. Coastal flooding at da Saudade Avenue. Florianópolis, 07/07/2019, 5:20 pm

Photo: Matias Guilherme Boll

O primeiro caso ocorreu na primavera, o segundo no inverno e os terceiro e quarto, no outono. Vanz et al. (2015) identificaram estas mesmas estações para maré alta em SC, nos anos de 2012

e 2013. Isto porque os ciclones extratropicais, principais sistemas atmosféricos associados à maré meteorológica positiva, são mais frequentes e intensos, no Sul do Brasil, entre abril e setembro

(GAN & RAO, 1991, REBOITA, 2008, HOSKINS & HODGES, 2005).

A Figura 2 apresenta o registro dos eventos em alguns dos marégrafos, a linha vermelha são os dados de maré medidos filtrados, a linha azul é a maré astronômica e a linha verde a diferença entre os dois valores.

Nos quatro eventos, uma frente fria passou por SC, seguida de um ciclone no mar. Na Figura 3, observa-se a posição dos ciclones (ventos em espiral com circulação horária) e frentes frias (região de confluência de ventos). Nos eventos 1 e 3, o ciclone posicionou-se, por um dia, próximo à costa do Uruguai e do RS. O aumento do nível do mar, em curto período de tempo (24 horas), principalmente no evento 3, provocou uma ou duas inundações costeiras.

No evento 4, um ciclone atuou na costa do Uruguai e do RS (08 e 09/04/2020) com centro afastado em direção ao mar. No evento 2, o vento sul no litoral, em 04/07/2019 (Figura 2), foi associado a uma baixa pressão na costa de SC, com frente fria em São Paulo (SP). E, nos dias seguintes (05 e 06/07), um ciclone passou a atuar na altura do Uruguai e do RS, afastado da costa. Nos eventos 2 e 4, a atuação mais prolongada dos sistemas atmosféricos manteve a maré alta por mais tempo e, conseqüentemente, a quantidade de inundação costeira foi maior (mais de duas). Em Florianópolis, por exemplo, foram sete inundações no total, três no evento 2 e quatro no evento 4.

Aparentemente os ciclones próximos à costa do RS geram um menor número de inundações costeiras, enquanto aqueles gerados em latitudes mais ao sul e/ou com centro mais afastado da costa sul do Brasil provocam um número maior. Em ambas as situações, ciclones e frentes frias favorecem o empilhamento da água na área costeira. O maior pico de maré observado é também semelhante nos eventos, porém os problemas causados são proporcionais aos números de inundações costeiras por evento.

O acesso ao serviço de monitoramento maregráfico cresceu significativamente de 2016 até 2020. Além dos acessos diretos pelos usuários, ocorreu também o aumento das solicitações de dados para pesquisa de universidades, planejamento de obras de empresas

Tabela 1. Picos de maré observada e prevista nos 4 eventos de maré alta em SC

Table 1. Observed and forecasted sea level peak values on the four high tide events at Santa Catarina

LOCAL	ILHA da PAZ				ITAPOÁ				S. FRANCO do SUL				JOINVILLE				BARRA VELHA						
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Máximo Medido	200,9	242,4	232	240,3	260,4	238,5	239,6	237,8	263,8	246,1	245,2	246,5	273,3	239,6	237,8		209	219	215				
Máximo Previsto	154	169	165	175	165	183	189	192	171	199	191	198	201	227	204	225	136	145	138	149			
% acima do Previsto.	77	70	71	73	63	77	79	81	65	81	78	80	83	85	95		69	63	69				
BALN. CAMBORIÚ	FLORIANÓPOLIS				IMBITUBA				LAGUNA				BALN. RINCÃO				PASSO de TORRES						
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
159,4	213,9	194	188	177,4	168,1	179,7	182	158,4	151,6	158,5	150,3	83	81	87	75	229,2	206,1	226,4	186	149	163	142	
121	130	134	137	95	104	110	106	78	89	93	85	25	34	35	31	82	95	97	91	67	71	76	72
76	61	69	73	54	62	61	58	49	59	59	57	30	42	40	41	36	46	43	49	48	47	51	

do governo e privadas, navegação dos portos e apoio à defesa civil, que usa os dados de forma contínua.

A Tabela 2 mostra o acesso médio ao sítio do litoral *on-line* e aos maregramas nos meses dos eventos, bem como o pico de acesso nos dias das ocorrências dos eventos: http://www.ciram.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2440&Itemid=753 e http://www.ciram.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=812&Itemid=490

O estudo mostrou que as inundações costeiras pela maré em Santa Catarina são provocadas pelos ciclones gerados na costa do Uruguai e do RS e/ou em latitudes mais ao sul do continente. Para os ciclones com centros no Uruguai e no RS ocorrem uma ou duas inundações por evento e naqueles com centros em latitudes maiores o número de inundação por evento é maior.

Referências

BUTTERWORTH, S. "On the Theory of Filter Amplifiers," *Experimental Wireless and the Wireless Engineer*, v.7, p.536-541, 1930.

CARDOSO, C. de S.; BITENCOURT, D. P.; MENDONÇA, M. Comportamento do vento no setor leste de Santa Catarina sob influência de ciclones extratropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.27, n.1, p.39-48, 2012.

EPAGRI. **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis, SC, 2020. 20p. (Epagri. Documentos, 310).

ESTEBAN, M.; TAKAGI, H.; SHIBAYAMA, T. **Handbook of coastal disaster mitigation for engineers and planners**. Elsevier, New York, U.S. 2015. 780p.

GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface Cyclogenesis over South America. *Monthly Weather Review*, v.119, n.5, p.1293-1302, 1991.

Tabela 2. Número de acessos mensais e pico diário nos meses dos eventos

Table 2. "Litoral online" website monthly totals and daily peak accesses registered on the events periods

Evento	Métrica	Litoral online	Maregrama
		Visualização/dia	Visualização/dia
1	Média mês	422	58
1	Pico no evento	988	730
1	Aumento percentual	234%	1259%
2	Média mês	414	361
2	Pico no evento	1.259	1.201
2	Aumento percentual	304%	333%
3	Média mês	381	337
3	Pico no evento	571	777
3	Aumento percentual	150%	231%
4	Média mês	381	337
4	Pico no evento	867	1.033
4	Aumento percentual	228%	307%

HOSKINS, B. J.; HODGES, K. I. A New on Southern Hemisphere Storm Tracks. *Journal of Climate*, v. 8, p.4108-4129, 2005.

REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. 2008. 359f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG–SP, SP, 2008.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.22, n.2, p.135–151, 2004.

TEIXEIRA, V. A.; CRUZ, G. S.; ALVES, M. P. A.; VANZ, A.; LEVIEN, C. C.; SILVA, A. N. B. Características dos Ciclones que Causam Desastres Naturais em Santa Catarina: Um Estudo de Caso. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 17., 2012, GRAMADO., **Anais[...]** Rio de Janeiro, SBMET, 2012. 1 CD-ROM

TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C.A.F. Marés astronômicas na Baía da Babitonga, SC. **No-**

tas Técnicas da FACIMAR, v.3, p.57-66, 1999.

VANZ, A.; BOLL, M. G.; ARAUJO, C. E. S.; GARBOSSA, L. H. P. Extremos de marés positivas e negativas em Santa Catarina, Brasil: 2012 a 2019. *In: SIMPÓSIO SOBRE ONDAS, MARÉS, ENGENHARIA OCEÂNICA E OCEANOGRAFIA POR SATÉLITE*, 13., 2019, Arraial do Cabo, RJ. **Anais[...]**. Arraial do Cabo, RJ: IEAPM, 2019. p.231-234.

VANZ, A.; GARBOSSA, L. H. P.; FERNANDES, L. G.; BOLL, M. G.; SOUZA, R. V.; VIANNA, L. F. N.; RUPP, G. S. Efeitos de Variáveis Meteorológicas Sobre o Comportamento do Nível do Mar na Costa Catarinense, Brasil. *In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA*, 8, 2015, Aveiro, Portugal. **Anais[...]** Portugal: APRH, 2015. p.1-13.

VANZ, A.; RODRIGUES, M. L. G. A erosão costeira na Praia da Armação do Pântano do Sul, no litoral catarinense. **Agropecuária Catarinense**, v.25, n.1, p.43-46, 2012.