



CAPÍTULO XV

INTERAÇÕES NOS CICLOS CLIMÁTICOS DO LITORAL SUL DO BRASIL E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A GESTÃO DE AMBIENTES COSTEIROS SUJEITOS A EROÇÃO

INTERAÇÕES NOS CICLOS CLIMÁTICOS DO LITORAL SUL DO BRASIL E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A GESTÃO DE AMBIENTES COSTEIROS SUJEITOS A EROSÃO

Miguel Albuquerque¹; Iran Stallivieri Corrêa² e Lauro Calliari³

¹Departamento de Geoprocessamento, Instituto Federal do Rio Grande do Sul – IFRS, 96201-460, Rio Grande – Rio Grande do Sul, Brasil. migueladagua@gmail.com

²Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 91501-970, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

³Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, 96203-900, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.

RESUMO

O presente artigo visa uma análise espaço temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão no litoral do extremo sul do Brasil. A partir de um monitoramento de costa em meso (período de 1947 a 2013) e microescala (setembro de 2011 a junho de 2012) utilizando fotografias aéreas, imagens de satélite, perfis topográficos e posição da linha de costa coletada com GPS-RTK, foi possível caracterizar o comportamento da linha de costa em diferentes cenários. Em mesoescala foi observado que o período entre 1996 e 2000 ocorreram as maiores retrações da linha de costa (6,29 m/ano). Em microescala foi observado que as localidades situadas mais a norte possuem uma maior tendência erosiva do que as regiões a sul. Os efeitos ocasionados pelos processos naturais devem ser quantificados com intuito de avaliar se os mesmos ocorreram em todo segmento costeiro ou em áreas pontuais suscetíveis a eventos erosivos. Dessa forma, o conhecimento da posição da linha de costa em termos de passado, presente e futuro se torna uma importante ferramenta para que se possam programar ações de planejamento e recuperação de municípios afetados pela erosão.

Palavras-chave: erosão costeira; eventos extremos; gestão costeira.

ABSTRACT

This paper aims study the causes of spatial and temporal shoreline variability and the erosion process in Southern Brazil. From a mesoscale (period from 1947 to 2013) and microscale (september 2011 to june 2012) monitoring using aerial photographs, satellite images, topographic profiles and shoreline position collected with GPS-RTK, behavior of the shoreline under different scenarios was characterized. At mesoscale, the period between 1996 and 2000 showed the highest retraction of the shoreline (6.29 m/year). At microscale, it was observed that the northernmost localities had a higher erosive tendency than the southern regions. Effects on the shore caused by natural processes must be quantified in order to evaluate whether these processes occurred indifferently at any coastal segment or in specific areas susceptible to erosive events. Thus, knowledge of shoreline position in terms of its past, present and future is an important tool to decide on planning or recovery actions to be taken on municipalities affected by coastal erosion.

Keywords: coastal erosion; extreme events; coastal management.

INTRODUÇÃO

A temática “mudanças do clima” e a adaptação dos municípios litorâneos a seus efeitos tem sido debatida fortemente ao longo dos últimos anos. A *United Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) considera como alterações climáticas apenas as mudanças resultantes direta ou indiretamente da atividade antrópica. Nesse contexto, observações compiladas ao longo das últimas décadas e, uma crescente literatura científica sugere que, provavelmente, tenha havido um aumento na intensidade de certos riscos costeiros em diferentes escalas (Forbes et al., 2004).

Para o litoral sul do Brasil, a ocorrência de desastres naturais tem sido relacionada à ação de eventos extremos de modo que a extensão de atuação desses eventos ainda é inconclusiva (Calliari et al., 1998). Desde a década de 1990, alterações nos ciclos climáticos, os quais são fator determinante dos parâmetros oceanográficos, têm sido observados de forma que essas alterações são traduzidas através do aumento da intensidade de sistemas frontais (Machado et al., 2010). Estudos relacionados aos impactos dos eventos extremos na costa do Rio Grande do Sul (RS) têm sido realizados com intuito de descrever a vulnerabilidade e riscos existentes. Dessa forma, as ações dos gestores municipais devem ser direcionadas para o mapeamento da frequência e modo de ocorrência desses eventos extremos, bem como a implementação de medidas mitigatórias e preventivas que possam minimizar os impactos causados por esses fenômenos (Albuquerque et al., 2015).

A partir do exposto, o presente estudo visa caracterizar as interações nos ciclos climáticos do litoral sul do Brasil e suas consequências para a gestão de ambientes costeiros sujeitos à erosão. O litoral do Rio Grande do Sul tem uma

costa dominada por ondas, sendo caracterizado por um regime de maré semi diurna, com altura média de 0,30 m, sendo que a maré meteorológica pode alcançar 1,20 m (Calliari et al., 1996). Os ventos predominantes são de NE e a altura significativa da ondulação pode chegar a 1,5 m com períodos de 7s a 9s. A localidade de estudo está situada na praia do Hermenegildo, a qual apresenta uma faixa urbanizada de 2,3 Km (Figura 1). O processo de urbanização se iniciou em 1964, com uma ocupação sobre as dunas frontais. Atualmente as construções à beira-mar têm sofrido constantemente com a ação das ondas em virtude do encurtamento do perfil praiado. O problema tem se agravado nos últimos anos devido ao conflito entre a atuação dos eventos extremos e a atividade antrópica, o que tem gerado um recuo da linha de costa e destruição da infraestrutura local.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o monitoramento da linha de costa em mesoescala (1947 a 2012) foram utilizadas fotografias aéreas, imagens de satélite e linhas obtidas com GPS-RTK. As aerofotos foram obtidas em modo pancromático e digitalizadas com resolução espacial de 0,5 m. As imagens orbitais são provenientes do sensor *Quickbird*, que no modo pancromático possuem uma resolução de 0,6 m.

Para um monitoramento em microescala foi utilizado um GPS-RTK operando no modo *stop and go*. As coletas foram realizadas semanalmente, durante um período de 6 meses, onde foram coletados pontos junto à escarpa praiada. Os dados foram referenciados no datum WGS 1984, sistema de projeção UTM (Universal Transverso de Mercator), zona 22 sul.

Para o cálculo do recuo da linha de costa, seja em micro ou mesoescala, foi utilizado o método do polígono de mudança (Smith and Cromley, 2012; Albuquerque et al., 2013). A metodologia consiste em extrair áreas erodidas e/ou acrescidas, a partir de duas linhas de costa distintas previamente vetorizadas, através da

geração e subtração de polígonos (Figura 2). Na álgebra de polígonos toda região de variação da linha de costa é quantificada, de modo que o

cálculo do deslocamento é feito pela divisão entre a área de praia (A) e o comprimento do segmento costeiro (L).

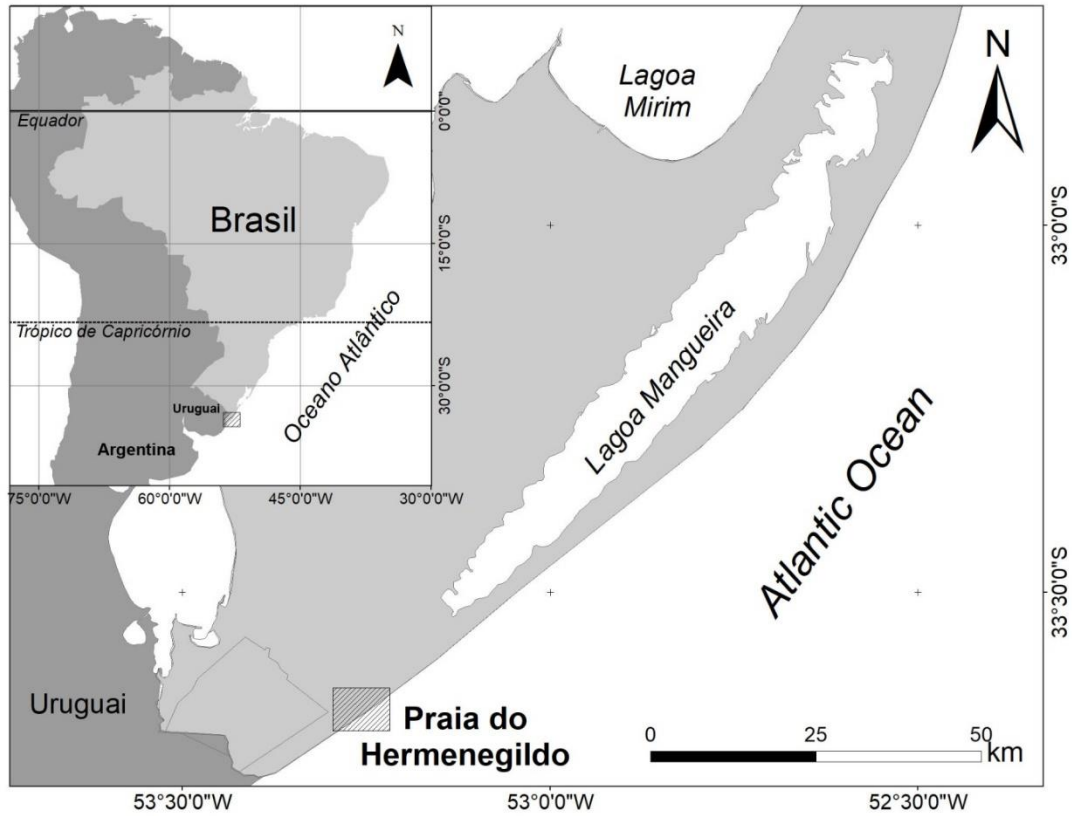


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

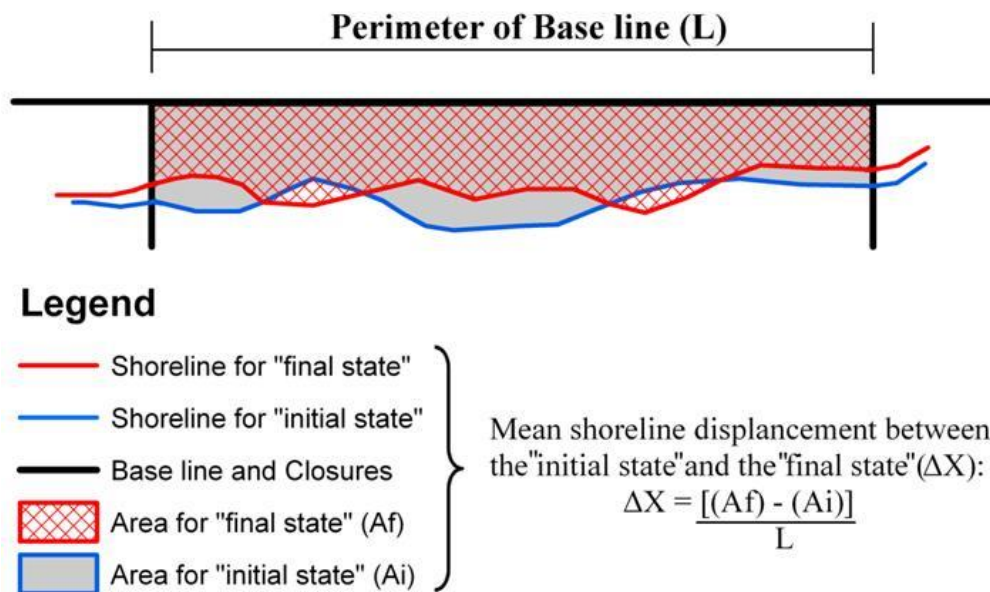


Figura 2 – Método do polígono de mudança. Fonte: Extraído de Anfuso et al. (2016).

Para quantificação do pacote sedimentar erodido e/ou acrescido foram realizados perfis topográficos sazonais e de alta frequência perpendiculares à costa. Os perfis foram realizados com auxílio de uma estação total, a qual foi posicionada sobre um referencial de nível local. Os monitoramentos sazonais foram realizados entre julho de 2010 e abril de 2012, mensalmente. Os perfis de alta frequência foram utilizados entre setembro de 2011 e junho de 2012, semanalmente.

Os dados de vento foram obtidos junto ao banco de dados do projeto Reanálise R-1 do NCEP/NCAR. Tais dados possuem uma

resolução temporal de 6h e resolução espacial de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, tendo sido coletados para a janela de coordenadas $32,5^\circ\text{S}$ e $52,5^\circ\text{W}$. Para o cálculo da velocidade do vento foram utilizadas as componentes zonal (u) e meridional (v) a 10 m de altura, segundo a proposição de Bowden (1983).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao longo de 65 anos, a taxa média de retração da linha de costa foi de 1,68 m/ano. Os maiores picos foram registrados entre os anos de 1996 e 2000 (6,29 m/ano) e entre 2005 e 2006 (5,25 m/ano).

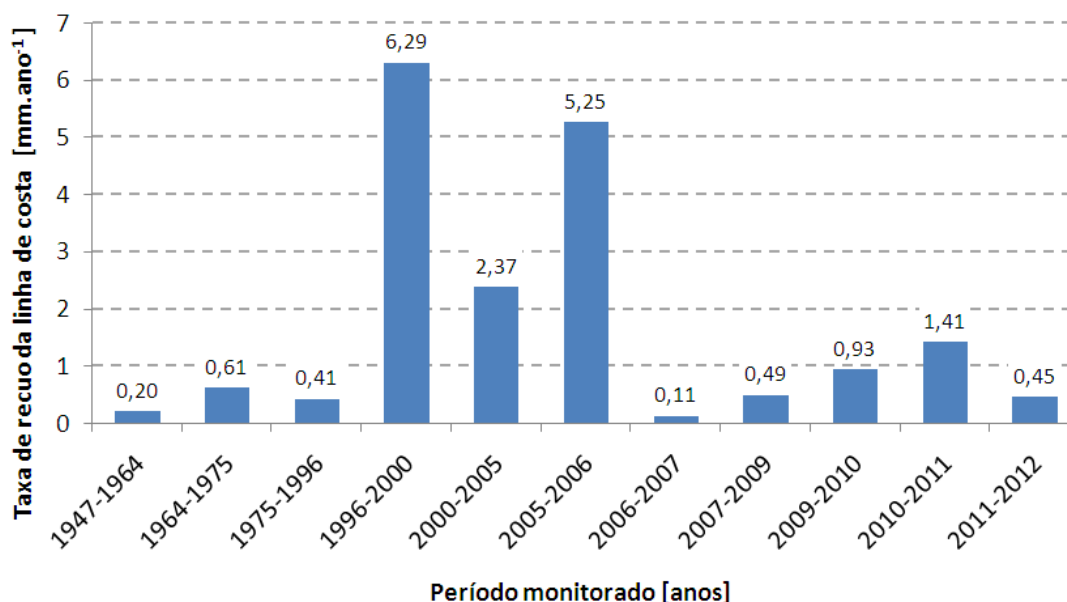


Figura 3 – Recuo médio da linha de costa entre 1947 a 2012.

Nos demais intervalos monitorados, as taxas médias de recuo oscilaram entre 0,11 m/ano e 2,37 m/ano (Figura 3). Para o período de 1947 a 1964, a taxa de recuo médio foi de 0,2 m/ano, o que pode ser atribuído a ciclo natural de acreção e erosão. Nesse período foram catalogadas as primeiras construções estabelecidas sobre o campo de dunas frontais. De 1964 a 1975 a localidade apresentou um processo de expansão urbana, com quase 2 Km de costa já edificadas e, uma taxa de retração média de 0,61 m/ano. Entre 1975 e 1996 a taxa de recuo da linha de costa declinou para 0,41

m/ano. Essa diminuição pode ser atribuída ao fato das dunas frontais se encontrarem edificadas de forma que, a continuidade do processo de expansão da praia do Hermenegildo foi direcionada para às dunas interiores.

A partir de 2006 as taxas de retração da linha de costa passaram a apresentar valores inferiores a 1,0 m/ano, à exceção do período entre 2010 e 2011 (1,41 m/ano). Os baixos valores de retração podem ser associados ao fato de que algumas localidades situadas ao norte e ao sul da praia do Hermenegildo não

apresentam qualquer tipo de estrutura de contenção à erosão.

Para uma análise em microescala (período compreendido entre 30 de setembro de 2011 e 06 de junho de 2012), os valores de retração média da linha de costa oscilaram entre 0,066 m e 0,57 m (Figura 4). Os maiores picos erosivos foram observados nos meses de novembro de 2011 e janeiro de 2012, onde a direção de vento predominante era de NE. Fazendo um

comparativo entre as maiores taxas de erosão, o monitoramento da posição da linha de costa de alta frequência e os perfis topográficos se observa uma grande perda de sedimentos (20,80 m³/m), com um rebaixamento de 0,47 m do pacote sedimentar, no mês de novembro. Em janeiro a tendência erosiva do perfil se manteve de modo que, o saldo final do pacote sedimentar foi uma perda de 78,30 m³/m, com rebaixamento de 1,3 m.

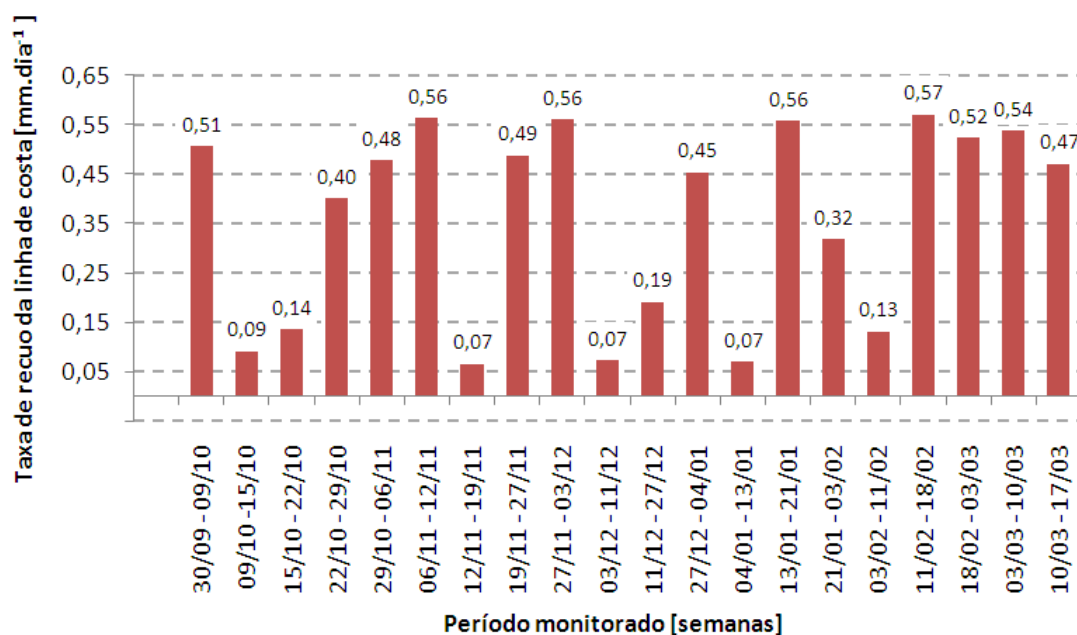


Figura 4 – Recuo médio da linha de costa entre setembro de 2011 a março de 2012.

Para a praia do Hermenegildo, tendo por base fatores relacionados à altitude do terreno, padrão dos ventos incidentes na localidade, taxas de recuo da linha de costa entre 1947 e 2012 e os tipos de estruturas presentes na orla, os resultados da análise multicriterial (Figura 5) demonstraram que o setor central e o setor norte foram caracterizados como sendo os mais suscetíveis ao processo erosivo.

Para o período onde ocorreu a maior taxa de retração Machado et al. (2010) destacam que o cenário meteorológico apresentava dois ciclones extratropicais simultâneos em paralelo, representando uma ciclogênese no sul da costa Argentina com uma trajetória de deslocamento para leste (entre 47,5°S e 57,5°S), e uma

ciclogênese ao sul da costa do Uruguai com uma trajetória de deslocamento também para leste (28°S e 43°S). Para o evento ocorrido em 1999, a trajetória do ciclone formou quase um loop sem movimento para leste. Após a passagem desse evento, Esteves et al. (2003) relatam que houve uma redução de 45 m³/m no pacote sedimentar, além da destruição parcial ou total de 20% das casas à beira-mar e 65% das estruturas de contenção.

Os eventos extremos representam um dos principais elementos de alteração morfológica em curto período de feições costeiras submetidas à ação das ondas (Bulhões et al., 2014). No caso das marés meteorológicas, estas são consideradas como o maior risco geológico em

áreas costeiras baixas (Von Storch and Woth. 2008). As marés meteorológicas resultam da ação de ventos provenientes de SW que sopram paralelos à principal orientação da linha de costa (NE-SW), onde centros de alta pressão são formados no continente e centros de baixa pressão são formados no oceano. A interação em mesma intensidade desses dois centros

contribui para a formação de uma pista de vento, o que favorece um empilhamento de água na costa em virtude do efeito de Coriolis (Parise et al., 2009). Somam-se às marés meteorológicas a presença de um *hotspot* associado à convergência ortogonal de ondas (Speranski and Calliari, 2006) e estruturas rígidas para conter a ação das tempestades.

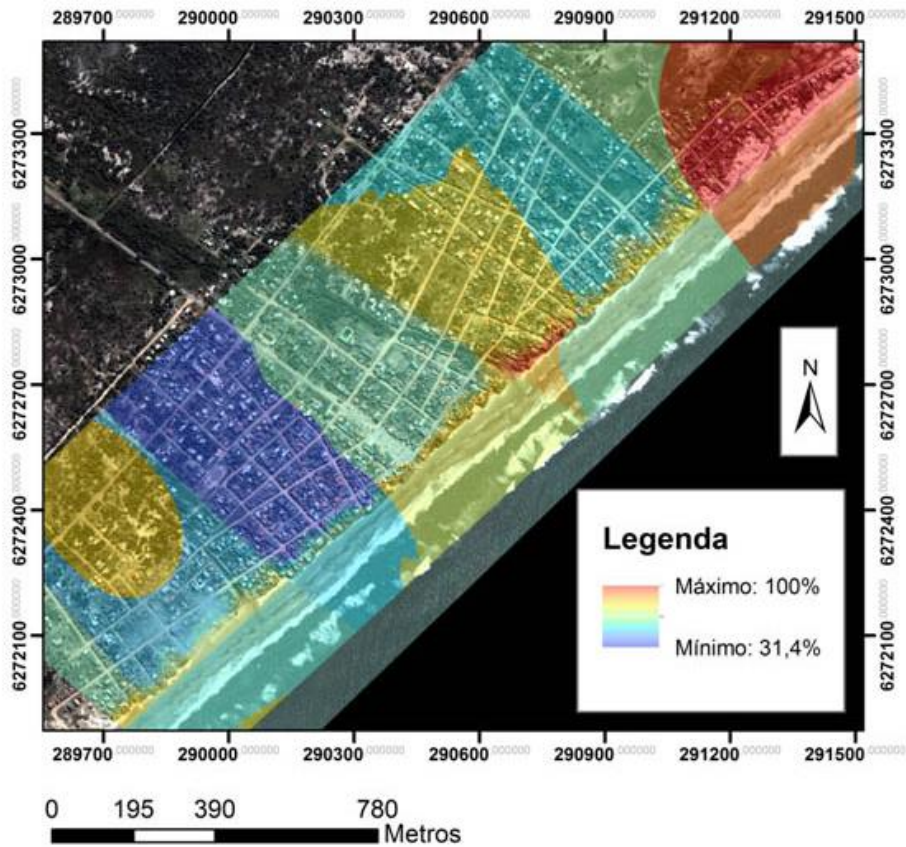


Figura 5 – Mapa de suscetibilidade à erosão.

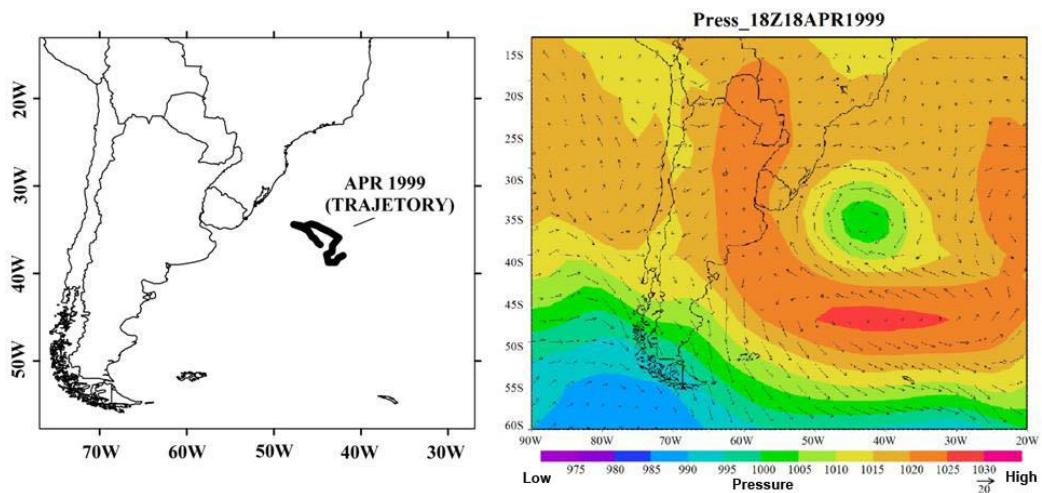


Figura 6 – Trajetória do ciclone em abril de 1999 e situação sinótica do campo de ventos e de pressão.

Uma análise de dados morfológicos realizada entre 1991 e 1996 por Tozzi (2000) tem apontado uma predisposição do setor sul da praia, a um processo erosivo ocasionado por tempestades provenientes de S e SE. Contudo, os levantamentos de microescala têm comprovado uma inversão nessa tendência erosiva, passando a porção norte da praia do Hermenegildo a apresentar as maiores taxas de erosão. Muehe and Klumb-Oliveira (2014) destacaram que em localidades com déficit sedimentar e consequentemente rápida retrogradação da orla, um monitoramento em microescala permite uma avaliação adequada da tendência retrogradacional ao longo do tempo. Nesse sentido, o monitoramento de alta frequência foi fundamental para o conhecimento das taxas de aporte de sedimentos tendo em vista que, um único evento de maré meteorológica, segundo Calliari et al. (1998), pode causar uma retração de 2m a 3m sem posterior recuperação da praia. Levando em consideração que o impacto das tempestades costeiras ocorre em uma curta escala de tempo e que, o litoral é exposto ao efeito cumulativo de vários eventos médios de energia que podem produzir respostas morfológicas correspondentes a um evento único de alta energia (Ferreira, 2006), é imprescindível que se tenha o comportamento de uma linha de costa sujeita à ação de eventos extremos.

Os dados obtidos nesse estudo, em termos de ordenamento, têm corroborado com o Plano de Manejo da localidade, o qual tem demonstrado que em termos de riscos socioambientais, o setor norte da praia do Hermenegildo é o que apresenta uma maior suscetibilidade à erosão. Em termos de ordenamento e gerenciamento do litoral, o conhecimento do comportamento da linha de costa e a projeção de sua evolução torna-se uma importante ferramenta para que se possam implementar ações de planejamento e

recuperação dos municípios afetados pela erosão.

CONCLUSÃO

A quantificação dos efeitos ocasionados pelos processos naturais ao longo da área estudada permitiu avaliar se esses processos ocorreram em todo segmento costeiro ou em áreas pontuais suscetíveis a eventos erosivos. Aspectos relacionados ao processo de recuperação do ambiente, após a passagem de marés meteorológicas, devem ser levados em conta de modo que seja possível avaliar se o litoral atingido apresenta perfis de acumulação e erosão, ou somente o processo erosivo, o que levaria a redução do volume real de sedimentos ao longo do tempo.

Uma análise espaço-temporal de mesoescala realizada por fotografias aéreas, imagens de satélite e linhas de GPS-RTK demonstrou que, o uso de diferentes variáveis e indicadores se mostraram satisfatórias para uma caracterização do processo erosivo nas praias do extremo sul do Brasil. A análise do comportamento da linha de costa entre os anos de 1947 e 2012 demonstrou que o período entre 1996 e 2000 foi caracterizado pelas maiores taxas de retrogradação. As maiores perdas foram associadas a períodos onde foi identificada a ação de uma ciclogênese de padrão II que, quando associada a períodos de forte El Niño, é responsável por grandes déficits sedimentares no ao longo do litoral sul do Brasil.

Em microescala, uma análise das linhas de GPS sazonais, de alta frequência e do pacote de perfis demonstrou que em períodos onde os ventos longilitorais (NE e SW) são predominantes, são registradas as maiores perdas de volume sedimentar. Essa redução do pacote de sedimentos ocorre principalmente no fim do outono. Associado a esse cenário tem-se a questão da inexistência de uma berma, bem como a fixação do campo de dunas pelas estruturas de engenharia, o que faz da localidade

um ambiente instável e suscetível ao processo erosivo. Em resposta à ação dos eventos extremos e no intuito de mitigar seus efeitos, os municípios do extremo sul do Brasil têm optado desde 1996 por fixar a linha de costa com inúmeras intervenções. Em muitos casos essas intervenções são feitas sem nenhum entendimento sobre a dinâmica costeira, de modo que tem contribuído para agravar a retrogradação da linha de costa. Para fins de manejo costeiro, os produtos gerados nesse estudo servem de subsídio para futuros projetos de expansão da localidade de modo que, o mapa de suscetibilidade ao processo erosivo torna-se uma importante ferramenta no processo de diagnóstico de áreas passivas de erosão, dando suporte para futuras construções na localidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M.; LEAL ALVES, D.; MACHADO, A.; ESPINOZA, J.; CALLIARI, L.; GANDRA T. 2015. Gestão costeira e riscos associados a tempestades: um panorama dos impactos costeiros causados pelos eventos extremos no Rio Grande do Sul, Brasil. In: Davis Pereira De Paula e João Alveirinho Dias, J. A. (Orgs.) *Ressacas do Mar/ Tempestades e Gestão Costeira*, Premius, Fortaleza, CE, Brasil, pp. 417-444. ISBN: 978-85-7924-440-7.
- ALBUQUERQUE, M. G.; ESPINOZA, J.; TEIXEIRA, P.; DE OLIVEIRA, A.; CORRÊA, I.; CALLIARI, L. 2013. Erosion or coastal variability: an evaluation of the DSAS and the change polygon methods for the determination of erosive process on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, **Special Issue 65** - International Coastal Symposium Volume 2: pp. 1710–1714.
- ANFUSO, G.; BOWMAN, D.; DANESE, C.; PRANZINI, E. 2016. Transect based analysis versus area based analysis to quantify shoreline displacement: spatial resolution issues. *Environment Monitoring Assessment*, **188**: 568.
- BOWDEN, K. F. 1983. *Physical oceanography and coastal waters*. Chichester, Reino Unido: Elis Horwood Ltd., 302 pp.
- CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H. F.; BARROS, F. C. R. 1996. Beach differentiation along the Rio Grande do Sul coastline (southern Brazil). *Revista Chilena de Historia Natural*, **69**: 485-493.
- CALLIARI, L. J.; TOZZI, H.; KLEIN, A. H. F. 1998. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil – Rio Grande to Chuí, RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **70**(1): 231-247.
- CALLIARI, L. J.; SPERANKSKI, N.; BOUKAREVA, I. 1998. Stable focus wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. *Journal of Coastal Research*, **26**(2): 19-23.
- ESTEVES, L. S.; SILVA, A. P.; AREJANO, T. B.; PIVEL, M. A. G.; VRANJAC, M. P. 2003. Coastal development and human impacts along the Rio Grande do Sul beaches, Brazil. *Journal of Coastal Research*, **Special Issue No. 35**. PROCEEDINGS OF THE BRAZILIAN SYMPOSIUM ON SANDY BEACHES: MORPHODYNAMICS, ECOLOGY,

- USES, HAZARDS AND MANAGEMENT (Spring, 2003), pp. 548-556.
- FERREIRA, O. 2006 The role of storm groups in the erosion and sand coasts. *Earth Surface PROCESS Landforms*, **31**: 1058-1060.
- FORBES, D. L.; PARKES, G. S.; MANSON, G. K.; KETCH, L. A. 2004. Storms and shoreline retreat in southern Gulf of St. Lawrence. *Marine Geology*, **210**: 169-204.
- MACHADO, A. A.; CALLIARI, L. J.; MELO, E.; KLEIN, A. H. F. 2010. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in Southern Brazil and their relation to erosion episodes. *Pan-american Journal of Aquatic Sciences*, **5**(2): 105-114.
- MUEHE, D.; KLUMB-OLIVEIRA, L. 2014. Coastline displacement versus beach mobility. *Quaternary and Environmental Geoscience*, **5**(2): 121-124.
- PARISE, C. K.; CALLIARI, L. J.; KRUSCHE, N. 2009. Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. *Brazilian Journal of Oceanographic*, **57**(3): 175-188.
- SMITH, M. J.; CROMLEY, R. G. 2012. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. *Transactions on GIS*, **16**: 3-15.
- SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. J. 2006. Padrões de refração de ondas para a costa do Rio Grande do Sul e sua relação com a erosão costeira. In: Dieter Muehe (Org.) *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), Governo Federal, pp. 446-454.
- TOZZI, H. A. M. 2000. *Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Campanha do outono e inverno de 1996*. Dissertação (Mestrado em Geociências). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 115 p.
- VON STORCH, H.; WOTH, K. 2008. Storm surges, perspectives and options. *Sustainability Science*, **3**: 33-44.
- WRIGTH, L. D.; SHORT, A. D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, **56**: 93-118.