

ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA LINHA DE COSTA DEFRONTANTE À ÁREA URBANIZADA DO BALNEÁRIO CASSINO, RIO GRANDE – RSⁱ

Karine Bastos Leal¹

Ulisses Rocha de Oliveira²

Jean Marcel de Almeida Espinoza³

RESUMO

As praias oceânicas arenosas são extremamente vulneráveis tanto aos fatores morfodinâmicos quanto às ações antrópicas. Assim, tem-se que o estudo das zonas costeiras é fundamental para o planejamento e gerenciamento costeiro. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo quantificar e caracterizar, a partir de uma série temporal de imagens orbitais entre 2006 e 2015 a variação da linha de costa na porção defrontante à área urbanizada do Balneário Cassino, costa oceânica do Rio Grande do Sul, Brasil. A metodologia foi empregada a partir de uma base cartográfica, de técnicas de geoprocessamento e de análises de dados meteorológicos para o período. A variação da linha de costa, utilizando o limite superior de praia como indicador, foi realizada a partir do modelo do polígono de mudança, implementado nos *softwares ArcGIS 10.3.1® e ERDAS Imagine 2013®*. Obteve-se como resultado os valores em taxas tanto de avanço como de recuo da linha de costa, o que foi representado em mapas. O Balneário Cassino, entre os anos de 2006 e 2015, apresentou taxas acrescidas significativas, associadas a diversos fatores, como a proximidade da praia à desembocadura da Lagoa dos Patos, a deposição de lama no período, entre outros que estão apresentados neste trabalho.

Palavras-chave: Linha de costa; Avanço; Recuo.

RÉSUMÉ

Les plages océaniques sableuses sont extrêmement vulnérables aux facteurs morphodynamiques ainsi qu'aux actions anthropiques. C'est pour cela que l'étude des zones côtières est fondamentale pour la planification et la gestion côtière. L'étude présente a donc comme objectif de quantifier et caractériser, a partir d'une série temporelle d'images orbitales entre 2006 et 2015, la variation du trait de côte dans la portion face à l'aire urbanisée de la plage Cassino, côté océanique de Rio Grande do Sul, Brésil. La méthodologie a été employée a partir d'une base cartographique, de techniques de géotraitement et d'analyses des données

¹Geógrafa. mestranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Laboratório de Oceanografia Costeira. Servidão dos Coroas, 503 - Barra da Lagoa, Florianópolis, SC. CEP: 88061-600. E-mail: karinebleal@gmail.com.

² Geógrafo, doutor em Geografia. Professor de Geografia no Instituto de Ciências Humanas e da Informação da Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

³ Físico, doutor em Sensoriamento Remoto. Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Rio Grande (IFRS).

météorologiques pour la période. La variation du trait de côte, en utilisant la limitesupérieure de plage comme indicatrice, a été réalisé a partir du modèle de Polygone de Changement, implémenté dans les logiciels *ArcGIS 10.3.1®* et *ERDAS Imagine 2013®*. Les résultats de l'avancement ainsi que du recul du trait de côte, obtenus en taux, ont été représentés sur une carte. La plage Cassino, entre les années de 2006 et 2015, a présenté des taux d'accrétion significatifs, associés à des facteurs divers, comme la proximité de la plage à l'embouchure de la Lagoa dos Patos, la déposition de boue dans la période, entre autre, sont présentés dans ce travail.

Mots clé: Trait de côte; avancement; recul.

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são áreas de reconhecida vulnerabilidade ambiental, quando se levam em consideração a alta dinâmica natural e os processos que a influenciam diretamente, como, por exemplo, a ação antrópica. Grande parte da população mundial reside em regiões costeiras, de forma que mais de 50% dessa população vive a menos de 60 km do litoral (DIAS *et al.*, 2009, p. 4). O crescimento da urbanização na zona costeira é uma forçante de efeito reconhecido sobre a dinâmica sedimentar, podendo alterar processos de erosão e acresção das praias e também interferir na fauna e flora dos ecossistemas costeiros.

Nestas zonas, as praias são os ambientes que mais sofrem mudanças nos seus aspectos morfossedimentares (KING, 1972, p.117). As ações das marés, das ondas e das correntes, além do vento local, são fatores cruciais no desenvolvimento da morfologia das mesmas. Quando o substrato é arenoso, a ação de processos costeiros se faz sentir de forma mais acentuada e potencialmente mais crítica, à medida que efeitos erosivos e/ou de posicionais alteram sensivelmente a configuração e a posição da linha de costa (MUEHE, 2004, p.13). O balanço sedimentar das praias determina suas perdas e ganhos de massa sedimentar. Quando negativo (i.e., mais perda do que ganho de sedimentos), a praia é determinada em estado de erosão, enquanto que, quando o balanço for positivo (i.e., mais ganho do que perda de sedimentos), ela está em acresção. Em praias que sofrem influência de estuários e rios, pode-se observar uma massa de água flutuante com densidade inferior à das águas costeiras, chamada de pluma de rio ou

estuarina. Essas plumas são ricas em sedimentos, com natureza granulométrica relacionada à bacia de origem e fornecem aporte sedimentar para a região costeira onde deságuam. A interação da água doce com os processos costeiros e o aporte de materiais sustentam padrões de transporte ou deposição de materiais na costa. (MARQUES *et al.*, 2006, p.1).

Devido à grande dinâmica desses ambientes, o estudo da variação de linha de costa apresenta-se de forma sistêmica e complexa. Mazzer & Dillenburg (2009, p.118) afirmam que, “o mapeamento sistemático da linha de costa e o acompanhamento de suas mudanças representam ferramentas para a geração de informações fundamentais para o planejamento e gerenciamento costeiro”, o que justifica a importância do presente estudo. Para este, tem-se como objetivo quantificar e caracterizar, a partir de séries temporais de imagens orbitais entre 2006 e 2015, a variação da linha de costa na porção defrontante à área urbanizada do Balneário Cassino, costa oceânica do Rio Grande do Sul, Brasil.

2. A ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo encontra-se ao sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS). A atual linha de costa dessa planície estende-se por uma distância de cerca de 620 km, desde Torres, ao norte, até a desembocadura do Arroio Chuí, ao sul (TOMAZELLI & VILLWOCK 2000, p.379). A PCRS se constituiu durante o Quaternário por meio de dois fatores, pelos depósitos de leques aluviais na sua parte mais interna, próximo à área fonte e pelas transgressões e regressões do mar, as quais, retrabalhando sedimentos disponíveis, formaram um complexo sistema deposicional do tipo Laguna-Barreira. Nesse sistema destacam-se a Lagoa dos Patos, Lagoa Mirim e Lagoa Mangueira (TOMAZELLI & VILLWOCK, 2000, p.379).

A PCRS é marcada por zonas de barreiras progradantes e retrogradantes, zonas de barreiras retrogradantes têm maior declividade na plataforma continental, com formação de bancos bem próximos à costa, fazendo com que as ondulações cheguem à praia com maior energia. Em contrapartida, em barreiras progradantes a declividade é menor, logo as ondulações chegam a costa com menor energia (DILLENBURG *et al.*, 2005b, p.12). Dillenburg *et al.* (2005a, p.3) afirmam que

“pequenas diferenças na declividade podem mudar o caráter progradante e retrogradante, transgressivo e regressivo, erosivo e acrescivo do local”.

O Balneário Cassino está situado no município do Rio Grande – RS, cerca de 5 km ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos (Figura 1). Está localizado sobre um trecho progradante da Barreira IV (DILLENBURG *et al.*, 2005b, p.13) na PCRS, onde a plataforma continental tem declividade em torno de 0,03°. Com isso, a interação entre as ondulações e o fundo ocorre a cerca de 50 a 60 km da costa, logo, chegam à costa com menor energia. A praia do Cassino apresenta heterogeneidade sob o ponto de vista morfodinâmico. Isso reflete a influência do molhe oeste da desembocadura nas alterações do comportamento praiar, além da influência na granulometria dos sedimentos finos provindos da Laguna dos Patos, sendo a areia dessa praia a mais fina de toda a costa (LÉLIS, 2003, p.19). Essa sedimentação fina favorece a baixa declividade e uma tendência de praia dissipativa (CALLIARI & KLEIN, 1993, p.52). As dunas frontais são bem desenvolvidas e preservadas, dado ao alto aporte sedimentar, às ações de manejo realizadas, e à urbanização, que se encontra atrás do campo de dunas.

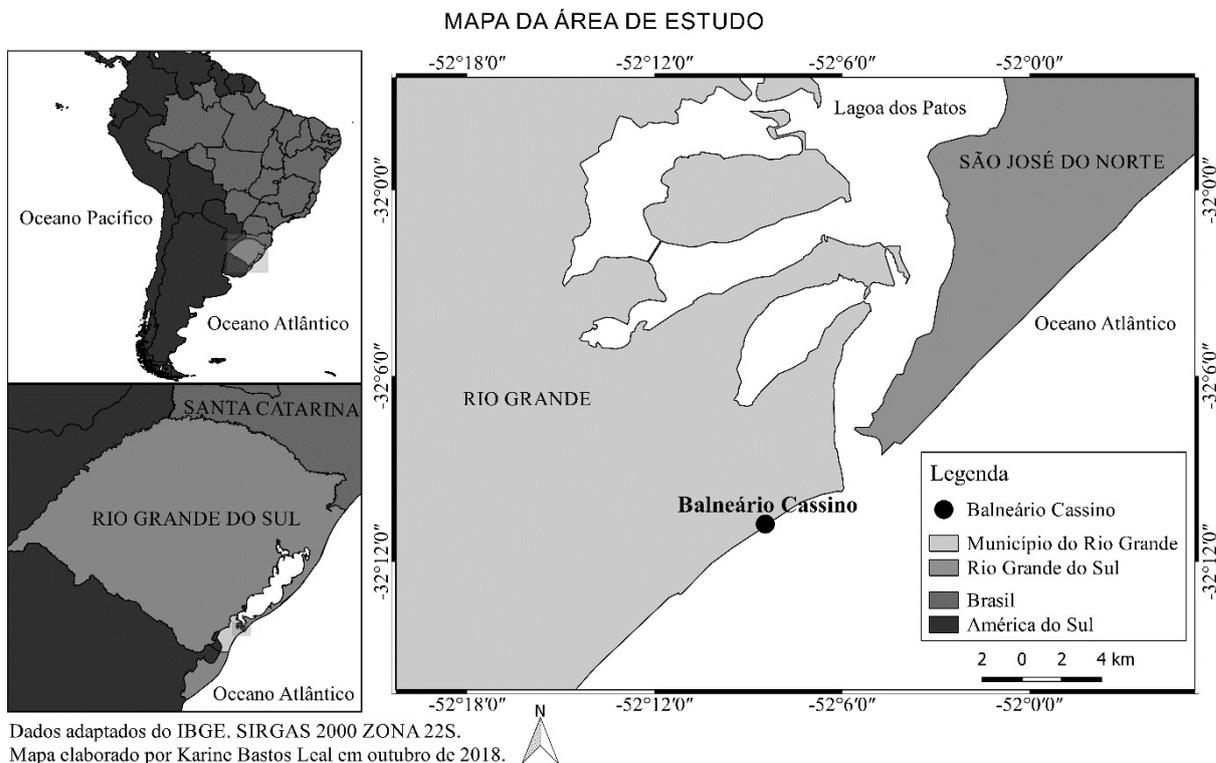


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, adquiriu-se imagens orbitais através do *software GoogleEarthPro®*, com alta resolução espacial, optando-se pela escala de 1:1000. Obtiveram-se imagens de quatro datas: 27/2/2006, 30/8/2009, 8/4/2012 e 18/6/2015, de acordo com a disponibilidade do *software*. No *software ArcGIS 10.3.1®* foram realizadas as etapas de mosaicagem, a qual consistiu na união das cenas de uma mesma data a fim de cobrir toda área de interesse, georreferenciamento, ou seja, atribuição de coordenadas aos mosaicos utilizando o sistema de coordenadas projetadas UTM – ZONA 22 Sul e *datum* de referência SIRGAS 2000 e correção, processo para manter a coincidência espacial entre os mosaicos de datas distintas.

Em seguida, criou-se um arquivo vetorial (formato *shapefile*) de linha que permitiu vetorizar a linha do limite superior de praia (LSP) ou, também chamada, base da duna. A determinação desta foi baseada nos indicadores de linha de costa propostos por Boak & Turner (2005, p.690). Para o cálculo da variação da linha de costa foi utilizado o método proposto por Smith & Cromley (2012, p.7) conhecido por Método do Polígono de Mudança (*The ChangePolygonMethod*). Para esse cálculo, transformou-se a geometria do arquivo vetorial de linha para polígono. No *software ERDAS Imagine 2013®*, criou-se um modelo a fim de realizar a subtração dos polígonos (exemplo: 2009 – 2006) para obtenção das variações ocorridas. Os valores resultantes de área indicaram avanço (acresção de praia) e/ou recuo (erosão de praia) para cada linha de costa. Dados de saída em *raster* foram capazes de demonstrar visualmente a variação ocorrida entre os anos, para isso foram sobrepostos aos mosaicos para a geração dos mapas finais.

4. RESULTADOS

Entre os anos de 2006 e 2009 (Figura 2) os resultados mostram que o limite superior de praia (LSP) obteve 36530 m² de avanço e 16438 m² de recuo, sendo o deslocamento médio positivo de 2 m. Obteve-se, nesse período, predomínio de acresção, a qual está associada à regeneração do campo de dunas. Além disso, a área de estudo apresentou em muitos pontos estabilidade sedimentar como também

algumas áreas de recuo associadas às desembocaduras dos sangradouros, bem como algumas áreas de avanço da linha. Destaca-se a acresção na parte frontal de onde está localizada a estátua de Iemanjá (área em destaque ao norte), a qual foi bastante evidente em todas as datas analisadas.

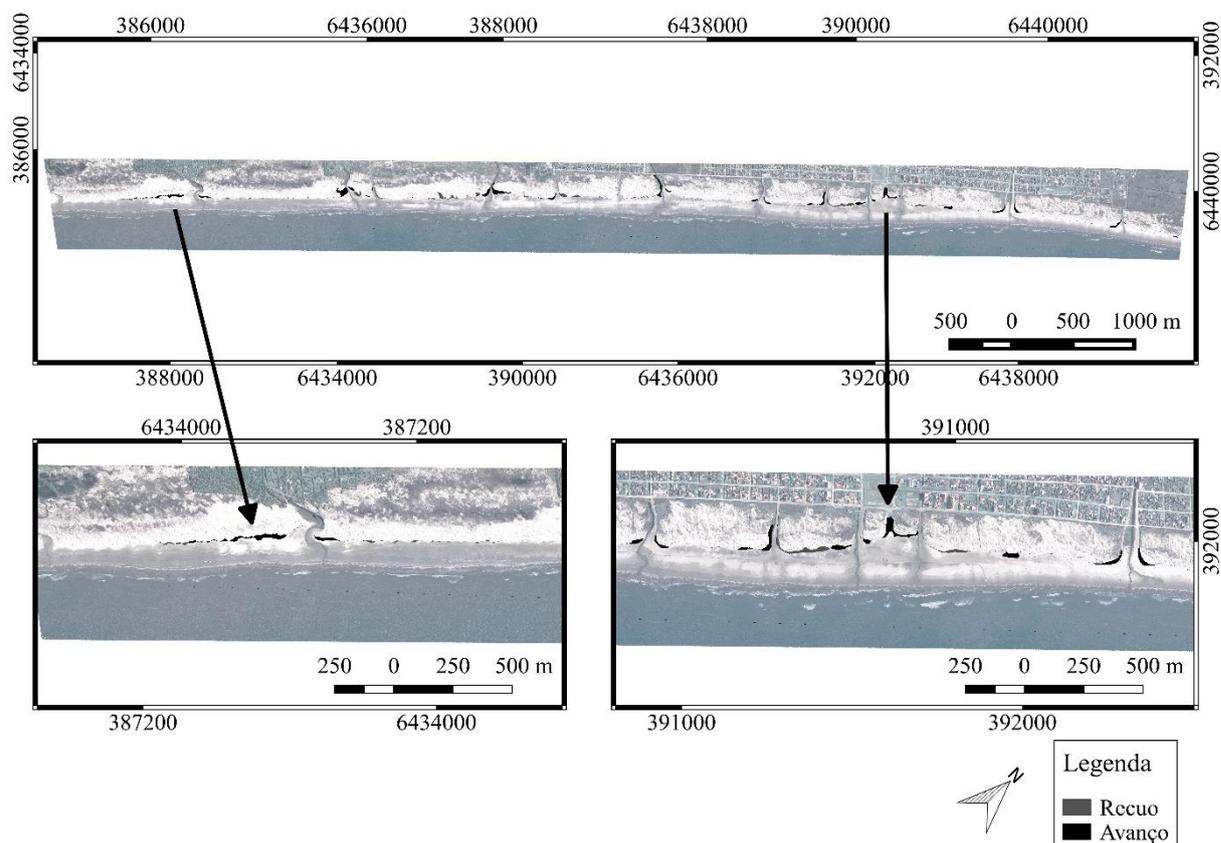


Figura 2: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2006 e 2009 sobre a imagem de 2009.

Na cena de 2006 pôde-se observar que houve significativa energia de onda dissipando na costa em todo o segmento. No período que antecede ocorreram seis dias de vento do quadrante SE e S, o que pode ter influenciado nas condições do mar. No período antecedente a cena de 2009 houve seis dias de vento E e SE. A dinâmica de ventos E favorece a baixa energia de onda e maré no local.

Entre os anos de 2009 e 2012 (Figura 3) a linha do LSP indicou recuo nas desembocaduras dos sangradouros e na parte norte da área de estudo (área em destaque), onde a incidência de onda foi maior no período dado os depósitos de sedimentos lamosos, que atenuam a energia de onda que chega na praia,

evidentes, principalmente, no setor central. No entanto, destaca-se os resultados de avanço da linha, que apareceram ao longo de praticamente toda a costa. Houve 248337 m² de avanço e 17539 m² de recuo da linha, sendo o deslocamento médio positivo de aproximadamente 27 m, valor significativo para três anos de análise. Isso retrata o desenvolvimento de um cordão de dunas frontais no período.

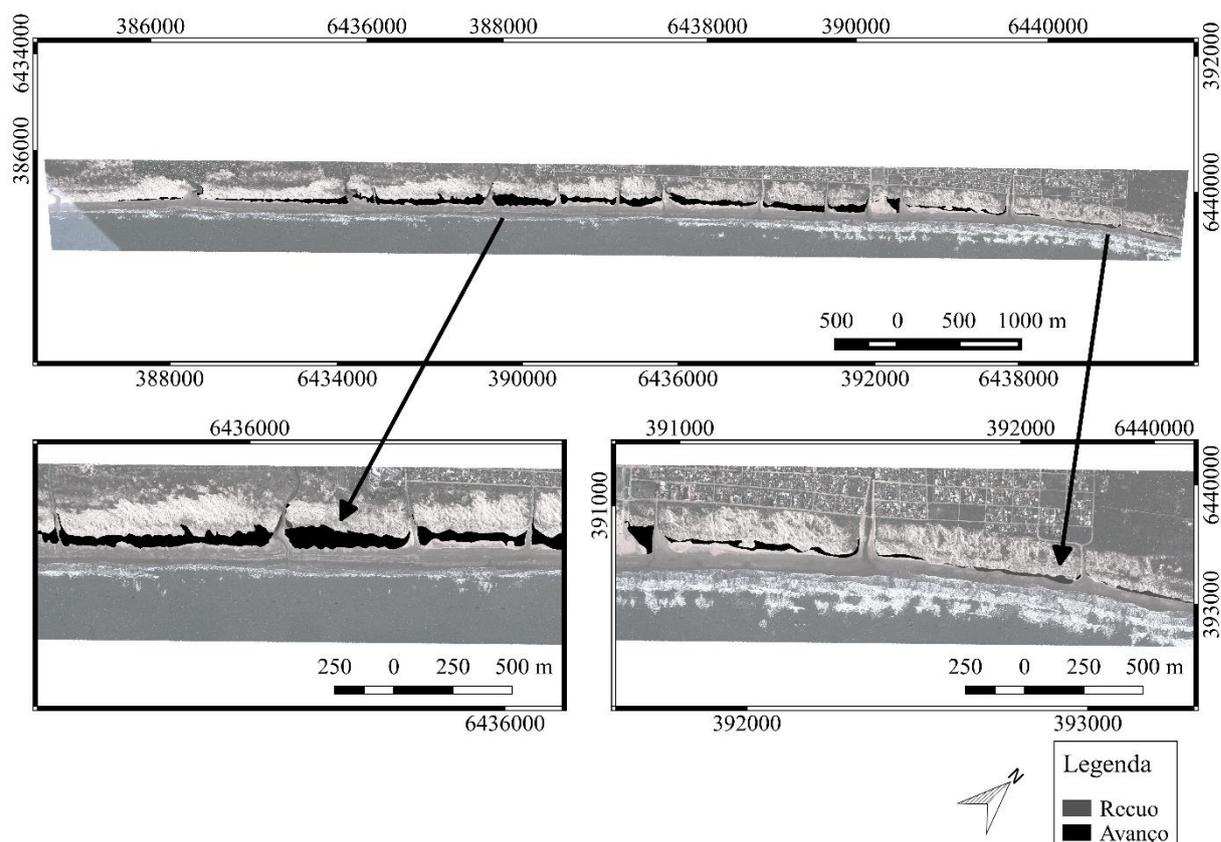


Figura 3: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2009 e 2012 sobre a imagem de 2012.

Diferente das duas primeiras imagens analisadas, a praia do Cassino em 2012 aparece com interferência do depósito de lama fluida na costa. Nota-se a diminuição da energia de onda no segmento centro e sul do recorte espacial. Tal fato tende a promover a acresção sedimentar no sistema praial e, com isso, a ação eólica sobre a zona de pós-praia, mais larga, acelera o desenvolvimento das dunas frontais.

Entre o período de 2012 e 2015 (Figura 4) a linha do LSP apresentou algumas taxas de recuo associadas às desembocaduras dos sangradouros,

principalmente ao sangradouro mais ao sul da área de estudo (em destaque), local onde avançou nas duas análises anteriores. As taxas de avanço predominam em praticamente toda a linha de costa. Houve 120057 m² de avanço e 12654 m² de recuo, com deslocamento médio positivo de 12 m. Destaca-se, como nos outros anos, o representativo acréscimo das dunas em frente à estátua de Iemanjá (destaque a norte).

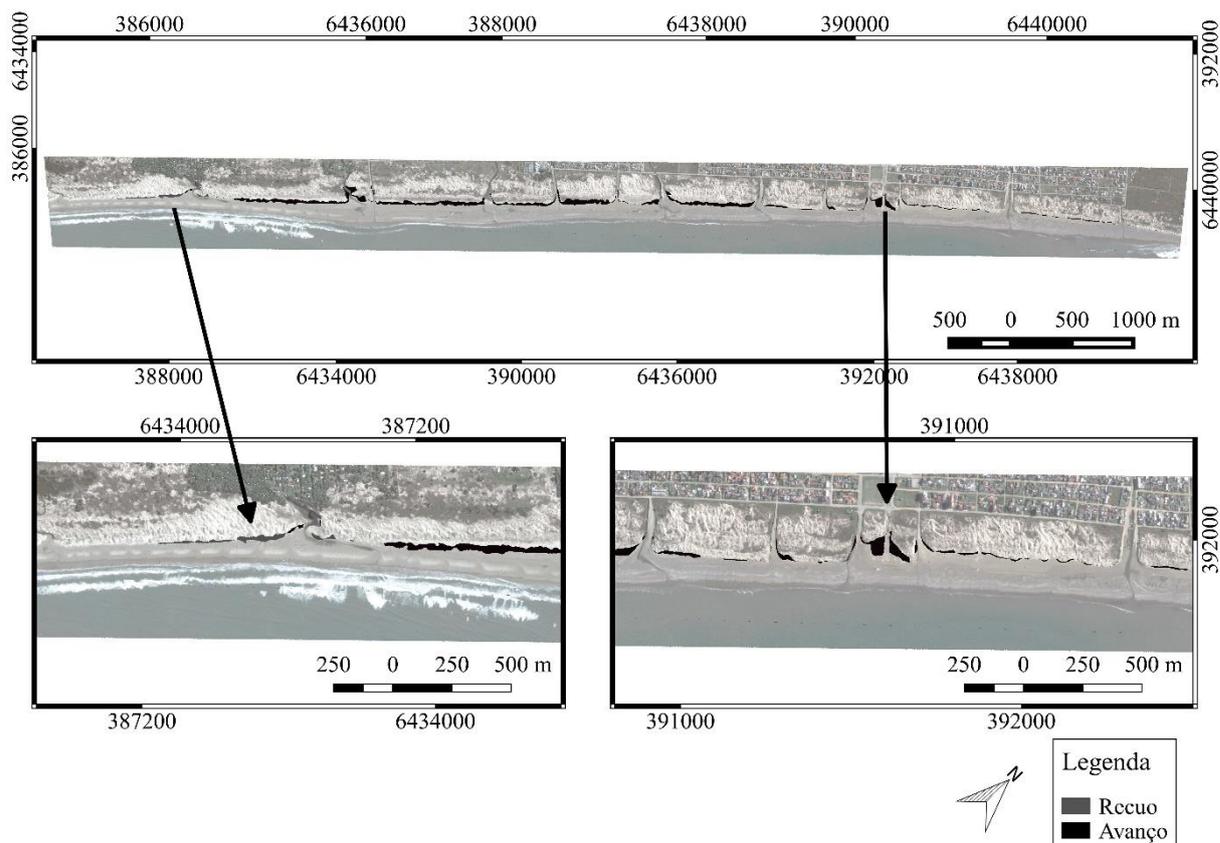


Figura 4: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2012 e 2015 sobre a imagem de 2015.

Na última cena, em junho de 2015, não havia praticamente energia de onda dissipando do centro ao norte da área de estudo. Isso está associado, também, à presença do depósito de lama fluida na ante praia, a qual gerou atenuação de energia nesse trecho da costa. Esse provavelmente foi o principal fator que contribuiu para a acresção significativa da praia nesse período, em especial o desenvolvimento dunar que gerou deslocamento positivo do segmento da linha de costa analisado. Nos dias anteriores a aquisição da cena houve dias de vento SE e

S, o que provavelmente gerou as ondas observadas no período da cena, exceto na porção recoberta pelo depósito de lama.

5. DISCUSSÕES

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) pode ser caracterizada como um ambiente homogêneo, com áreas de topografia suave e sedimentos com alta maturidade. Contudo, estudos mostram heterogeneidade tanto nas características da Barreira Holocênica (DILLENBURG *et al.*, 2005b, p.3) quanto das praias (PEREIRA, 2005, p.73). Estas diferenças são importantes para a análise da variação da linha de costa. Pode-se dizer que os movimentos de recuo e avanço dessa linha tem relação com a gênese da PCRS. Dillenburg *et al.* (2005b, p.2) classificaram a Barreira Holocênica (IV) do Rio Grande do Sul em progradante (regressão marinha e/ou tendência acresciva), retrogradante (transgressão marinha e/ou tendência erosiva) e ascendente (apresenta certa estabilidade). A praia do Cassino está situada sobre o principal trecho de barreira progradante da PCRS, o que, dado o descrito, induz o processo acrescivo da praia.

Analisando os dados coletados por Calliari & Klein (1993, p.51), para o litoral sul, juntamente com os dados de Barletta & Calliari (2000, p.169) para o litoral médio e os dados de Dillenburg *et al.* (2005a, p.4) para o litoral norte, pode-se constatar que a praia do Cassino é a que menos sofre com a ação da alta energia de onda na costa, devido à baixa declividade do prisma praiial. Dillenburg *et al.* (2005a, p.1) afirmam ainda que “a amplitude média da maré situa-se em torno de 0,5 m”, sendo assim, pode-se afirmar que a costa sofre ação de micro-maré. Isso colabora para a estabilidade ou até mesmo para avanço da linha do campo de dunas e da praia, dado que apenas em eventos extremos as ondas alcançam o LSP. Tem-se ainda que, a praia está situada em um trecho embaiado da PCRS sobre a influência da desembocadura da Lagoa dos Patos, que fornece sedimentos finos para a plataforma adjacente. O molhe oeste que acompanha a desembocadura, segundo Porto (2016, p.59) influencia na dinâmica da deriva litorânea (sul para norte), fazendo com que parte do sedimento seja depositado na praia do Cassino, sobretudo na porção defrontante ao balneário. Tem-se, ainda, os eventos de

depósitos de lama que ocorreram, principalmente, entre os anos de 2012 e 2015, os quais colaboraram para as altas taxas acrescivas da praia. Essas afirmações dão embasamento para justificar os resultados acrescivos para a praia do Cassino encontrados neste trabalho.

Em contrapartida, as taxas de recuo da linha do LSP, neste caso, menores em relação as de avanço, podem estar associadas comumente aos eventos extremos de curta duração de sobre elevação do nível do mar. De acordo com Oliveira & Calliari (2006, p.25) a praia do Cassino sofre influência de maré meteorológica positiva, principalmente nos meses de outono e inverno, que pode fazer o nível de maré ultrapassar 1 m em relação à maré astronômica prevista. A maior sobre-elevação no nível do mar, nesta área, está associada aos ventos de SW, uma vez que a ação desses ventos associados com a orientação NE/SW da linha de costa empilha maior quantidade de água na costa (CALLIARI & KLEIN, 1993, p.50). A soma das marés astronômicas e meteorológicas positivas associadas, ainda, às ondas de tempestade provenientes de intensas formações ciclônicas próximas à costa, retiram sedimentos da praia, como também do campo de dunas, causando o processo de erosão. Tem-se ainda a instabilidade das desembocaduras dos sangradouros. Essas variam naturalmente no tempo, sendo assim, podem causar processos acrescivos e erosivos intercalados, como vistos nos resultados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que a linha do limite superior de praia defrontante à área urbanizada do Balneário Cassino apresentou taxas acrescivas significativas entre os anos de 2006 e 2015. Isso ocorreu devido ao alto aporte sedimentar para o local no período analisado. O motivo do aporte é discutível, podendo ter influência da localização da praia na PCRS, em um trecho embaiado sobre uma barreira progradente, a qual tende à acreção; o aporte sedimentar proveniente da desembocadura da Lagoa dos Patos; e também a grande deposição de sedimentos lamosos que ocorreu, principalmente, entre anos de 2012 e 2015. A presença do molhe, é outro fator importante, pois pode influenciar na deriva litorânea,

favorecendo a deposição de sedimentos na praia do Cassino. A praia mais larga e com quantidade de sedimentos suficientes, por sua vez, propiciou a ação eólica e o desenvolvimento dunar no período.

7. BIBLIOGRAFIA

- BARLETTA, R.C.; CALLIARI, Lauro Júlio. **Detalhamento dos aspectos atmosféricos e ondulatórios que determinam as características morfodinâmicas das praias do Litoral Central do Rio Grande do Sul.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS, VALE DO ITAJAÍ, 2000. Anais o Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, riscos e gestão. Rio de Janeiro:Do Autor,2000. p. 168-170.
- BOAK, E.; TURNER, I. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, Florida,v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.
- CALLIARI, L. J.; KLEIN, A. H.. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesquisas**,UFRGS, v. 20, n. 1, 1993, p.48-56.
- DIAS, J. M. A.; CARMO, J.; POLETTE, M.. As Zonas Costeiras no contexto dos Recursos Marinhos. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, UNIVALI, v. 9, ,n. 1,,2009, p.3-5.
- DILLENBURG, S.; MARTINHO, C.; TOMAZELLI, L. J.; DORNELES, L.; SILVA, D.. 2005b. **Gradientes de altura de ondas ao longo da costa do Rio Grande do Sul.** In: X CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. Guarapari, 2005. Anais do Congresso da ABEQUA 2005, p.1-6.
- DILLENBURG, S.; TOMAZELLI, L. J.; MARTINS, L.; BARBOZA, E. G.. Modificações de longo período da linha de costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. **Gravel**, UFRGS, v.3, 2005b, p.9-14.
- KING, C. A.. **Beaches and coasts.** Inglaterra: Edward Arnold Publishers ltd, 1972.
- LÉLIS, R. ; CALLIARI, L. J.. Historical shoreline changes near lagoonal and river stabilized inlets inRio Grande do Sul state, southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, Santa Catarina,v.39, , 2006, p.301-305.

MARQUES, W. C.; MONTEIRO, I. O.; MÖLLER, O; FERNANDES, E. H.. **A dinâmica da pluma costeira da Lagoa dos Patos, Brasil**. In: II SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA. Rio Grande, 2006. p.1-12.

MAZZER, A.; DILLENBURG, S.. Variações Temporais da Linha de Costa em Praias Arenosas Dominadas Por ondas do Sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, UFRGS, v.36, n.1 , 2009, p. 117-135

MUEHE, D. C. Definição de Limites e Tipologias da Orla Sob os Aspectos Morfodinâmico e Evolutivo. **Projeto Orla**: subsídios de um projeto de gestão. Ministério do Meio Ambiente, v. 3, ,2004, p.11-30.

OLIVEIRA, A. O.; CALLIARI, L. J. Morfodinâmica da Praia do Mar Grosso, São José do Norte/RS. **Gravel**, v.4, n. 2, 2006, p. 23-36.

PEREIRA, P. S.. **Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência**: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos. Rio Grande: FURG, 2005 (dissertação de mestrado em Oceanografia Física, Química e Geológica).

PORTO, F. S,. **Variabilidade morfossedimentar do sistema praia duna ao largo do Balneário Cassino – RS no período de 2006 a 2016**. Rio Grande: FURG, 2016. (dissertação de mestrado em Geografia).

SMITH, M; CROMLEY, R.. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. **Transactions in GIS**, v. 16, n. 1, 2012, p. 3-15.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozoico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: HOLZ, Michael, DE ROS, Luis Fernando (Ed). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS, 2000, p. 375-406.

ⁱ Recebido em 18 de outubro de 2018. Revisão aceita em 01 de dezembro de 2018.