

Variação do limite praia duna nos Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí – RS no intervalo entre 2003-2015

Beach dune limit variation on Mostardense, Mar Grosso, Cassino and Barra do Chuí beaches, in the south of Brazil between 2003-2015

Karine Bastos Leal^{ad}, Ulisses Rocha de Oliveira^{bc}, Jean Marcel de Almeida Espinoza^{cf}

^aUniversidade Federal do Rio Grande, ^bUniversidade Federal do Rio Grande (Instituto de Ciências Humanas e da Informação),
^cInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) Campus Rio Grande

^dkarinebleal@gmail.com, ^eulisseslicke@yahoo.com.br, ^fjean.espinoza@riogrande.ifrs.edu.br

Resumo

As praias oceânicas arenosas são extremamente vulneráveis tanto aos fatores morfodinâmicos naturais quanto às ações antrópicas. O presente trabalho tem como objetivo quantificar e caracterizar, a partir de uma série temporal de imagens orbitais no intervalo de 2003 - 2015, a variação espacial do limite entre a praia e a duna frontal nos Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí – RS, a fim de estimar se estão em processo de erosão, acreção ou estabilidade. A metodologia foi empregada a partir de uma base cartográfica adquirida no *software GoogleEarthPro*[®] e técnicas realizadas nos *softwares ArcGis 10.3.1*[®] e *ERDAS Imagine 2013*[®]. A variação da linha de costa foi obtida a partir do método polígono de mudança (*Change Polygon Method*), por meio de uma linha de controle aplicada ao limite praia duna frontal. Para o Balneário Mostardense, entre os anos de 2005 e 2014, se obteve taxa erosiva ao longo da costa. O Balneário Mar Grosso, entre os anos de 2006 e 2015, apresentou variações ao longo dos anos, predominando acreção e desenvolvimento dunar. O Balneário Cassino, entre os anos de 2006 e 2015, apresentou taxas acrescivas bastante significativas, associadas ao grande aporte sedimentar para a praia no período. O Balneário da Barra do Chuí, entre os anos de 2003 e 2013, apresentou taxas erosivas e acrescivas. Porém, segundo evidências no campo, constata-se que esse local está sofrendo processo erosivo. As variações do limite superior de praia, limite praia duna, têm relação com a ação de eventos de alta energia hidrodinâmica, que por vezes erodem as dunas frontais, e processos de recomposição, promovidos pela ação marinha e eólica. Os resultados mostraram também a importância das características locais no contexto da variação da linha de costa.

Palavras-chave: Erosão; acreção; método polígono de mudança.

Abstract

Oceanic sandy beaches are extremely vulnerable both to natural morphodynamic factors and to anthropic activity. Based on a time series of orbital images collected from 2003 to 2015, this study aims at quantifying and characterizing the beach dune limit variation on Mostardense, Mar Grosso, Cassino and Barra do Chuí beaches, located in Rio Grande do Sul state, in the south of Brazil, in order to estimate if they are undergoing erosion, accretion or stability processes. The methodology is based on a cartographic base found at *GoogleEarthPro*[®] software and on techniques carried out by *ArcGis 10.3.1*[®] and *ERDAS Imagine 2013*[®]. Coastline variation was analysed by the *Change Polygon Method*, through one control line, the beach dune limit. On Mostardense beach, erosive rates were found along the coastline from 2005 to 2014. Mar Grosso beach showed variation with areas of dune development, between 2006 and 2015. Cassino beach had rather significant accretive rates, associated with high sedimentation and fluid mud deposit on the beach, from 2006 to 2015. Barra do Chuí beach showed accretive and erosive rates between 2003 and 2013; however, field evidence shows that this place has undergone an erosive process. The variation in the upper limit of the beach, beach dune limit, is more related to the action of events with high hydrodynamic energy which may erode frontal dunes, and recomposition to frontal dunes promoted by marine and eolian action. The results also showed the importance of locals characteristics in the context of the coastline variations.

Key words: Erosion; accretion; change polygon method.

1. Introdução

Na zona costeira, as praias são os ambientes que mais sofrem mudanças nos seus aspectos morfossedimentares (King 1972). As correntes, a maré, as ondas, a deriva litorânea e os ventos são fatores

cruciais no desenvolvimento da morfologia das praias. As variações do nível relativo do mar, a dispersão de sedimentos e as tempestades também estão entre os fatores que influenciam naturalmente a dinâmica costeira (Absalonsen & Toldo Jr. 2007). Ainda em

praias que sofrem influência de estuários e rios, pode-se observar uma massa de água flutuante com densidade inferior a das águas costeiras, chamada de pluma de rio ou estuarina. 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. 2005).

O balanço sedimentar das praias determina as perdas e ganhos da mesma, o que resulta na variação da linha de costa. Quando o balanço for negativo, ou seja, quando houver mais perda do que ganho de sedimentos, a praia é determinada em estado de erosão, logo, quando o balanço for positivo, está em acreção (Souza et al. 2005). A variação da linha de costa pode causar modificações nas feições geológicas e geomorfológicas do ecossistema local. Dolan et al. (1980) caracteriza a linha de costa como sendo a representação das bordas de um corpo d'água, derivada de interações morfodinâmicas. Esta é controlada basicamente pelas características das ondulações geradas pelos sistemas meteorológicos e pelo balanço hídrico e sedimentar resultante entre o aporte continental e marinho (Barboza et al. 2009).

Devido à grande dinâmica desses ambientes, o estudo da variação de linha de costa apresenta-se de forma sistêmica e complexa. Mazzer & Dillenburg (2009) afirmam que o mapeamento sistemático da linha de costa representa ferramenta para a geração de informações fundamentais para o planejamento e gerenciamento costeiro.

Estudos como de Calliari & Klein 1993, Tomazelli et al. 1998, Toldo et al. 1999, Esteves et al. 2001, Lélis 2003, Toldo Jr. & Almeida 2003, Oliveira 2005, Calliari et al. 2006, Barboza et al. 2009 e Albuquerque 2013 evidenciaram variações ao longo da linha de costa do Rio Grande do Sul.

Tendo isso, o objetivo deste trabalho é quantificar e caracterizar, a partir de séries temporais de imagens no intervalo temporal entre 2003 e 2015, a variação da linha de costa nas orlas urbanizadas dos Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí (RS), especificamente a variação do limite praia duna frontal, presente em todas as áreas analisadas. Tem como diferencial a aplicação do método do polígono de mudança para diferentes áreas da costa, no caso os balneários do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul, localizados em segmentos de sistema praia duna com distintas características geomorfológicas e urbanas na retaguarda. O método aplicado considera a variação de toda a área costeira analisada e não a média de transectos delimitados ao longo da costa.

2. Áreas de estudo

A área de estudo contempla os Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí (figura 1), localizados na 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). A PCRS cresceu 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. Destacam-se a Lagoa dos Patos, Lagoa Mirim e Lagoa Mangueira (Villwock & Tomazelli 1995, Tomazelli & Villwock 2000, Tomazelli et al. 2007).

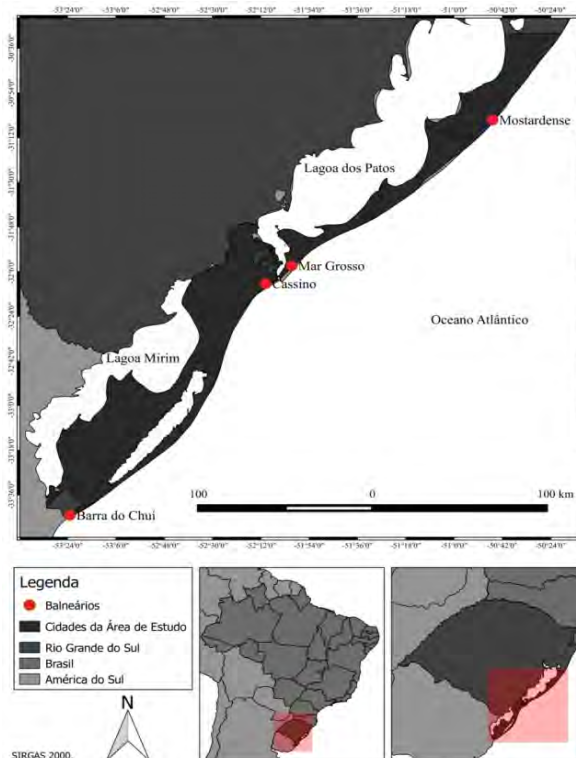


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

APCRS é marcada por zonas de barreiras progradantes e retrogradantes (Dillenburg et al. 2005a). Zonas de barreiras retrogradantes têm maior declividade na plataforma continental, com formação de bancos bem próximos à costa, fazendo com que a onda chegue à praia com maior energia. Nos Balneários Cassino e Mar Grosso a plataforma continental tem declividade com cerca de $0,03^\circ$. Com isso, a onda encontra o fundo cerca de 50 a 60 km da costa, logo chega com menor energia na praia. Pequenas diferenças na declividade podem mudar o caráter progradante e retrogradante, transgressivo e regressivo, erosivo e acrecivo do local (Dillenburg et al. 2005b).

O Balneário Mostardense, o mais ao norte da área de estudo (figura 1), encontra-se no município de Mostardas - RS, ao sul do Balneário de São Simão e ao norte do Farol de Mostardas. Dillenburg et al. (2005a) afirmam que o balneário se encontra em um trecho da Barreira IV (Holocênica) marcada pela transgressão eólica. Absalonsen & Toldo Jr. (2007) discutem que os sedimentos da praia são de granulometria fina e quartzosa de alta maturidade, o que favorece um comportamento morfodinâmico de praia intermediária a dissipativa.

O Balneário da praia do Mar Grosso está situado no município de São José do Norte – RS, cerca de 10 km ao norte da desembocadura da Lagoa dos Patos (figura 1). Esta área localiza-se em um segmento progradante da Barreira IV (Dillenburg et al. 2005a). Segundo Oliveira & Calliari (2006) a praia é constituída de areias praias e eólicas basicamente quartzosas e com alto grau de maturidade, com predomínio de areias finas. De acordo com a classificação de Wright & Short (1984), a praia apresenta estágio morfodinâmico dissipativo.

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. 2005a). A praia do Cassino é a que apresenta a maior heterogeneidade sob o ponto de vista morfodinâmico. Isso reflete a influência da desembocadura da lagoa dos Patos nas alterações do comportamento praias (Porto 2016). A desembocadura da Lagoa dos Patos favorece a granulometria fina dos sedimentos depositados sobre a praia, fazendo com que essa tenha a granulometria mais fina de toda a costa (Lélis 2003). Essa sedimentação fina favorece a baixa declividade e uma tendência de praia dissipativa (Calliari & Klein 1993).

O Balneário da Barra do Chuí, o mais ao sul da área de estudo (figura 1), está localizado no município de Santa Vitória do Palmar – RS, estando limitado a sul pela desembocadura do Arroio Chuí, ponto meridional do Brasil, fronteira com o Uruguai. Situa-se em um trecho retrogradante da Barreira IV que está acoplada a depósitos Pleitocênicos da Barreira III. Segundo Caron (2014), a praia apresenta granulometria fina de sedimentos bem a muito bem selecionados. De acordo com a classificação de Wright & Short (1984), Calliari & Klein (1993) a praia tem estágio morfodinâmico intermediário.

3. Metodologia

Antes de se analisar a variação da linha de costa (limite praia duna) entre os diferentes mosaicos, foram verificadas as condicionantes climáticas no período de aquisição das imagens. Esta etapa consistiu na aquisição dos dados meteorológicos de vento (velocidade e direção). Esses dados foram obtidos a partir do repositório *online* de dados do NCEP-NCAR/NOAA (Agência Americana para o Estudo dos Oceanos e Atmosfera), incorporando dados de observações locais (i.e., INMET – Instituto Nacional de Meteorologia para o Brasil) e dados de previsão numérica de tempo. Os dados meteorológicos foram obtidos com o intuito de caracterizar o período anterior das cenas orbitais analisadas, visando identificar possíveis condições meteorológicas e oceanográficas que possam ter influência nos resultados.

4. Aquisição e pré-processamento dos dados

A determinação do posicionamento da linha de costa e sua variabilidade podem ser feitas por diversas técnicas, sendo que a escolha do método depende da

disponibilidade de dados, da logística e das escalas espacial e temporal que se pretende analisar (Lélis 2003). Para as quantificações das variações históricas da linha de costa, são mais comumente utilizadas as fotografias aéreas e as imagens de satélites (Albuquerque 2013).

Como etapa inicial foi realizada a aquisição das imagens orbitais através do *software GoogleEarthPro®*. Quanto à resolução espacial, utilizou-se uma escala de 1:5000. Para cada balneário foram coletadas cenas de uma série temporal, de acordo com a disponibilidade do banco de dados *online* do *software* listadas na tabela 1.

Tabela 1: Datas das cenas adquiridas através do *software GoogleEarthPro®*.

Balneário/Disponibilidade	Data das cenas
Mostardense	13/08/2005
	07/12/2014
Mar Grosso	16/08/2006
	30/08/2009
	08/04/2012
	07/02/2014
	18/06/2015
Cassino	27/02/2006
	30/08/2009
	08/04/2012
	18/06/2015
Barra do Chuí	09/04/2003
	18/07/2005
	07/10/2009
	14/10/2013

Através do *software ArcGis 10.3.1®* foi realizada a etapa de mosaicagem, a fim de se obter a cobertura total da área de estudo. Os recortes espaciais de cada um dos balneários apresentam dimensões distintas, dado o tamanho da orla urbanizada. No Balneário Mostardense a área delimitada (trecho de linha de costa) foi de 2,7 km de extensão, no Balneário Mar Grosso de 2,9 km de extensão, no Balneário Cassino de 9,3 km e no Balneário da Barra do Chuí o trecho analisado foi de 2,7 km de extensão.

O próximo passo foi o georreferenciamento dos mosaicos mais antigos de cada balneário. O erro para cada mosaico ficou entre 0,3 e 0,5 metros, já que os pixels das imagens disponíveis obedecem 1 metro. Nesse processo, como forma de referenciamento espacial, foi empregado o sistema de coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e o datum de referência *SIRGAS 2000*, Zona 22S. Como seqüência, foi realizado o co-registro dos outros mosaicos, a fim de garantir a coincidência espacial entre todos os dados utilizados.

5. Aplicação do método do polígono de mudança

Dentre as inúmeras técnicas de geoprocessamento voltadas à análise das taxas de variação da linha de costa se destaca o método do Polígono de Mudança (*The Change Polygon Method*) proposto por [Smith & Cromley \(2012\)](#) e utilizado por [Albuquerque et al. \(2013\)](#), [Anfuso et al. \(2016\)](#) entre outros. Este tem melhor resposta em áreas não homogêneas, por considerar as áreas ao invés de valores pontuais para determinar as taxas de variação da linha de costa.

Devido à grande dinâmica da linha de costa e da presença de morfologia complexa, torna-se necessário classificar indicadores que determinam as linhas perceptíveis na costa, ou seja, as que podem ser vistas fisicamente ([Boak & Turner 2005](#)). Neste estudo foi considerada e vetorizada a linha do limite praia duna frontal (LPD), que representa o contato entre o limite superior de praia (LSP) e a base das dunas frontais (BDF). Logo após as duas linhas (limites) foram transformadas em polígonos para que fosse possível a sequência da aplicação do método (cálculo de área de mudança entre praia e duna frontal).

Após, no *software ERDAS Imagine 2013®*, foi criado um modelo a fim de realizar a subtração dos polígonos para obtenção das variações ocorridas. Os valores resultantes dessas subtrações são apresentados em formato *raster*, os quais indicam acreção (i.e., representados com contador digital igual a 255, ou seja, branco na representação de 8 bits, posteriormente transformado em polígono amarelo) e erosão (i.e.,

representados com contador digital 0, ou seja, preto na representação de 8 bits, posteriormente transformado em polígono vermelho). Com esses dados de variação, foi gerada uma planilha a fim de representar os resultados e permitir a determinação do valor de variação linear médio para cada linha de costa (i.e., variação média do ponto médio da linha de costa ao longo de certo período). Para tanto, dividiu-se o valor do saldo entre a área de acreção/erosão pelo módulo da linha-base, determinando o valor final da variação linear média do limite praia duna frontal ao longo dos anos analisados.

6. Resultados

Variação da linha de costa no Balneário Mostardense

De acordo com os resultados obtidos, pode-se dizer que a linha do limite praia duna frontal sofreu erosão entre agosto/2005 e dezembro/2014, isto é, a praia erodiu as dunas, deslocando o limite. A figura 2 mostra que houve erosão em praticamente toda a extensão da área estudada. Uma pequena área de acreção apareceu próxima ao primeiro sangradouro, ao sul, e outra pequena área na parte central do balneário. Os resultados indicam o predomínio da erosão de 53175 m² em relação a acreção, que foi de apenas 823 m². Analisando o deslocamento médio desta, constata-se que houve mais perda de duna do que ganho, com aproximadamente -19 m de retração da linha de costa no período.

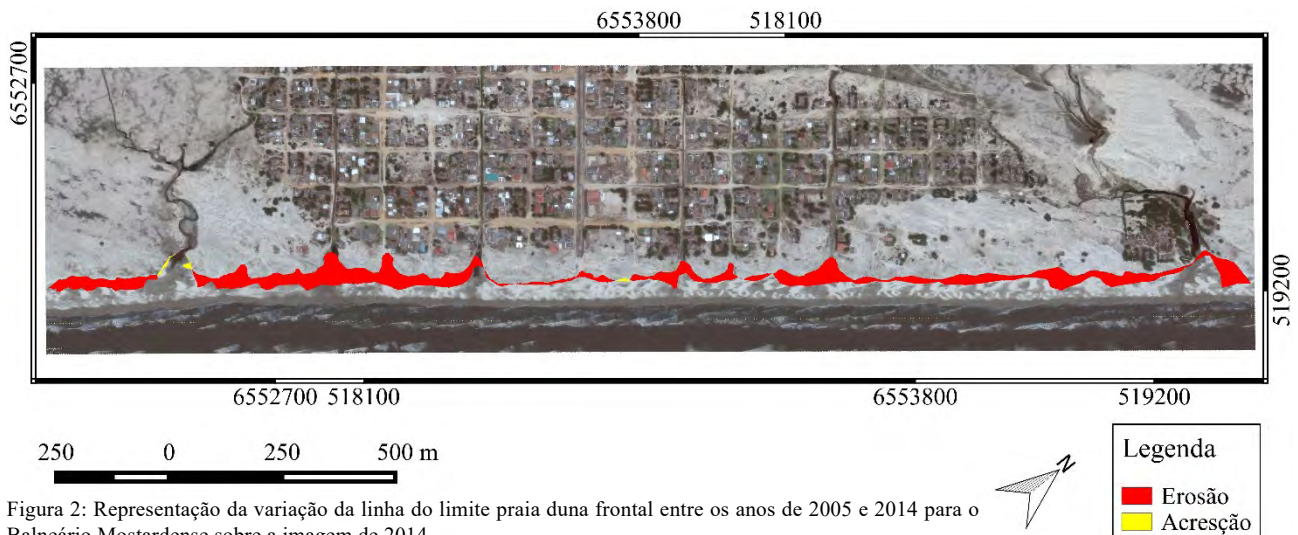


Figura 2: Representação da variação da linha do limite praia duna frontal entre os anos de 2005 e 2014 para o Balneário Mostardense sobre a imagem de 2014.

O período de agosto de 2005 representa um momento de final de inverno. Na cena obtida há certa energia de onda e demonstração de alto nível de maré, provavelmente tendo relação com os ventos relativamente fortes de sudeste ocorridos dias antes. Já em dezembro de 2014, final da primavera e início de verão, observa-se a ação eólica sobre a praia, típico da estação. Observa-se na imagem depósitos eólicos sobre a faixa de praia. Dias antes da captação da cena houve vento de leste, implicando em uma menor energia de onda em relação a 2005. Mesmo

assim, analisando as respostas das diferenças entre os polígonos gerados a partir do modelo, notou-se que o processo erosivo foi maior que o processo acrescivo, sobretudo no segmento mais ao sul da área. A acreção no sangradouro mais a sul da área provavelmente decorreu da dinâmica própria da desembocadura.

Variação da linha de costa no Balneário Mar Grosso

Os resultados indicam que a linha do limite praia duna frontal teve maior acréscimo em área entre

agosto/2006 e agosto/2009 em relação às outras comparações. A figura 3 apresenta o resultado para o LSP, o qual indica que houve maior acresção na parte do campo de dunas onde se realizou o plano de manejo de dunas, que possibilitou uma regeneração de duna em um segmento antes composto pelo limite superior da praia, situado a nordeste da principal aglomeração urbana. Valore acrescivos ocorreram nas áreas próximas as desembocaduras dos sete sangradouros que contemplam a área de estudo. Já as taxas de erosão estão principalmente, associadas às desembocaduras dos sangradouros e a algumas dunas frontais. De

acordo com os resultados quantitativos, a linha do LSP apresentou mais acresção (22350 m²) que erosão (8590 m²). Sendo assim, o deslocamento médio foi positivo de 5 m. Tendo esse valor médio acrescivo influenciado pela restauração de um segmento dunar. No período da imagem de 2006 houve dias consecutivos de vento nordeste e sudeste antes da captação da cena. Em 2009 houve dias de vento leste e sudeste antes da captação da cena. Entende-se que em 2006 os ventos de sudeste provavelmente influenciaram a maior energia de onda e maior nível de maré em relação a 2009, o que não influenciou os resultados.

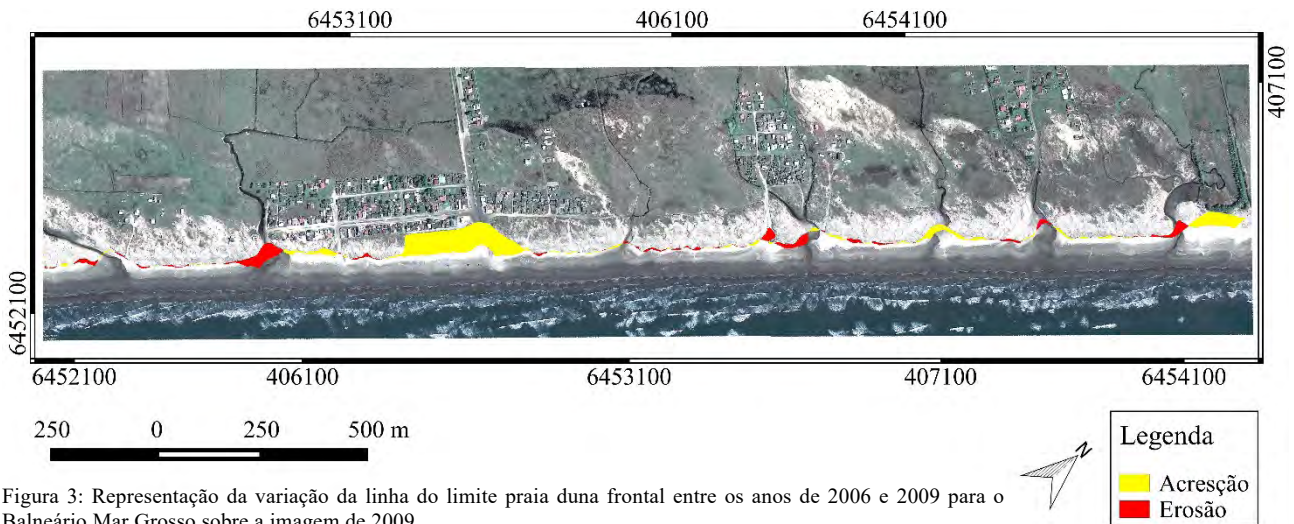


Figura 3: Representação da variação da linha do limite praia duna frontal entre os anos de 2006 e 2009 para o Balneário Mar Grosso sobre a imagem de 2009.

Entre o período de agosto/2009 e abril/2012 notou-se maior acresção do que erosão na linha de costa. Analisando a figura 4, referente à linha do LSP, percebe-se que a acresção (desenvolvimento dunar) se estende por praticamente toda a costa, com exceção das saídas dos sangradouros, onde se encontram áreas de erosão. A área acrescida foi de 12790 m² e a área erodida de 2660 m². O deslocamento médio foi positivo de 4 m. Mesmo tendo menor valor positivo de variação da linha de costa em relação ao anterior, considera-se que neste

período houve o desenvolvimento das dunas na porção defrontante ao balneário como um todo, enquanto que no período anterior esta variação foi concentrada no local de manejo dunar. No período analisado de 2012 houve dias de vento nordeste e dias de vento sudeste antes da captação da cena. Esses ventos de sudeste podem ter influenciado a alta energia de onda captada na cena. De qualquer forma, esta situação não foi capaz de gerar erosão no limite superior da praia ou limite praia duna frontal.

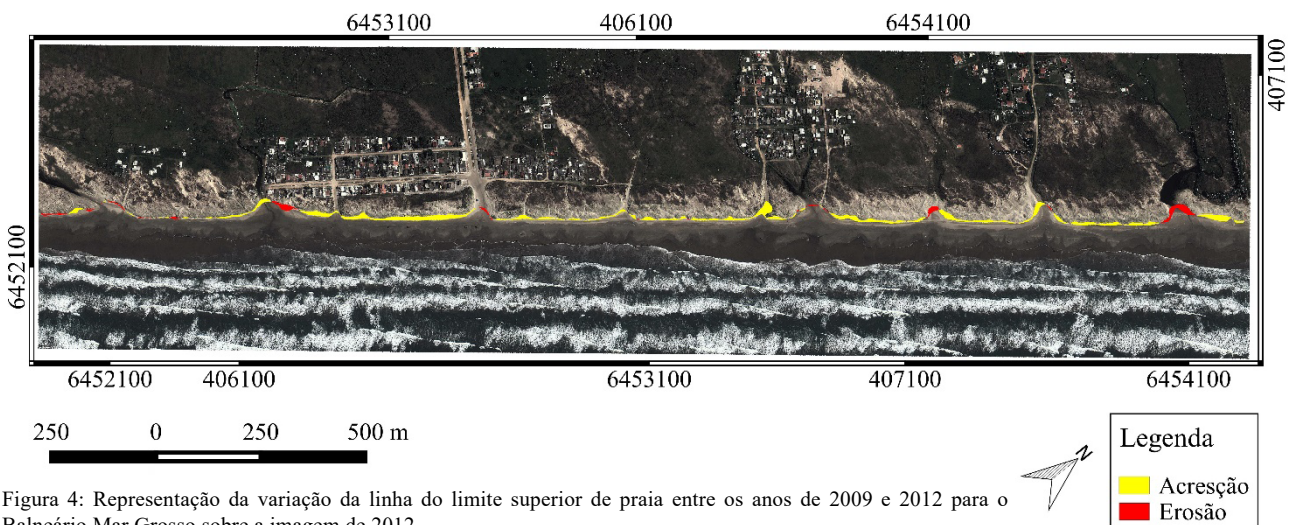


Figura 4: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2009 e 2012 para o Balneário Mar Grosso sobre a imagem de 2012.

Entre abril/2012 e maio/2014 também se constatou a maior área em acreção. No entanto, na figura 5 é possível perceber que a linha do LSP sofreu erosão ao longo da costa, porém as partes acrescidas tiveram maior área em m². Nas desembocaduras dos sangradouros e uma parte bem ao norte e outra no extremo sul da área de estudo encontrou-se acreção. Houve 7500 m² de acreção e 4550 m² de erosão. Sendo assim, o deslocamento médio foi positivo, de 1 m, valor próximo a margem de erro. Cabe salientar que esse foi a menor área constada de deslocamento positivo para o balneário. No período da imagem de 2014 houve dias de vento nordeste e dias de vento sudeste. Por não haver entrada de frente fria próxima a captação da cena, pode ter contribuído para a baixa energia de onda na costa.

Entre maio/2014 e junho/2015 constatou-se acreção para a linha do LSP. Na figura 6 pode-se perceber que a linha do LSP acreceu ao longo da costa, fato semelhante ao ocorrido entre 2009 e 2012, com exceção das desembocaduras dos sangradouros, onde houve algumas áreas em erosão. A linha acreceu 12680 m² e erodiu 1250 m². Com isso, o deslocamento médio foi positivo de 4 m.

No período de 2014, de acordo com os dados meteorológicos, houve dias de ventos sul, que pode estar associado à entrada de frente fria. No último período (2015) houve dias de vento leste e dias de vento sul antes da captação da imagem, provavelmente também retratando a passagem de uma frente fria alguns dias antes. Constata-se que anteriormente a cena de 2015 não houve agitação marítima suficiente para erodir as dunas frontais.

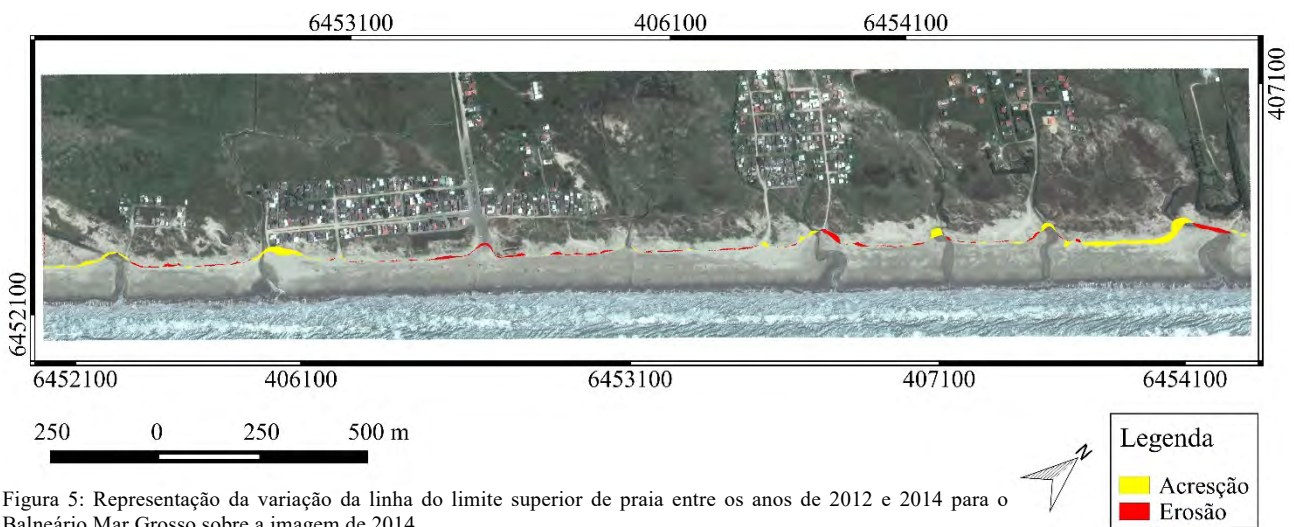


Figura 5: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2012 e 2014 para o Balneário Mar Grosso sobre a imagem de 2014.

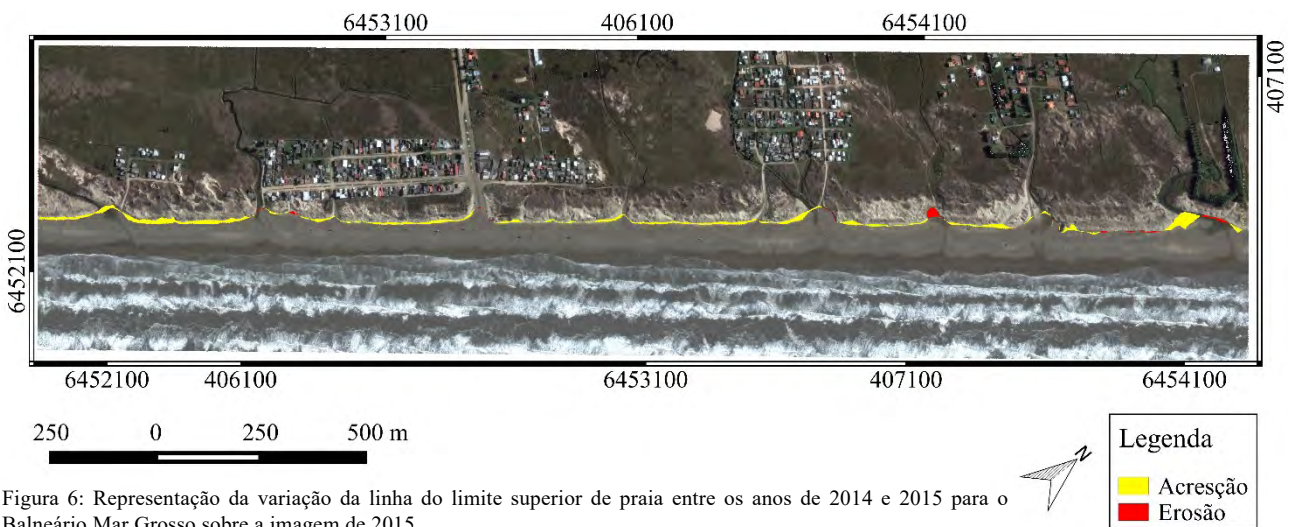


Figura 6: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2014 e 2015 para o Balneário Mar Grosso sobre a imagem de 2015.

Variação da linha de costa no Balneário Cassino

Entre fevereiro/2006 e agosto/2009, como se pode observar na figura 7, a linha do LSP apresentou em muitos pontos estabilidade. Algumas áreas de erosão estão associadas às desembocaduras dos sangradouros, bem como algumas áreas de acreção. Nota-se acreção também na parte frontal de onde fica localizada a

estátua de Iemanjá (área em destaque). O LSP obteve 36530 m² de acreção e 16438 m² de erosão, sendo o deslocamento médio positivo de 2 m.

Na cena de 2006 pôde-se observar que houve significativa energia de onda dissipando na costa em todo o segmento. No período ocorreram dias de vento sudeste e sul, o que pode ter influenciado nas condições

do mar. No período de 2009 houve dias de vento leste e sudeste. A dinâmica de ventos leste favorece a baixa energia de onda e maré no local.

Entre os anos de agosto/2009 e abril/2012 a linha do LSP (figura 8) indicou erosão nas desembocaduras dos sangradouros e na parte norte da área de estudo, onde a incidência de onda foi maior no período. No entanto, destaca-se os resultados de acreção, que apareceram ao longo de praticamente toda a costa. Houve 248337 m² de acreção e 17539 m² de erosão, sendo o deslocamento médio de aproximadamente 27 m, valor significativo para três anos de análise.

Isso retrata o desenvolvimento de um cordão de duna frontal no período. Diferente das duas primeiras imagens analisadas, a praia do Cassino em 2012 aparece com interferência do depósito de lama fluida na costa, a qual atenua a energia de onda. Nota-se a diminuição da energia de onda no segmento centro sul do recorte espacial. Tal fato tende a promover a acreção sedimentar no sistema praial e com ação eólica sobre o mesmo ocorre o posterior desenvolvimento das dunas frontais.

Entre o período de abril/2012 e junho/2015 a linha do LSP (figura 9) apresentou algumas taxas de erosão associadas às desembocaduras dos sangradouros, principalmente ao sangradouro mais ao sul da área de estudo. As taxas de acreção predominam em praticamente toda a linha de costa. Houve 120057 m² de acreção e 12654 m² de erosão, com deslocamento médio de 12 m.

Na última cena, em junho de 2015, não havia praticamente energia de onda dissipando do centro ao norte da área de estudo, com exceção do extremo sul e do extremo norte onde se encontram ondas dissipando na costa. Esta variação está associada à presença do depósito de lama fluida na antepraia, a qual gera atenuação de energia nesse trecho da costa. Esse provavelmente foi o principal fator que contribuiu para a acreção significativa da costa, em especial o desenvolvimento dunar que gerou deslocamento positivo do segmento da linha de costa analisado. Nos dias anteriores houve dia de vento sudeste e sul, o que provavelmente gerou as ondas observadas no período da cena, exceto na porção recoberta pelo depósito de lama que coincide a boa parte da orla urbanizada no momento.

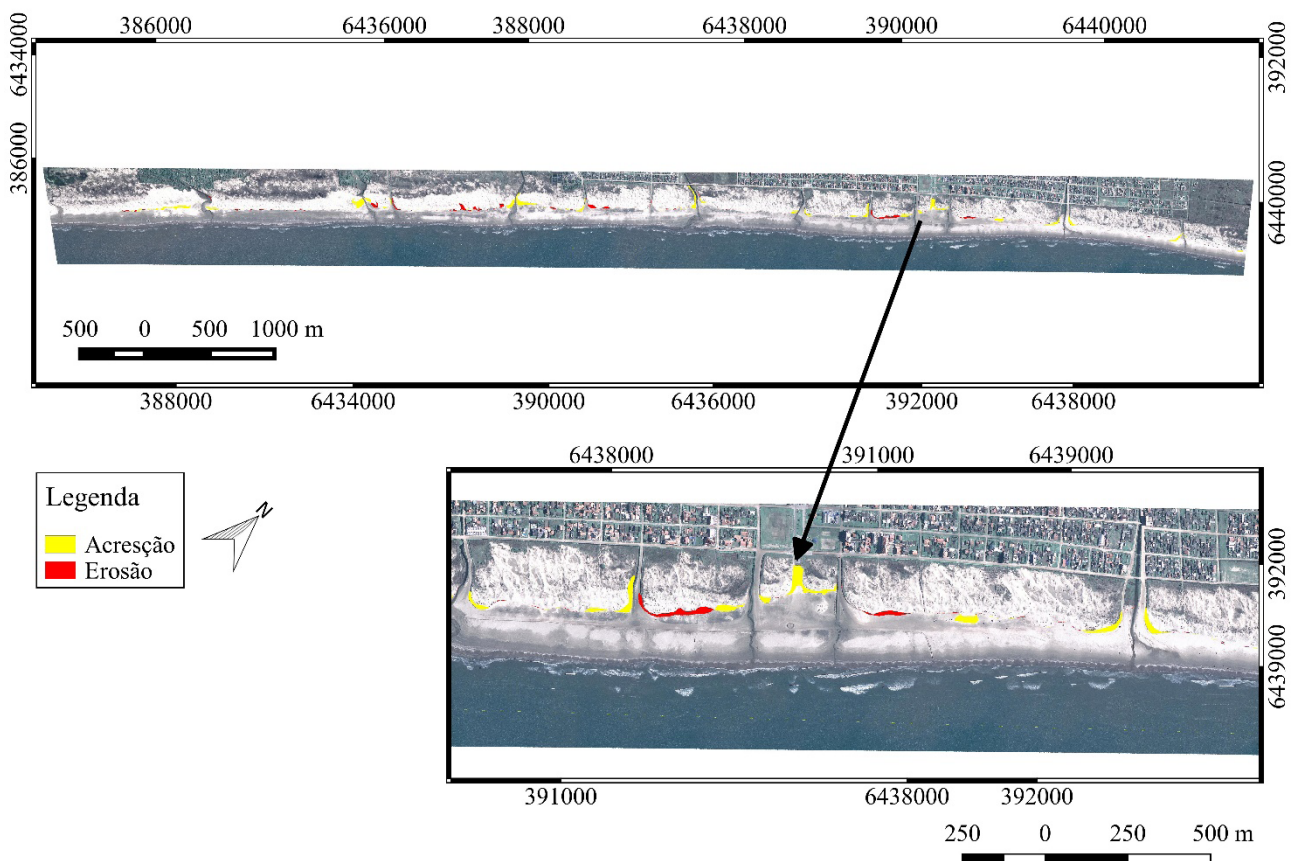


Figura 7: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2006 e 2009 para o Balneário Cassino sobre a imagem de 2009, destacando-se um segmento na área central do balneário.

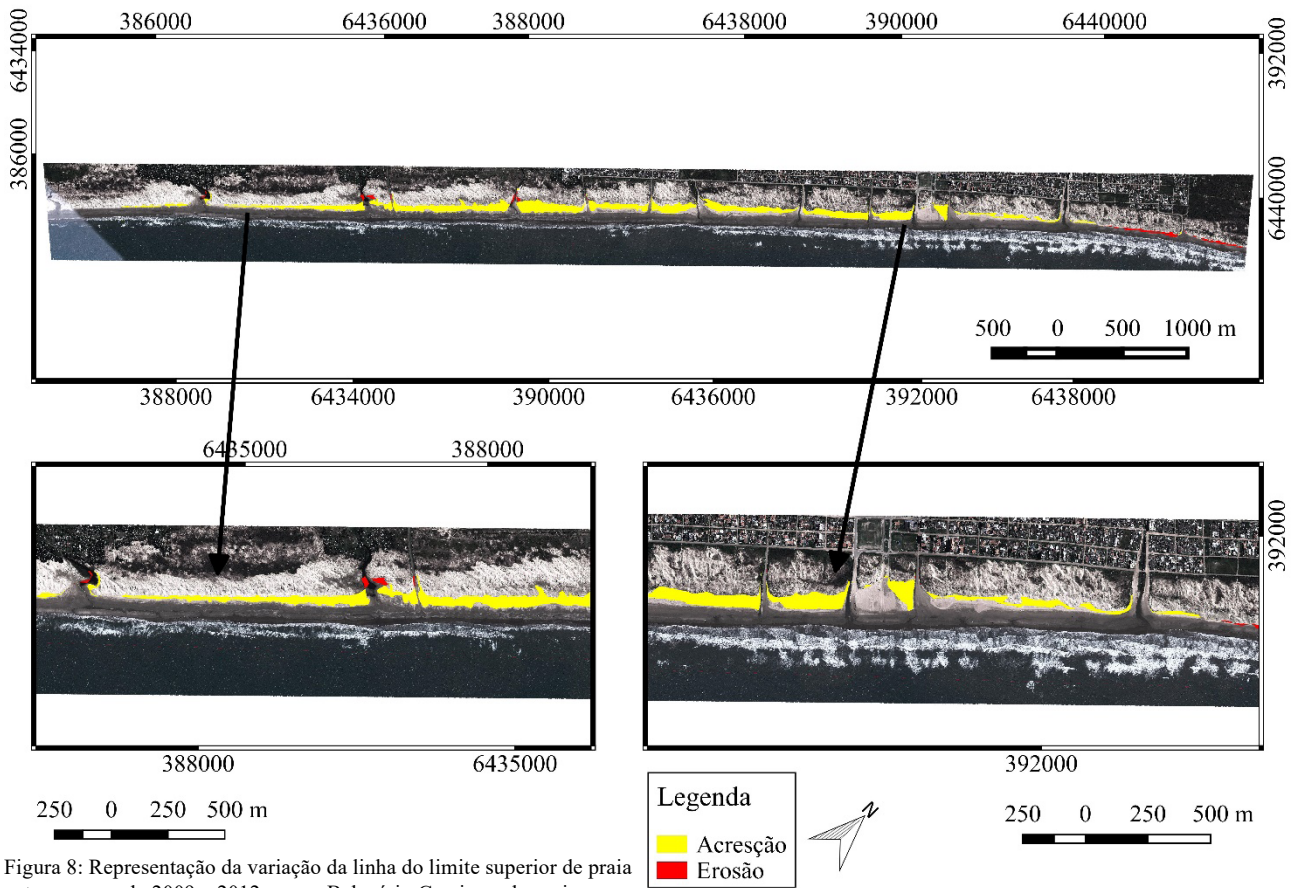


Figura 8: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2009 e 2012 para o Balneário Cassino sobre a imagem de 2012, destacando-se dois segmentos.

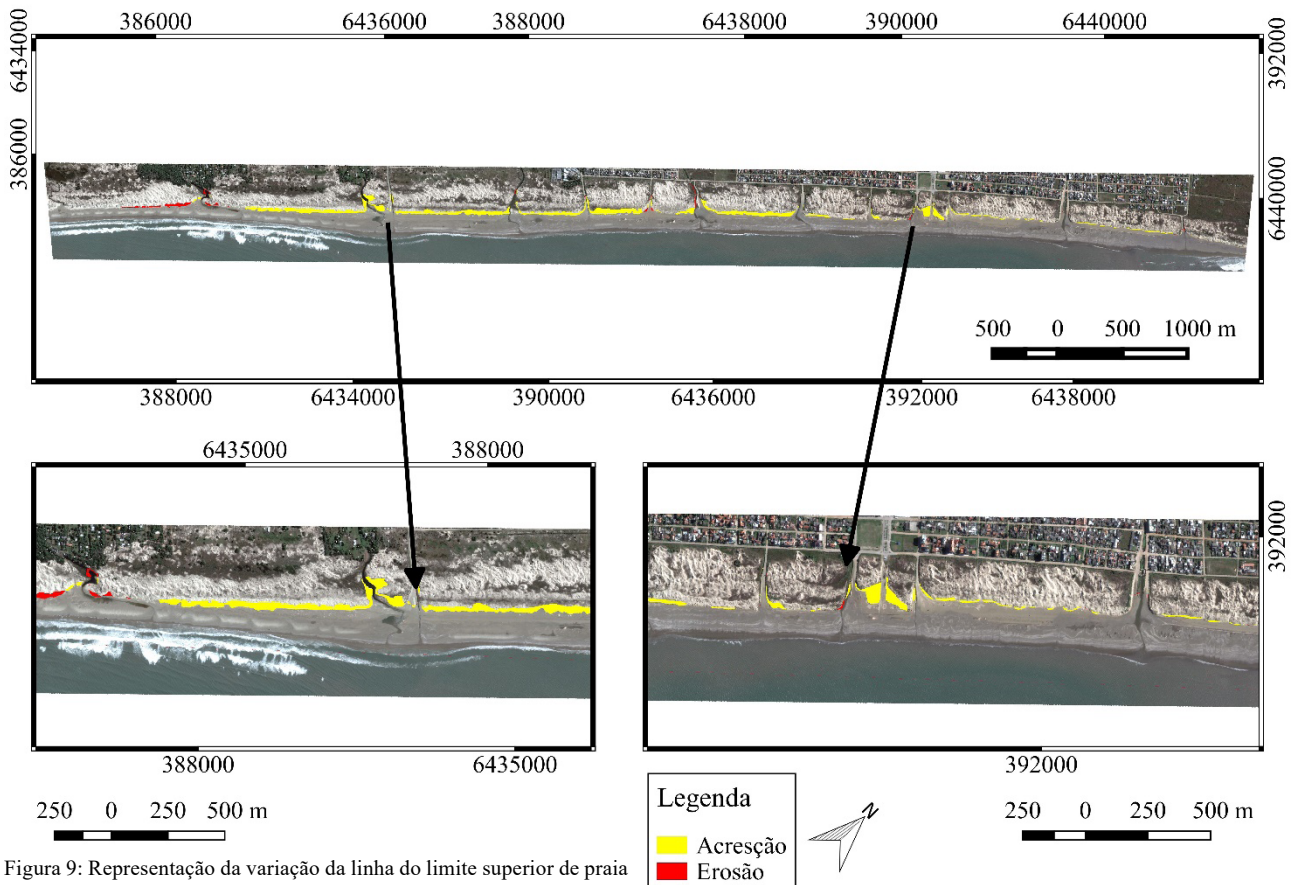


Figura 9: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2012 e 2015 para o Balneário Cassino sobre a imagem de 2015, destacando-se dois segmentos, um ao sul da área com presença de ondas e outro na porção mais central com atenuação de energia de onda.

Variação da linha de costa no Balneário da Barra do Chuí

Entre os anos de abril/2003 e julho/2005 a linha do LSP, de acordo com a figura 10, apresentou variação ao longo da orla, com áreas de erosão intercaladas com áreas de acreção. Houve 4414 m² de acreção e 5330 m² de erosão, sendo o deslocamento médio de -0,49 m. No entanto, mesmo com este baixo valor destaca-se a erosão de um significativo trecho de dunas frontais enquanto que a acreção predominou nas reentrâncias.

Em 2003, a imagem do outono foi capturada em dias de instabilidade de vento. Houve dias de vento sudeste e sul. Esses ventos provavelmente geraram uma pequena ondulação do quadrante sul. Em relação à imagem de 2005, obtida no inverno, notou-se que houve maior energia de ondas se dissipando ao longo da costa, em comparação ao ano de 2003. Na data da imagem bem como nos dias anteriores houve vento nordeste. No entanto, houve ondas de alta energia do quadrante sul. Isso retrata que nem sempre as condições do tempo local se associam a agitação marítima (ondulação).

Tais fatos, no entanto, não parecem ter influência nos resultados obtidos no limite superior da praia, sendo estes associados a períodos anteriores.

Entre o período de julho/2005 e outubro/2009, a LSP (figura 11) apresentou variações ao longo da orla com maior taxa de erosão próxima ao molhe (sul) e acreção ao norte da área de estudo. Houve maior acreção do que erosão, sendo o ganho de 19289 m² e a perda de 7276 m², com deslocamento médio positivo de aproximadamente 6 m. Os valores acrescivos ocorreram principalmente no segmento mais a norte da área de estudo, enquanto que no sul, próximo aos molhes, predominou a erosão, demonstrando alguma influência dos molhes da barra do Arroio Chuí na dinâmica do local.

Dados de vento do período anterior à aquisição da imagem de 2009 mostram o predomínio de vento nordeste e leste no período de captação da cena, que podem ter aportado sedimentos eólicos na faixa de praia subaérea. Mesmo com ventos de nordeste, as ondas parecem ter chegado do quadrante sul, logo parece ter havido sobrelevação da maré na praia.

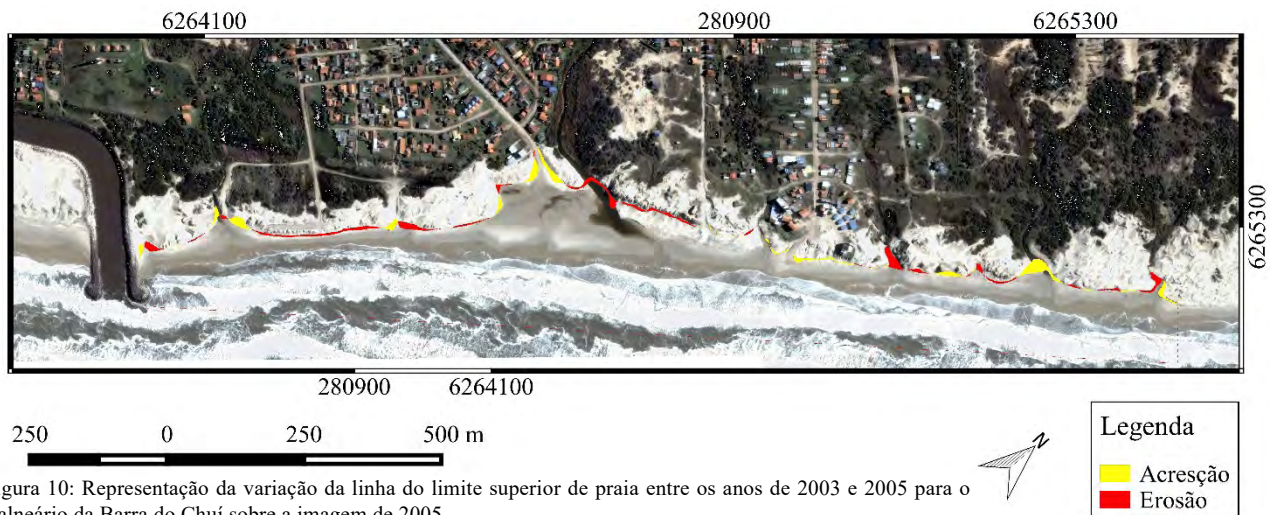


Figura 10: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2003 e 2005 para o Balneário da Barra do Chuí sobre a imagem de 2005.

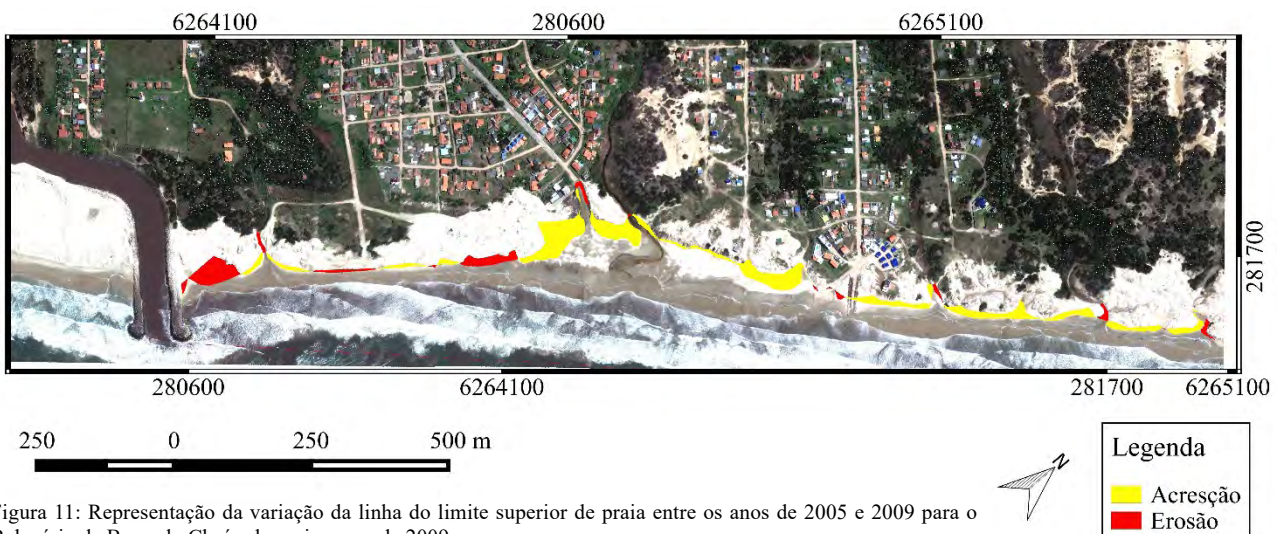


Figura 11: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2005 e 2009 para o Balneário da Barra do Chuí sobre a imagem de 2009.

Tais valores podem ter tido alguma influência nos resultados visto que a linha da praia molhada em alguns pontos converge com o limite digitalizado.

Entre os anos de outubro/2009 e outubro/2013 a linha do LSP (figura 12) apresentou algumas áreas estáveis intercaladas com áreas de erosão e acreção. As maiores taxas de erosão estão associadas ao sangradouro mais a norte da área de estudo. Houve acreção de 3380 m² e erosão de 4835 m². Sendo assim, o deslocamento médio foi de aproximadamente -0,77 m, valor dentro

das margens de erro. Neste período ocorreram as menores variação da linha de costa no local dentro os analisados.

Por fim, a imagem de 2013, também obtida na primavera, representa a menor energia de ondas se dissipando ao longo da costa, em comparação as demais analisadas para este local. No entanto, no período anterior a captação ocorreu ventos de sudeste e sul. Tais valores não influenciam nos resultados obtidos no período.

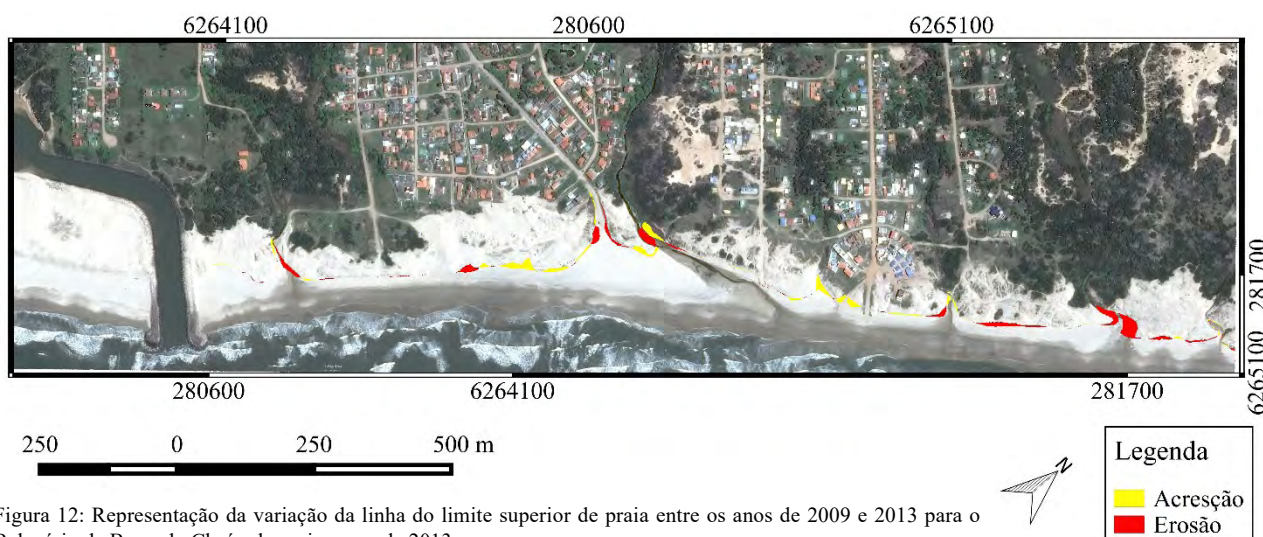


Figura 12: Representação da variação da linha do limite superior de praia entre os anos de 2009 e 2013 para o Balneário da Barra do Chuí sobre a imagem de 2013.

7. Discussões

Entende-se que a linha de costa é um ambiente de alta instabilidade no espaço e no tempo. A linha d'água varia a cada instante enquanto que o limite superior de praia é apenas afetado por eventos de alta energia de onda, em praias dominadas por onda, que geram erosão, e processos eólicos, que possibilitam em geral a recomposição dunar. A dinâmica marinha e eólica forma e altera as praias e a base das dunas frontais, que compõem, neste caso, barreiras costeiras.

A figura 13 apresenta uma síntese dos dados de variação da linha de costa, em escala interanual, para os quatro balneários estudados, identificando comportamento distinto de variação da linha de costa nos locais.

De acordo com a figura 13 constata-se que o Balneário Mostardense apresentou erosão da linha do limite praia duna, tendo avanço da praia e erosão da duna frontal de quase 20 metros, o que em valores anuais representaria cerca de 2 m/ano. No entanto, só há duas cenas disponíveis no banco de dados do *software* para a área, o que não permite inferir mais sobre este processo erosivo, me quando ocorreu efetivamente.

O Balneário Mar Grosso, com mais cenas disponíveis, o que possibilitou uma fragmentação da reta de tendência, apresentou acreção com algumas diferenças entre as datas estudadas. Entre os anos de 2016 e 2009 e 2009 e 2012 houve desenvolvimento

dunar, que retornou entre 2014 e 2015. Para esse balneário estima-se que houve maior taxa de variação anual entre os anos de 2014 e 2015 com 4 m seguido do período 2006-2009 com 2 m de média anual. Os dados indicam o predomínio da acreção em relação à erosão no período analisado, isto é, desenvolvimento dunar no período analisado, praticamente no mesmo período em que o Mostardense sofreu erosão.

O Balneário Cassino apresentou entre as três comparações resultados acrescivos, tendo maiores valores de acreção que Mar Grosso no mesmo período de análise. Estima-se que a maior taxa de variação anual para o limite praia duna frontal ocorreu entre os anos de 2009 e 2012, com média de 9 m ano, seguido do período 2012 – 2015 com 4 m ano. A figura 13 mostra valores mais acrescivos para este local em relação aos demais, o que pode estar relacionado ao alto aporte sedimentar no período analisado. No período onde não houve a presença direta da lama o limite praia duna teve taxa de variação inferior a 1 m (0,77 m).

Já o Balneário da Barra do Chuí apresentou entre 2003 e 2005 leve erosão para o limite praia duna, com a praia erodindo as dunas. Entre 2005 e 2009 houve desenvolvimento dunar e entre 2009 e 2013 ocorreu nova pequena erosão nas dunas frontais. A maior taxa de variação anual da costa foi entre os anos de 2005 e 2009 com 2 m ano enquanto que as perdas foram menores, com taxas de -0,25 m entre 2003 e 2005 e -0,19 m entre 2009 e 2013.

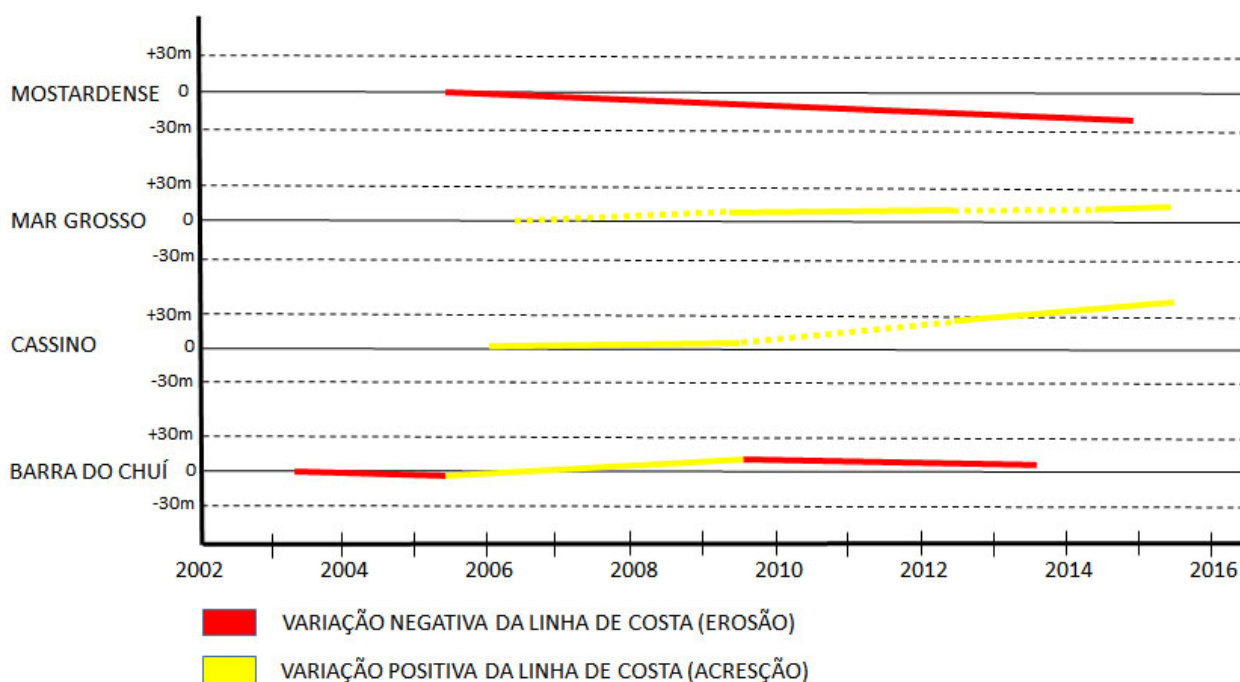


Figura 13: Variação da linha de costa (limite praia duna frontal) entre 2003 e 2015 nos Balneários Mostardense (2005, 2014), Mar Grosso (2006, 2009, 2012, 2014, 2015), Cassino (2006, 2009, 2012, 2015) e Barra do Chuí (2003, 2005, 2009, 2013), costa oceânica do Rio Grande do Sul.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul pode ser caracterizada como um ambiente homogêneo, com áreas de topografia suave e sedimentos com alta maturidade. Contudo, estudos recentes mostram heterogeneidade tanto na característica da Barreira Holocênica (Dillenburger et al. 2005a) quanto da praia (Pereira 2005). Estas diferenças são importantes para a análise da variação da linha de costa nos balneários estudados. Os movimentos de erosão e acreção da linha de costa, sobretudo do LSP, podem ter relação com a gênese da PCRS. Dillenburger et al. (2005b) classificou a Barreira Holocênica do RS em progradante (regressão marinha e/ou tendência acresciva), retrogradante (transgressão marinha e/ou tendência erosiva) e ascendente (apresenta certa estabilidade). A praia do Cassino, onde se encontrou os maiores valores acrescivos, está situada sobre o principal trecho de barreira progradante do Estado. A praia do Mar Grosso também se encontra em um segmento progradante, porém menos desenvolvido, e coincidentemente teve resultados acrescivos menos expressivos que o Cassino no limite superior da praia. Estas áreas localizam-se em um trecho bastante embaiado da PCRS, com maior atenuação de onda e ainda com influência da desembocadura da Lagoa dos Patos, que fornece sedimentos para a plataforma adjacente. Analisando os dados coletados por Calliari & Klein (1993), para o litoral sul, juntamente com os dados de Barletta & Calliari (2000) para o litoral médio e os dados de Dillenburger et al. (2005a) 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 sua declividade.

O Balneário Mostardense está situado em um trecho convexo da barreira, com maior energia de onda. Ao sul da área há significativa erosão da linha de costa, com afloramento de turfãs, enquanto que ao norte

predomina certa estabilidade entre erosão e acreção (Absalonsen & Toldo Jr. 2007). Os dados obtidos no LSP mostram que o balneário apresenta uma linha de costa erosiva, embora se tenha apenas dois anos de análise. Toldo et al. (2006), explicam que o balanço de sedimentos ao longo do litoral médio do estado, associa a retração com os segmentos que apresentam elevadas taxas de deriva litorânea, e a progradação com os locais onde registra-se a mudança de alinhamento dos segmentos praias. Nestes locais pode ocorrer o bloqueio da deriva litorânea, que produz deposição dos sedimentos arenosos e consequente alargamento do sistema praias, desde o campo de dunas costeiras até a antepraia. Com essa afirmação pode-se entender os resultados de erosão para o Balneário Mostardense, o qual estaria numa zona de retração, ou seja, perdendo sedimentos.

As variações anuais da linha de costa no litoral médio apresentam um padrão ondulatório, no qual áreas em erosão ocorrem adjacentes a áreas em acreção e apresentam movimentos opostos em anos consecutivos (Calliari et al. 2006). Portanto os valores negativos no Balneário Mostardense, acrescivos no Mar Grosso e altamente acrescivos no Cassino não necessariamente representam uma situação mais generalizada da linha de costa.

O Balneário da Barra do Chuí está em um trecho classificado como *mainland beach*. Neste, um pequeno segmento Holocênico de caráter transgressivo (barreira retrogradante) se acopla a depósitos Pleistocênicos. Embora os dados não evidenciem claramente a erosão da linha de costa, o afloramento de depósitos pleistocênicos na duna frontal, turfãs e lamas lagunares a menos de 3 km da área parecem indicar a retrogradação da barreira. Isso pode ser um indicio

da limitação da metodologia, mais precisamente da escolha das cenas e da vetorização. Nas duas últimas imagens analisadas para este local havia depósitos eólicos no pós-praia, o qual pode ter interferido na vetorização do limite superior de praia. Na Barra do Chuí há presença dos molhes que também podem interferir, mesmo que sutilmente, na deriva litorânea. Houve no período analisado maiores taxas erosivas próximas ao molhe.

As diferenças no comportamento morfodinâmico entre as praias do Rio Grande do Sul são evidenciadas pela declividade da praia, características erosivas e hidrodinâmica associada. Em contrapartida a esse padrão geral, existe um comportamento sazonal. Movimentos sazonais dos materiais costeiros criam usualmente amplas praias no verão e estreitas praias no inverno, em um verdadeiro ciclo anual (Martins et al. 2004). Na primavera e no verão tende a predominar acreção sedimentar, devido à baixa energia de onda e no outono e inverno erosão, dados os eventos de alta energia. Existe também o fator eólico, o qual carrega sedimento sobre o pós-praia, que ocorre predominantemente na primavera. A deposição eólica na base das dunas em alguns casos pode ter interferido na vetorização do limite superior de praia, contando que algumas imagens utilizadas são dessa estação. Tais depósitos eólicos podem ser confundidos com dunas frontais, dadas semelhanças na resolução espectral. Contudo, devido à grande influência dos sistemas frontais na costa do RS, pode ocorrer erosão nos meses de verão e acreção nos meses de inverno, devido ao enfraquecimento ou inexistência desses sistemas (Calliari & Klein 1993).

Durante a ação de marés de tempestades, vastas áreas podem ser inundadas em questão de horas. Essas “tormentas” podem causar efeitos distintos, como a acumulação (deposição) de lama ao longo das costas, como no caso do Balneário Cassino (Martins et al. 2004) e processos erosivos acentuados, como no Hermenegildo (Esteves et al. 2001). Desta forma as características meteorológicas e oceanográficas em períodos anteriores às imagens analisadas são relevantes.

8. Considerações Finais

O Balneário Mostardense apresentou comportamento erosivo entre os anos de 2005 e 2014. As taxas foram elevadas, com deslocamento médio ou variação do limite entre a praia e a duna frontal de -19 m. Isto significa erosão das dunas frontais pela praia.

O Balneário Mar Grosso entre os anos de 2006 e 2015 apresentou comportamento da linha de costa relativamente estável, com tendência a acreção no limite praia duna. A maior acreção das dunas frontais esteve associada ao plano de manejo de dunas. Já as outras taxas de acreção se deram ao longo da linha de costa pelo aporte sedimentar da praia e ação eólica. O processo erosivo mais acentuado esteve associado às desembocaduras dos canais sangradouros, os quais tem sua dinâmica associada a pluviosidade e ação de ondas.

O Balneário Cassino entre os anos de 2006 e 2015 apresentou taxas acrescivas bastante significativas. Como já discutido, o balneário está em uma faixa litorânea que favorece sua alta sedimentação, tanto pela deriva litorânea como pela desembocadura da Lagoa dos Patos. Houve um processo de deposição de lama fluida na face de praia no período analisado. Este por sua vez pode ter favorecido grande aporte de sedimento favorecendo a ação eólica para o desenvolvimento dunar.

O Balneário da Barra do Chuí apresentou, entre os anos de 2003 e 2013, comportamento instável. As maiores taxas de acreção estão associadas ao sangradouro ao centro da área de estudo, o qual mudou sua desembocadura de forma acentuada. Como já discutido, há evidências de afloramentos de depósitos Pleistocênicos na duna frontal, turfas e lamas lagunares a mesmo de 3 km da área. Isto parece indicar a retrogradação da Barreira.

A variação da linha de costa, em espacial o deslocamento do limite praia duna analisado junto aos principais balneários do litoral médio e sul da costa oceânica do Rio Grande do Sul, apresenta variação espaço temporal significativa. Em relação a variação temporal em cada local, os aspectos mais relevantes são a ação de eventos de alta energia hidrodinâmica que geram erosão e o aporte sedimentar e processos eólicos na base das dunas, que geram acreção. Nestas diferentes localidades analisadas tais processos de erosão e acreção ocorrem de forma distinta. Enquanto Mostardense e Barra do Chuí são foram mais influenciados pelos processos erosivos, Mar Grosso e principalmente Cassino apresentaram significativo aporte sedimentar para a praia no período analisado, o que propiciou valores acrescivos da linha de costa no período analisado.

Agradecimentos

Ao CNPq pela aprovação do Projeto (Processo 446963/2014-3) no Edital Universal 14/2014, no qual este trabalho está inserido. A Universidade Federal do Rio Grande pela bolsa PDE/EPEC para o primeiro autor realizar este trabalho.

Referências

- Absalonsen L., Toldo Jr. E. E. 2007. A Influência da Inflexão Costeira na Variabilidade da Linha de Praia em Mostardas – RS. Revista Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v. 34 (1), 3-18p.
- Albuquerque M. G. 2013. Análise espaço-temporal das causas da variabilidade da linha de costa e erosão na praia do Hermenegildo, RS. Tese de doutorado. Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 112p.
- Albuquerque M. G., Espinoza J. M. A., Oliveira A., Corrêa I., Calliari L. J. 2013. Erosion or Coastal Variability: an evaluation of the DSAS and the Change Polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches. In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O’Hare, T.J. (eds.), Journal of Coastal Research, v. 65, 1710-1714p.
- Anfuso G., Bowman D., Danese C., Pranzini E. 2016. Transect based analysis versus area based analysis to quantify shoreline displacement: spatial resolution issues. National Center for Biotechnology Information, v. 188(10), 1-14p.

- Barboza E. G., Tomazelli L. J., Dillenburg S. R., Rosa M. L. C. C. 2009. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: Erosão em Longo Período. *Revista Sociedad Uruguaya de Geología - SUG*, n. 15, 94-97p.
- Barletta R. C., Calliari L. J. 2000. Detalhamento dos aspectos atmosféricos e ondulatorios que determinam as características morfodinâmicas das praias do Litoral Central do Rio Grande do Sul. In: *Anais o Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, riscos e gestão. Vale do Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar*, 168-170p.
- Boak E. H., Turner E. L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, v. 21 (4), 688–703p.
- Calliari L. J., Klein A. H. F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas* 20 (2), Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 48-56p.
- Calliari L. J., Toldo Jr. E. E., Nicolodi J. L., Speranski N., Almeida L. E. S. B., Lima S. F., Esteves L. S., Martins L. R. 2006. Rio Grande do Sul. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/rs_erosao.pdf. Acesso em: 10 de janeiro de 2016.
- Dillenburg S. R., Tomazelli L. J., Martins L. R., Barboza E. G. 2005a. Modificações de longo período da linha de costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. In: *Gravel*, 3. Disponível em: http://www.ufrgs.br/gravel/3/Gravel_3_02.pdf. Acesso em: 23 de maio de 2016.
- Dillenburg S. R., Martinho C. T., tomazelli L. J., Dorneles L., Silva D. B. 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*. Disponível em: http://www.abequa.org.br/trabalhos/0084_dillenburg_et_al_abequa.pdf. Acesso em: 23 de maio de 2016.
- Dolan R., Hayden B., May S. 1980. The Reliability of Shoreline Changes Measurements from Aerial Photographs. *Shore and Beach* 48, 22-29p.
- Esteves L. S., Toldo Jr. E. E., Almeida L. E. S. B., Nicolodi J. L. 2001. Erosão na costa do Rio Grande do Sul entre 1975-2000. In: *VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*. Disponível em: http://www.abequa.org.br/trabalhos/congresso2001_parte6.pdf. Acesso em: 17 de junho de 2016.
- King C. A. M. 1972. *Beaches and coasts*. Edward Arnold Publishers Ltd, 570p.
- Lelis R. J. F. 2003. Variabilidade da linha de costa oceânica adjacente às principais desembocaduras do Rio Grande do Sul. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Oceanologia, Instituto de Oceanologia, Universidade Federal de Rio Grande, 79p.
- Marques W. C., Monteiro I. O., Möller O. O., Fernandes E. H. 2005. A dinâmica da pluma costeira da Lagoa dos Patos, Brasil. In: *II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*. Disponível em: <http://www.semengo.furg.br/2006/01.pdf>. Acesso em: 17 de junho de 2016.
- Martins L. R., Tabajara L. L., Ferreira E. R. 2004. Linha de Costa: problemas e estudos. In: *Gravel*, 2. Disponível em: http://www.ufrgs.br/gravel/2/Gravel_2_04.pdf. Acesso em: 17 de junho de 2016.
- Mazzer A. M., Dillenburg S. R. 2009. 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*, 36(1). Disponível em: <http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/3601/10-3601.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2016.
- Oliveira A. O. 2005. Subsídios para o planejamento do Balneário do Mar Grosso, São José do Norte, RS: Avaliação de aspectos geomofológicos e morfodinâmicos com auxílio de geotecnologias. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, 118p.
- Oliveira A. O., Calliari L. J. 2006. Morfodinâmica da Praia do Mar Grosso, São José do Norte/RS. *Gravel*, 4. Disponível em: http://www.ufrgs.br/gravel/4/Gravel_4_02.pdf. Acesso em: 20 de janeiro de 2016.
- Pereira P. S. 2005. Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica, Universidade Federal do Rio Grande, 160p.
- Porto F. S. Variabilidade morfossedimentar do sistema praia duna ao largo do Balneário Cassino – RS no período de 2006 a 2016. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande, 104p.
- Smith M. J., Cromley R. G. 2012. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. *Transactions in GIS* 16 (1), p. 15.
- Souza C. R. G., Filho P. W. M. S., Esteves L. S., Vital H., Dillenburg S. R., Patchineelam S. M., Addad J. E. 2005. Praias Arenosas e Erosão Costeira. *Quaternário do Brasil*. Holos Editora, Ribeirão Preto, 130-152p.
- Toldo Jr. E. E., Almeida L. E. S. B., Barros C., Baitelli R., Martins L. R., Nicolodi J. L. 1999. Retreat of the Rio Grande do Sul coastal zone. In: *Martins L. R., Santana C. I. (Eds.). Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin*. Porto Alegre, RS, Brasil: Editora CECO-IG-UFRGS, 62-68p.
- Toldo Jr. E. E., Nicolodi J. L., Almeida L. E. S. B., Corrêa I. C. S., Esteves L. S. 2006. Coastal dunes and shoreface width as a function of Longshore transport. *Journal of Coastal Research* 39, 390-394p.
- Tomazelli L. J., Villwock J. A., Dillenburg S. R., Bachi F. A., Dehnhardt B. A. 1998. Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70 (2), 221-229p.
- TOMAZELLI L.J., VILLWOCK J.A. 2000. O Cenozoico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: *HOLZ M., DE ROS L.F. (Eds). Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CIGO/UFRGS. 375-406p.
- Tomazelli L. J., Dillenburg S. R., Villwock J. A., Barboza G. E., Bachi A. F., Dehnhardt A. B., Rosa C. C. L. M. 2007. Sistemas Depositionais e Evolução geológica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Uma Síntese. *50 Anos de Geologia*. Editora Comunicação e Identidade, Porto Alegre, 327-339p.
- Villwock J. A., Tomazelli L. J. 1995. Geological Evolution of Rio Grande do Sul Coastal Plain during the Quaternary. In: *LOICZ Scientific Meeting, São Paulo*. Extended Abstracts. São Paulo, SP: USP, v. 1, 11-13p.
- Villwock J. A., Tomazelli L. J. 2007. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: *Becker F. G., Ramos R. A., Moura L. A. (Org.). Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul*. 1ªed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, 2007, 1-388p.
- Wright L. D., Short A. D. 1984. Morphodynamics variability of high energy surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, n. 56, 93-118p.