

Estudo da evolução morfodinâmica do campo de dunas da praia do Cassino (Brasil) a partir de geotecnologias

M. J. B. Silva¹; C. G. Serpa²

¹*Escola de Engenharia/Laboratório de Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, CEP 96203-900, Rio Grande-RS, Brasil*

²*Escola de Engenharia/Laboratório de Topografia, Universidade Federal do Rio Grande, CEP 96203-900, Rio Grande-RS, Brasil*

marinebastos@yahoo.com.br;

(Recebido em 06 de dezembro de 2013; aceito em 19 de agosto de 2014)

Os sistemas costeiros são áreas de notável importância que estão sujeitas a alterações em sua configuração e que constituem áreas ambientalmente sensíveis. As dunas, por sua vez, são feições eólicas típicas de praias arenosas, inseridas nesses ambientes, e que possuem funções como proteção da orla e das regiões adjacentes, estoque sedimentar e recarga de aquíferos. O presente trabalho visa analisar a evolução do campo de dunas expostas da Praia do Cassino (Brasil). A análise temporal da costa baseou-se em imagens provenientes do *software* Google Earth, dos anos de 2002, 2006, 2009 e 2012, além de uma fotografia aérea datada de 1964, que foram registradas em relação a uma imagem georreferenciada e ortorretificada. Por sua vez, a vetorização da linha de costa e do cordão de dunas foi realizada em escala 1:1000, satisfatória para o objetivo proposto. A quantificação das taxas de progradação ou retrogradação do campo de dunas em direção ao continente foi realizada de acordo com o método do polígono de mudança. Análises demonstraram que ao longo dos anos, a biomassa vem ocupando as dunas frontais e que nos últimos doze anos as taxas de progressão da mesma em direção à costa tem diminuído. Entre os anos de 2006 e 2009, se observa uma progressão maior da vegetação quando comparada aos períodos anterior (2002-2006) e posterior (2009-2012), que está relacionada com a diminuição da intensidade e da constância dos ventos NE e E, principais responsáveis pelo transporte eólico.

Palavras-chave: zona costeira, dunas frontais, geoprocessamento.

Study of the morphodynamic evolution of Cassino Beach dunes field through geotechnology

Coastal systems are important socioeconomic and environmental areas, which are affected by a sort of natural processes of different temporal and spatial scales, becoming vulnerable areas. The dunes field are eolian landforms on sandy beaches that present functions such as protection of the shore and low adjacent regions. In this context the present work aims to measure the foredunes field evolution at Cassino Beach, Southern Brazil. The temporal analysis of a portion of the coast was based on Google Earth imagery from 2002, 2006, 2009 e 2012 and an aerial photograph registered in 1964, which were registered against a georeferenced and orthorectified image. Besides, the vectorization of the shoreline and foredunes field position was produced in a 1:1000 scale, suitable for the proposed goal. The quantification of advance and retreat rates of the foredunes field toward the mainland was performed according to the Change Polygon Methods. The results showed that over the years biomass has covering the dunes field, and in the last twelve years the rates have been lower. It was seen from 2006 to 2009 higher rates of biomass covering, especially compared to the previous (2002-2006) and later (2009-2012) periods, which is related to the decrease in the intensity and constancy of NE and E wind, main responsible for eolian transport.

Keywords: coastal zone, foredunes field, geoprocessing.

1. INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros são áreas de grande importância socioeconômica e ambiental, expostos a processos naturais e antrópicos de diferentes escalas temporais e espaciais. Típicas em praias arenosas, as dunas são feições eólicas responsáveis por diversas funções, tais como:

proteção de áreas adjacentes (campos, banhados, marismas, cursos d'água e zonas urbanas) contra os efeitos de marés altas, ventos e invasão de areia inconsolidada; depósito de areia para substituir a areia erodida por ondas ou levadas por tempestades; garantia da estabilidade em longo prazo da frente da praia; e, ainda, exercem uma barreira contra a penetração de água salgada no nível freático, mediante a pressão de água doce que armazenam [1].

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a evolução do campo de dunas frontais de uma porção da Praia do Cassino, localizada no sul do litoral do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), através de técnicas de geoprocessamento.

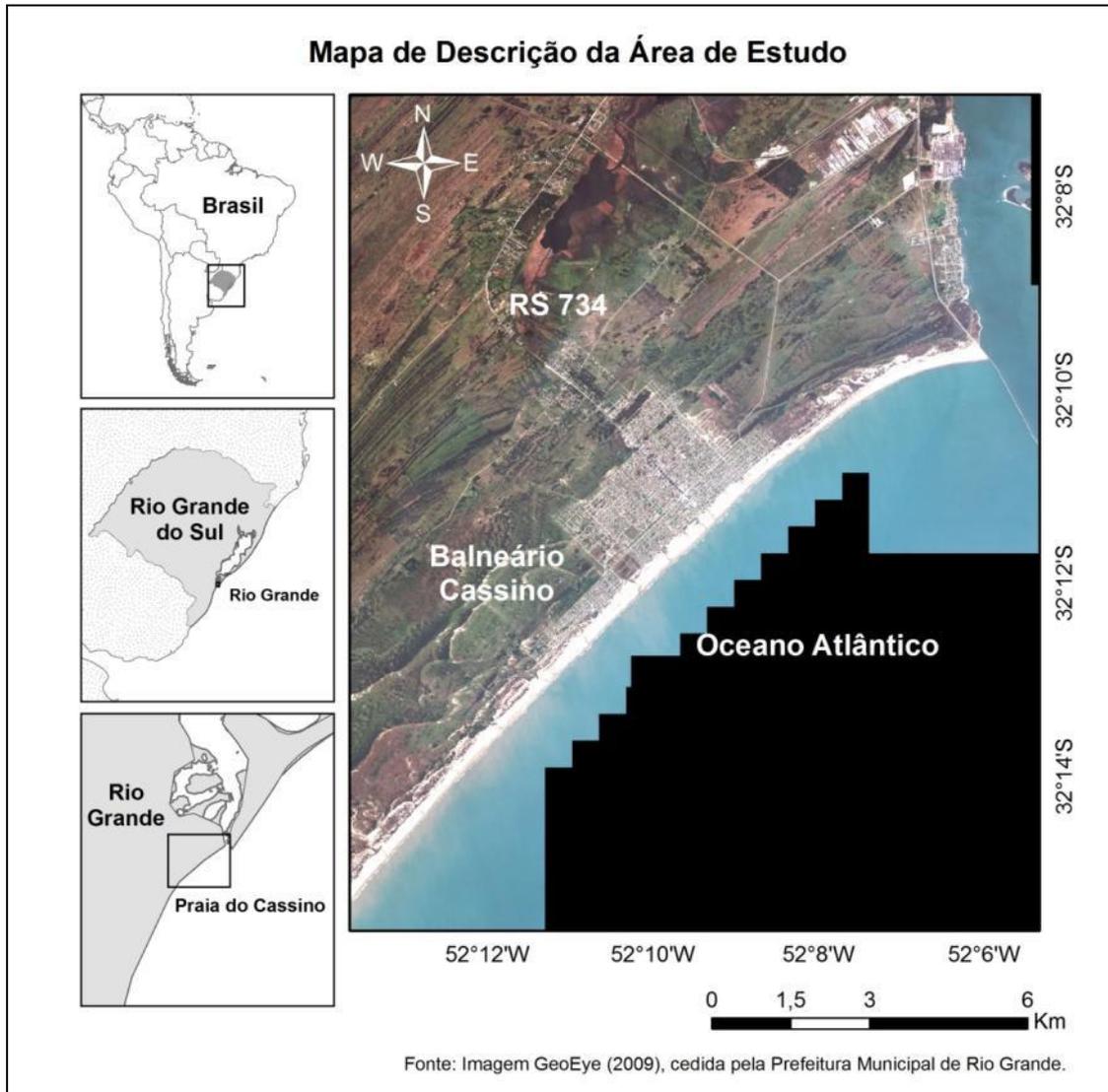


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

A Praia do Cassino faz parte de uma porção progradante da costa, de configuração levemente embaiada, com orientação sudoeste-nordeste e declividade suave, estando sujeita a um regime de micromaré astronômica, a frequentes marés meteorológicas e à ação das ondas [2]. Segundo Calliari & Klein (1993), a praia é caracterizada por dunas frontais bem desenvolvidas, com expressões topográficas de 3 a 6 metros de altura.

Quanto à sedimentologia, a região possui areias quartzosas de granulometria fina a muito fina [3]. A face da praia, por sua vez, possui uma condição peculiar de compactação, já que o fluxo de veículos automotores é permitido no local. A compactação de uma camada de areia reduz o índice de vazios aumentando a resistência aos deslocamentos de líquidos e gases, interferindo nos processos biológicos presentes nestes meios [4].

Portanto, torna-se fundamental o estudo e monitoramento contínuo dessa localidade, pois além de constituir um balneário de grande atratividade turística e especulação imobiliária, possui significativa importância ambiental.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A análise temporal da evolução do campo de dunas da praia do Cassino baseou-se na utilização de uma série de imagens de satélite dos anos de 2002, 2006, 2009 e 2012, assim como fotografias aéreas datadas de 1964 e cedidas pelo Serviço de Aerofotogrametria do Exército. As imagens de satélite foram obtidas através do *software* Google Earth, a uma altitude de observação de 2,2 km. Foram adquiridas onze cenas do ano de 2002, treze cenas do ano de 2006, doze cenas do ano de 2009 e nove cenas do ano 2012, atingindo uma extensão de, aproximadamente, 14 km lineares de praia.

As cenas de cada ano foram registradas no sistema de coordenadas UTM e no sistema de referência WGS 1984, zona 22 Sul, a partir de pontos do *software* Google Earth. Nesse processo, realizado no *software* ArcGIS 9.3 e equivalente ao georreferenciamento, obteve-se um erro médio quadrático (RMS, *Root Mean Square*) em torno de 0,6 metros para as três datas. Destaca-se que o RMS é responsável pela acurácia e precisão da correção geométrica e, para ser satisfatório, este valor deve ser inferior à metade da dimensão do pixel.

A partir das imagens devidamente georreferenciadas três mosaicos foram gerados, correspondentes a cada ano, e o pixel da imagem retificada abrangeu 1,8 metros de extensão no terreno. Os mosaicos foram, então, registrados com base em uma imagem de satélite orbital GeoEye, adquirida pela Prefeitura Municipal do Rio Grande, referente ao ano de 2009 e que apresenta alta resolução espacial, de aproximadamente 0,5 metros. Tal processo foi realizado no *software* ENVI 4.4, com o objetivo de refinar a malha de pontos do georreferenciamento, atenuando o RMS.

No que diz respeito às fotografias aéreas, o processo de mosaicagem foi realizado com base na semelhança de *pixel* (*software* Adobe Photoshop), devido a baixa densidade de pontos de controle encontrados e, posteriormente, georreferenciado com base na mesma imagem satelital GeoEye (*software* ENVI 4.4). O mosaico é composto por seis cenas, cujas imagens foram adquiridas com escala de 1:60000.

O processo de digitalização da linha de costa, bem como do cordão de dunas, foi realizado em escala 1:1000, satisfatória para o objetivo, fazendo uso do *software* ArcGIS 9.3. Observa-se na figura 2, os procedimentos descritos acima.

A fim de quantificar a evolução do cordão de dunas expostas foi adotado o método polígono de mudança, realizado em plataforma CAD (Figura 3), que se mostra um dos mais eficientes métodos para estimativas de taxas de variação em linhas de costa irregulares [5,6]. Neste método, utiliza-se uma linha de base (neste caso, criou-se uma paralela à linha de costa, com azimute 45° em relação ao Norte Geográfico e 12,6 km de extensão) para a formação de polígonos e cálculo de áreas correspondentes a cada ano. Destaca-se que os períodos entre 2002-2009 e 2002-2012 foram analisados individualmente, pois o mosaico de cenas referente ao ano de 2012 abrange uma menor porção da praia.

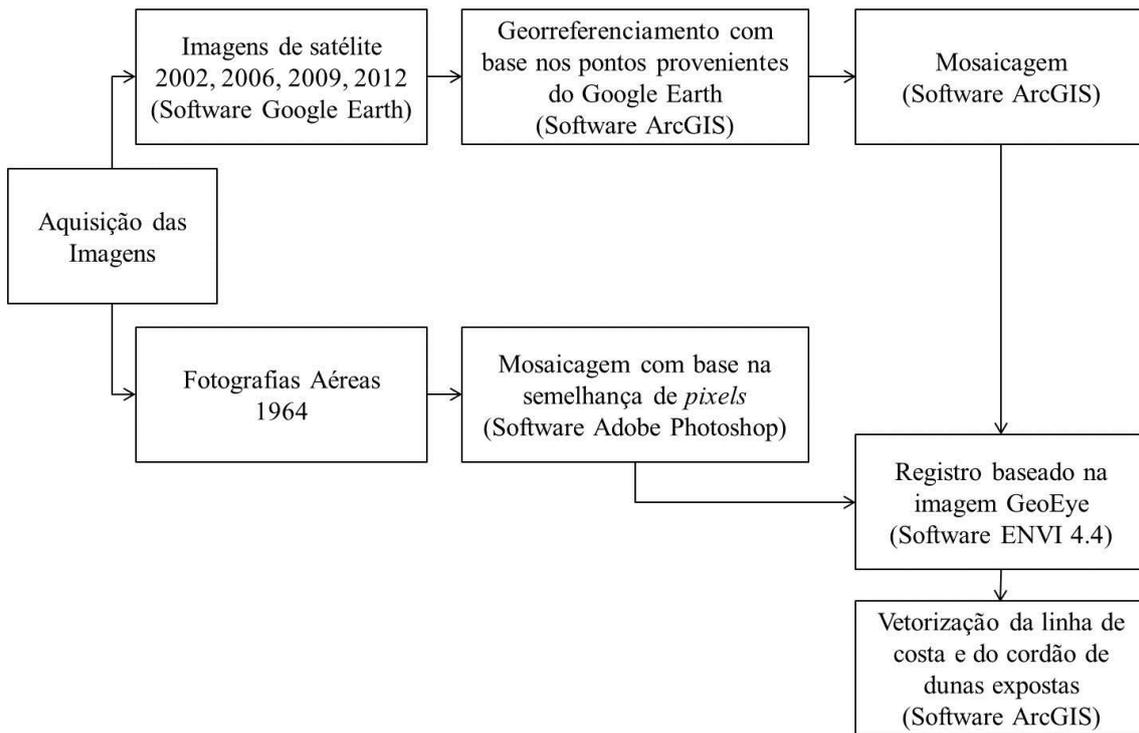


Figura 2: Metodologia para aquisição da base cartográfica.

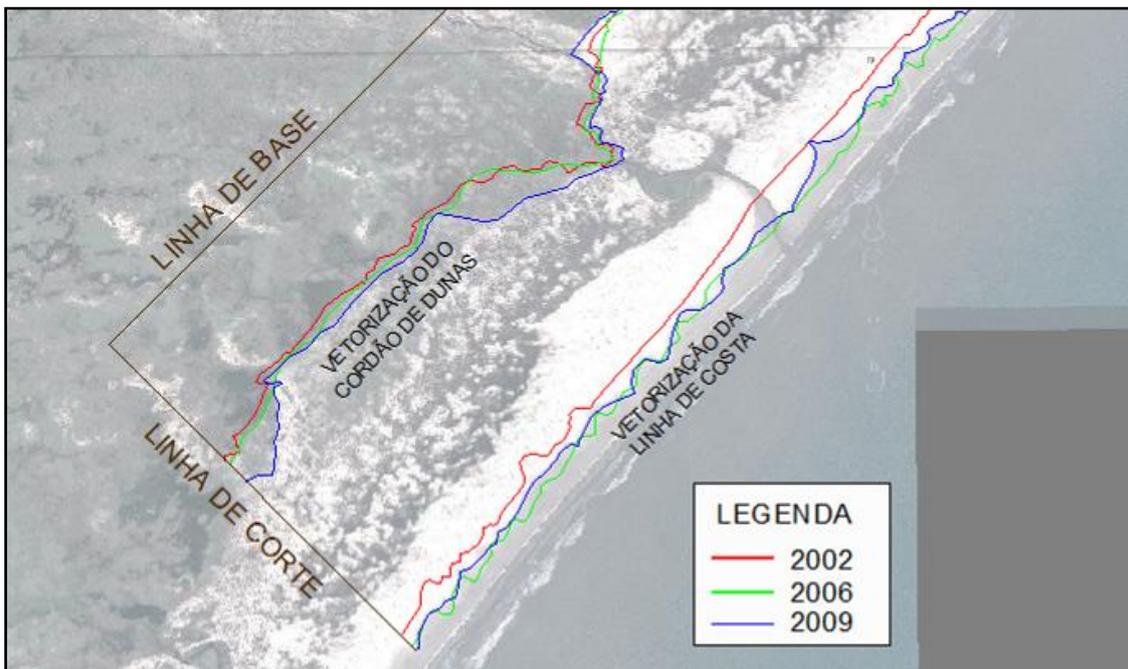


Figura 3: Ilustração das vetorizações da linha de costa e do cordão de dunas frontais, assim como da posição das linhas de base e de corte do método do polígono de mudança.

Com o objetivo de analisar os padrões do regime de ventos na região, foram adquiridos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponibilizados através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Tais dados possuem frequência de aquisição de três vezes ao dia e o período analisado está compreendido entre os anos de 1961 e 2013. O processamento e a representação dos dados de vento foram realizados com o auxílio do *software* MatLab[®], por meio da rotina “wind_rose”, que utiliza como parâmetros de entrada a direção (azimute) e a intensidade do vento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da metodologia empregada, obteve-se como resultados os mosaicos referentes às cinco datas e suas respectivas vetorizações, da linha de costa e do cordão de dunas frontais expostas, produtos apresentados nas figuras 4, 5, 6, 7 e 8, a seguir.

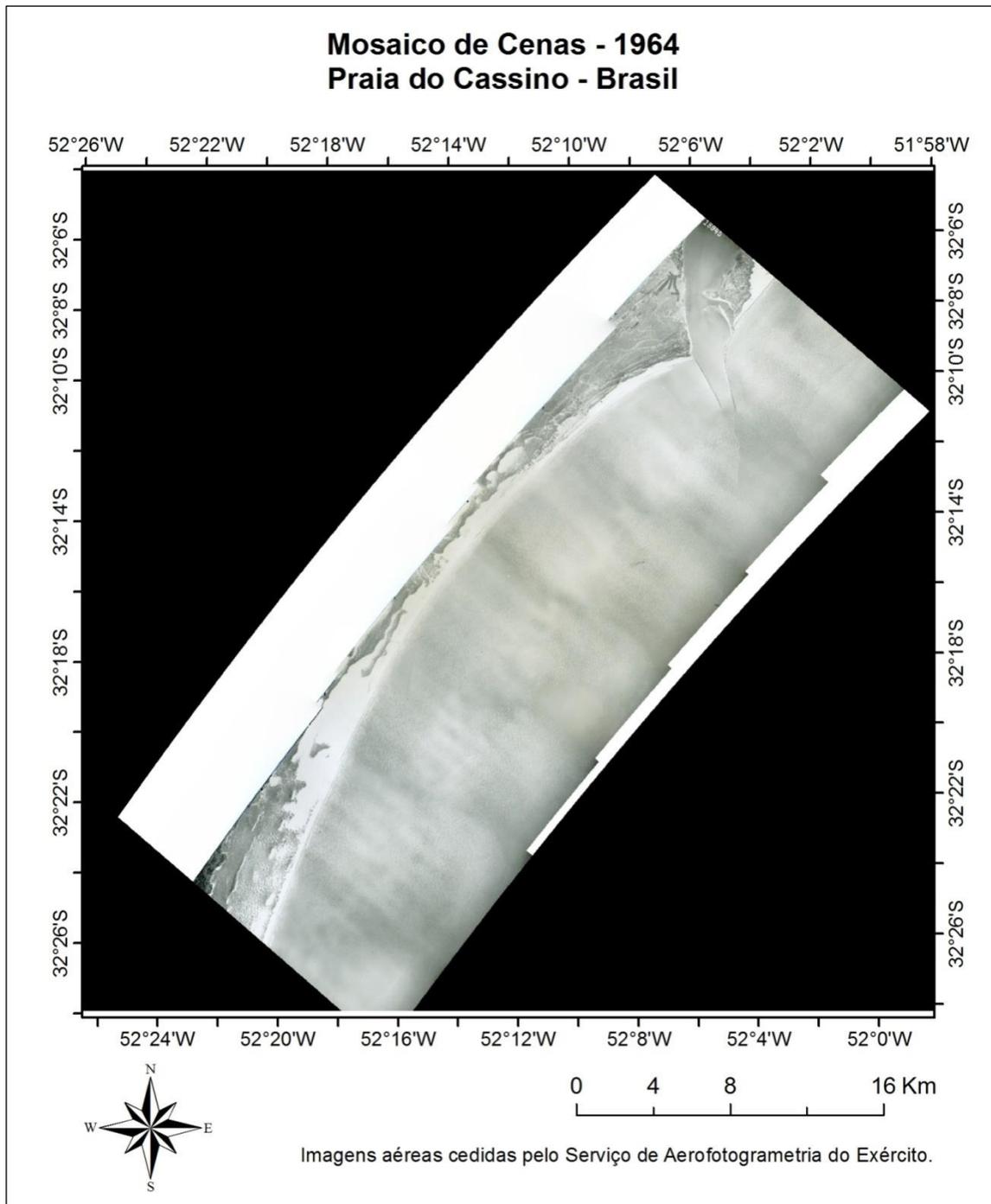


Figura 4: Mosaico de cenas - 1964.

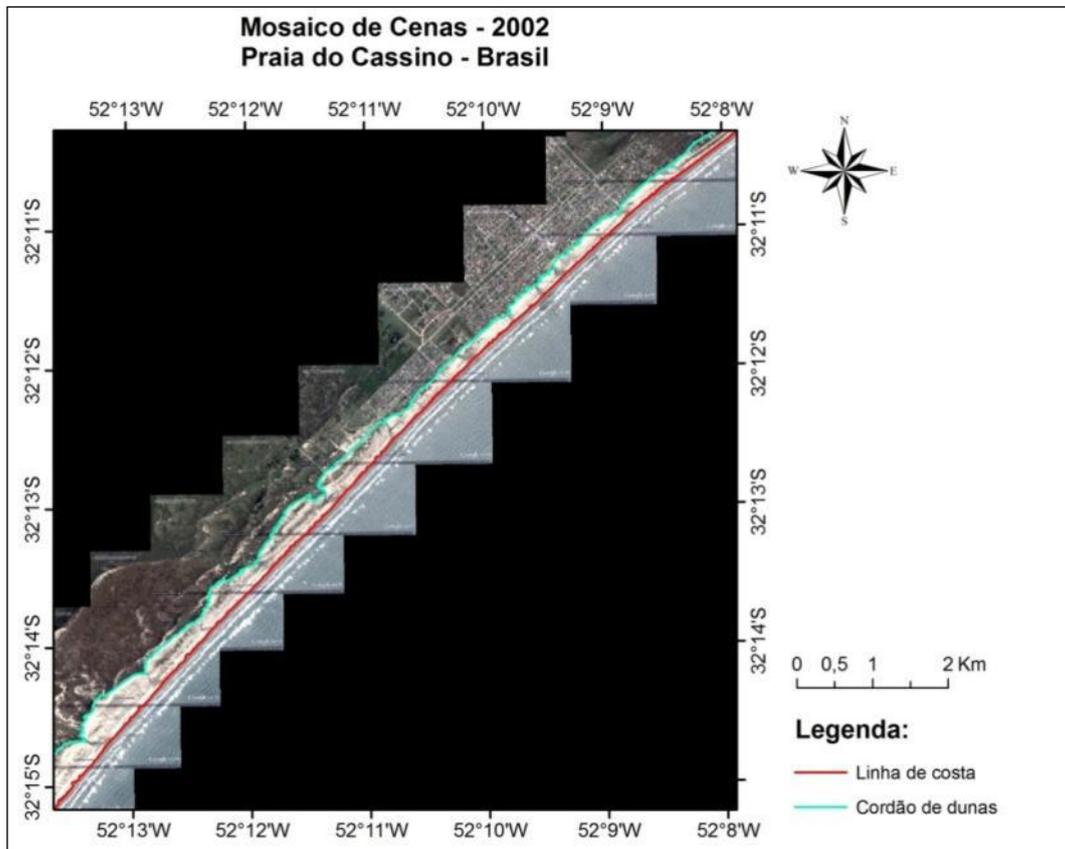


Figura 5: Mosaico de cenas e vetorizações (2002).

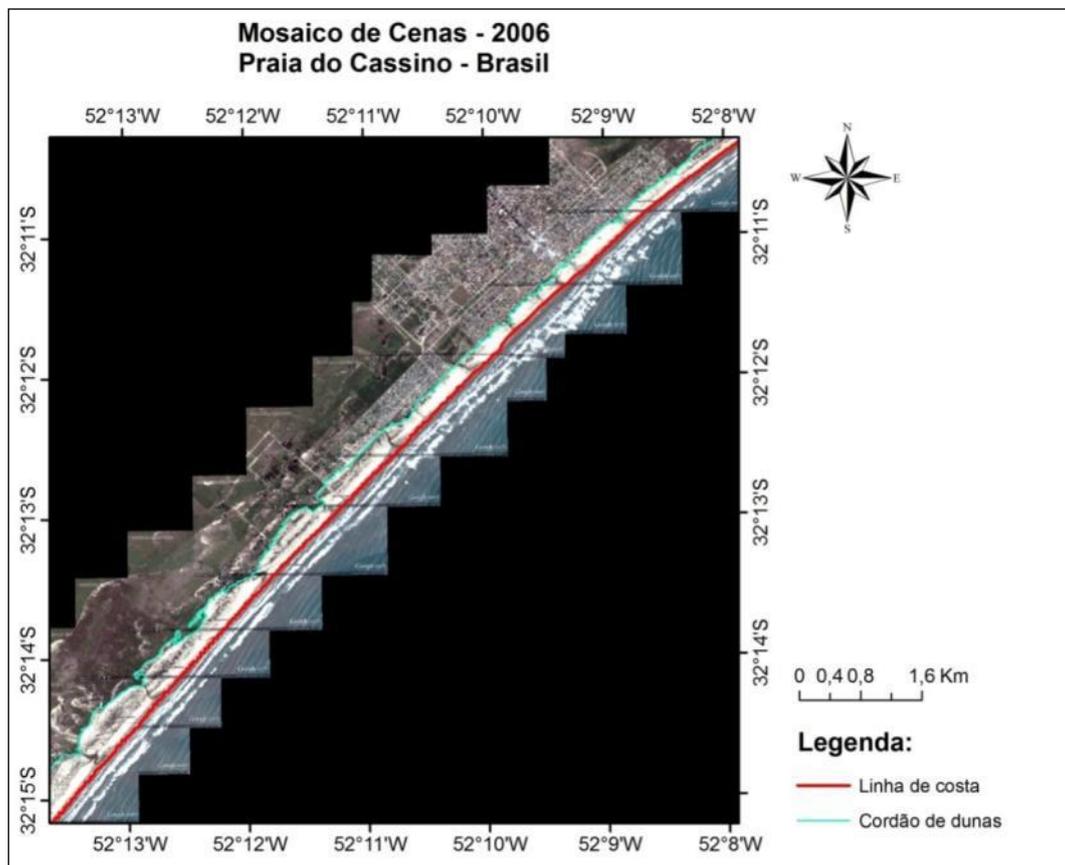


Figura 6: Mosaico de cenas e vetorizações (2006).

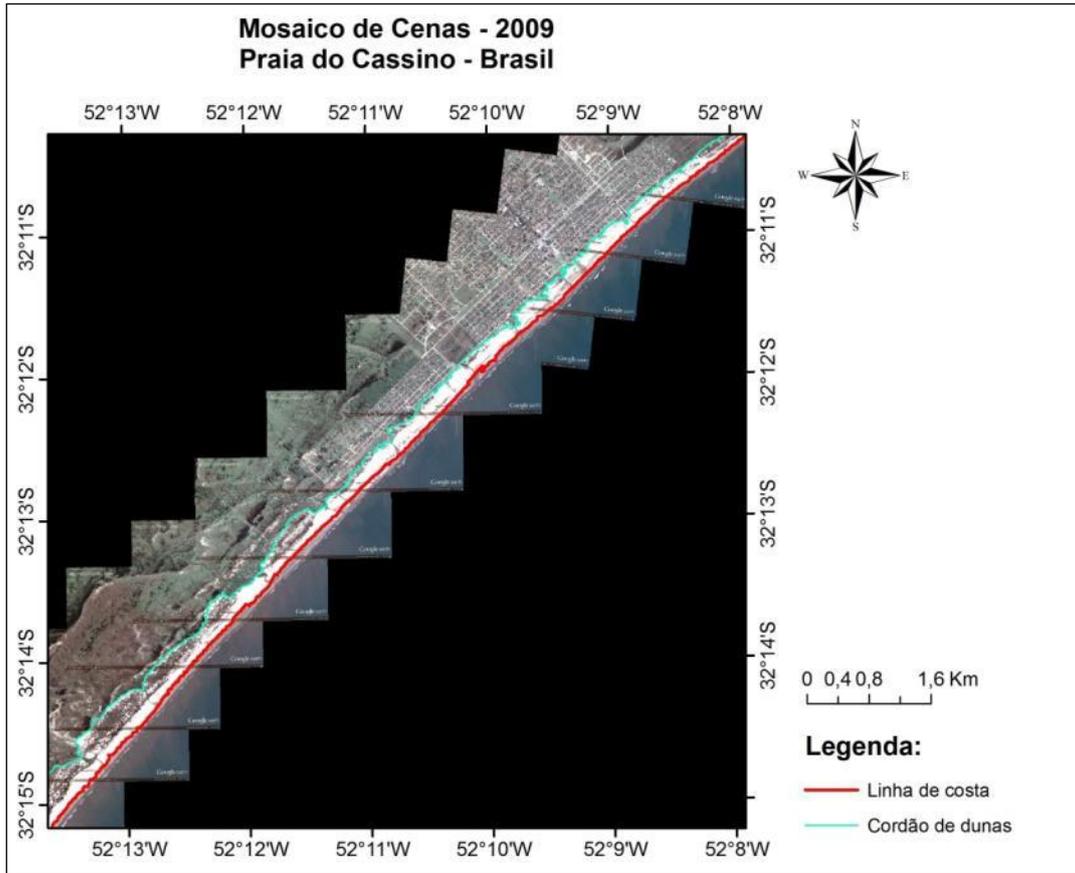


Figura 7: Mosaico de cenas e vetorizações (2009).

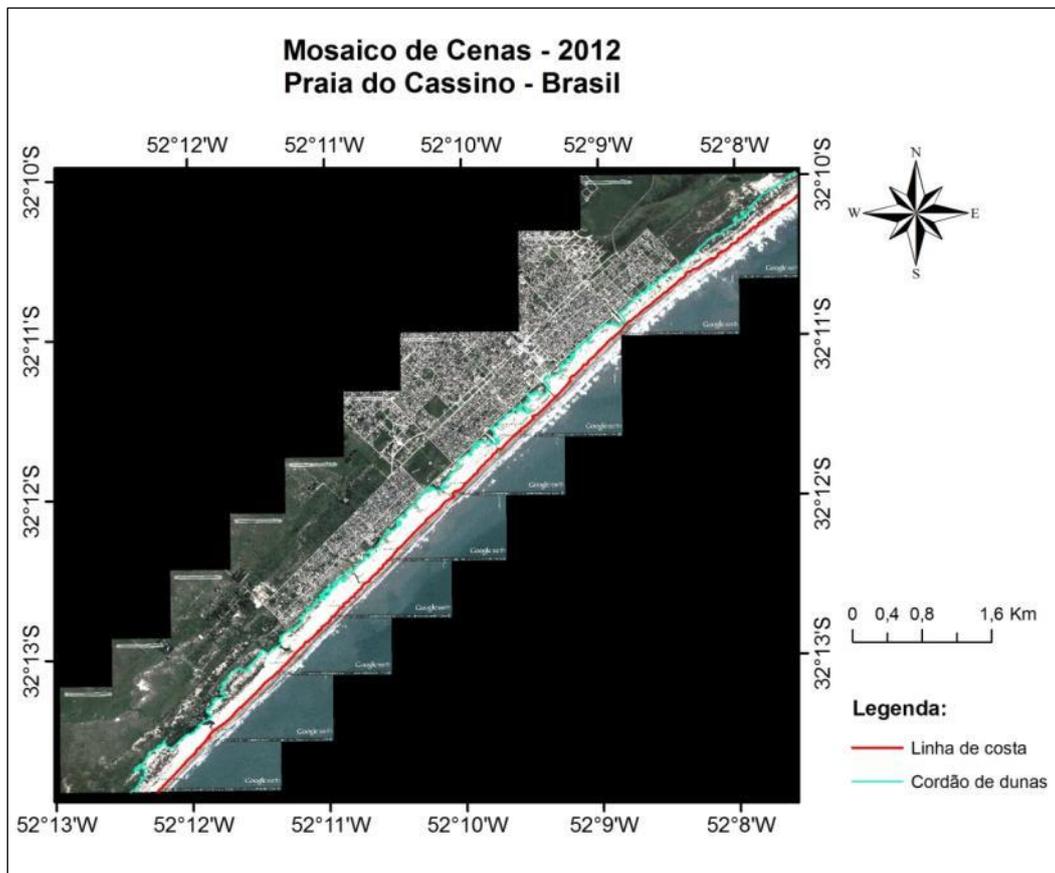


Figura 8: Mosaico de cenas e vetorizações (2012).

Para uma extensão de 12,6 km da costa (Tabela 1), as análises demonstraram que entre 1964 e 2002 ocorreu um avanço médio de 444,92 metros da biomassa em direção ao mar, totalizando uma taxa de progressão de 11,61 metros ao ano, reduzindo de forma expressiva a porção arenizada da praia.

Tabela 1: Parâmetros de cálculo da taxa de progressão linear da biomassa entre 1964 e 2002.

Imagem	Data de Aquisição	Área do Polígono (km ²)	Distância Média (m)	Taxa de Progressão (m/ano)
1964	-	8,88	444,92	11,61
2002	29.10.2002	14,50		

Nos mesmos 12,6 km, analisando o período entre 2002 e 2006, observou-se comportamento semelhante de avanço da vegetação, com uma taxa de 2,40 metros ao ano. Já entre os anos de 2006 e 2009, essa taxa apresentou-se mais acentuada com 7,36 metros ao ano. Os dados podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de cálculo da taxa de progressão linear da biomassa entre 2002 e 2009.

Imagem	Data de Aquisição	Área do Polígono (km ²)	Distância Média (m)	Taxa de Progressão (m/ano)
2002	29.10.2002	3,70	8,0	2,40
2006	27.02.2006	3,80		
2009	30.08.2009	4,13	25,81	7,36

Entretanto, analisando uma porção praial de 9,5 km, obteve-se uma taxa de progressão de 3,56 metros ao ano para o período compreendido entre 2002 e 2006; 8,03 metros ao ano entre 2006 e 2009 e, por fim, 3,32 metros ao ano no período entre 2009 e 2012. A menor extensão utilizada nas análises da Tabela 3 se deve à adequação aos limites da cena de 2012.

Tabela 3: Parâmetros de cálculo da taxa de progressão linear da biomassa entre 2002 e 2012.

Imagem	Data de Aquisição	Área do Polígono (km ²)	Distância Média (m)	Taxa de Progressão (m/ano)
2002	29.10.2002	2,86	11,84	3,56
2006	27.02.2006	2,98		
2009	30.08.2009	3,24	28,17	8,03
2012	08.04.2012	3,33	8,65	3,32

Desta maneira, as imagens 10 e 11 apresentam as áreas onde houve avanço ou retrogradação da biomassa nos períodos entre 2002-2006, 2006-2009, 2009-2012 e 1964-2002, respectivamente. É notório um comportamento de acresção ao longo de todo período estudado.

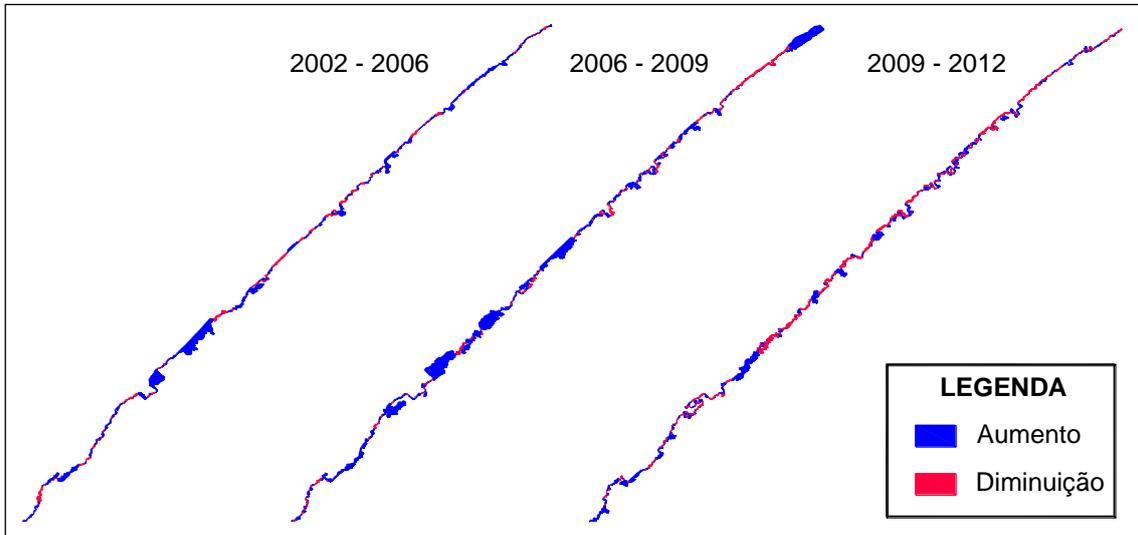


Figura 9: Aumento e diminuição da biomassa vegetal nos três períodos analisados, para uma extensão de 9,5 km da costa.

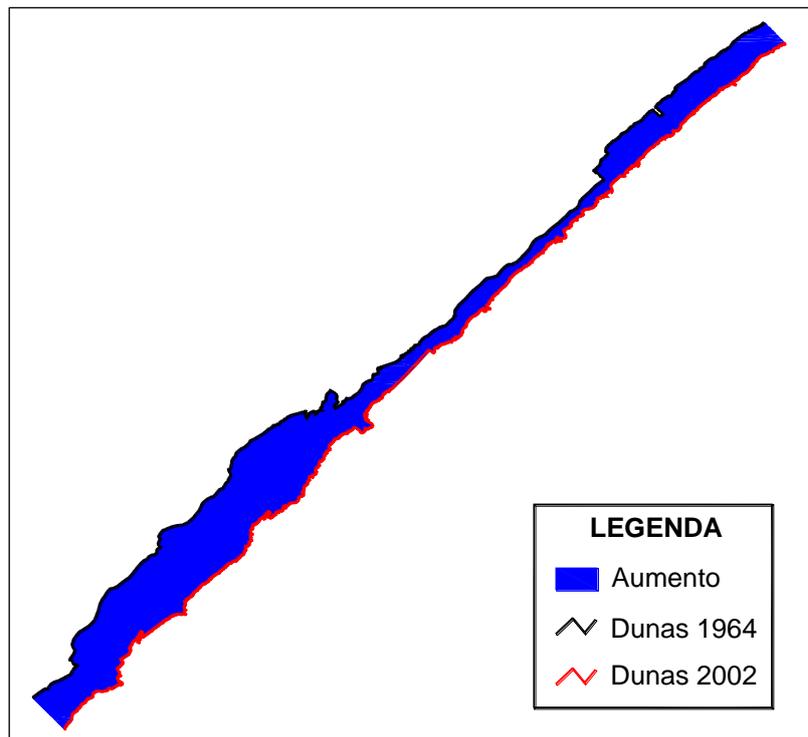


Figura 10: Aumento e diminuição da biomassa vegetal no período entre 1964 e 2002, para uma extensão de 12,6 Km da costa.

Analisando-se os resultados obtidos por SERPA [7], entre 2000 e 2012, observa-se que houve uma redução da taxa de umidade relativa do ar (Figura 12), uma sensível diminuição das taxas de precipitação (Figura 13), enquanto que as taxas de evaporação mantiveram-se constantes (Figura 14). Tais dados configuram condições propícias para o aumento da biomassa.

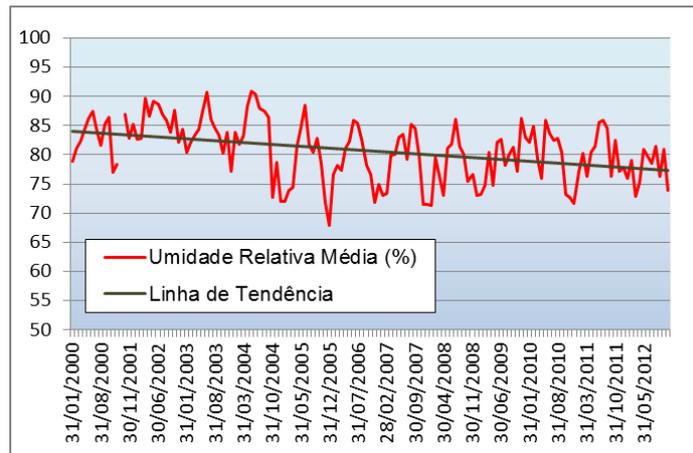


Figura 11: Variação nas taxas de umidade relativa média entre 2000 e 2012. Fonte: Serpa [7].

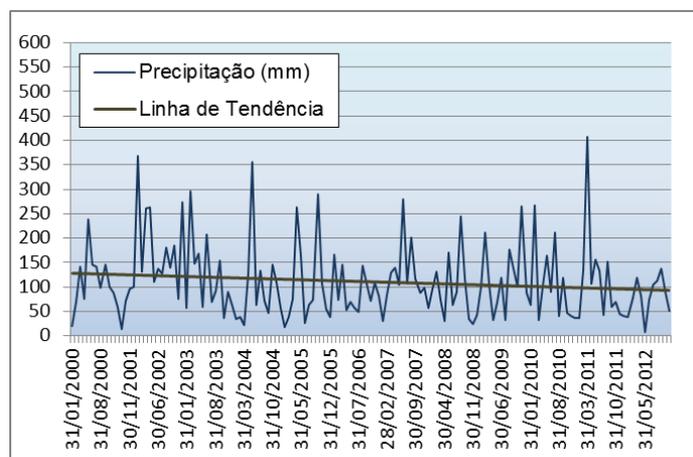


Figura 12: Variação nas taxas de precipitação entre 2000 e 2012. Fonte: Serpa [7].

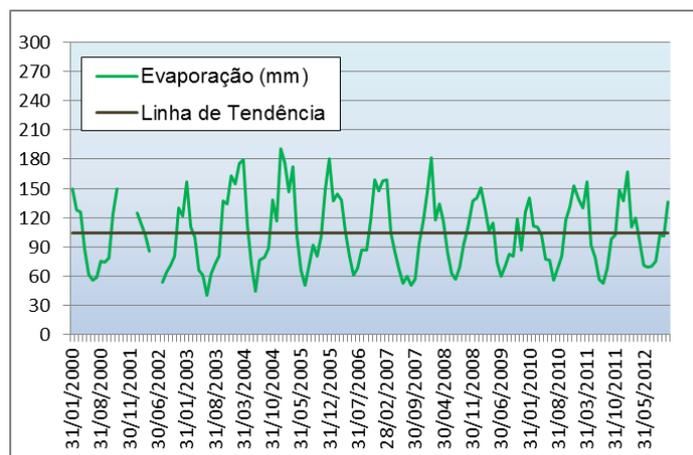


Figura 13: Variação nas taxas de evaporação entre 2000 e 2012. Fonte: Serpa [7].

A partir de dados de intensidade e direção do vento, obtidos junto ao INMET, foram elaboradas rosas dos ventos para a cidade do Rio Grande. As figuras 15, 16, 17 e 18, a seguir, demonstram que houve um aumento na frequência e na intensidade dos ventos leste (E) e uma diminuição na frequência dos ventos nordeste (NE). A mudança no padrão do vento pode estar associada às taxas de avanço da vegetação em direção à costa desse período. No período compreendido entre 2006 e 2009, se observa (Figura 17), uma diminuição considerável nas

taxas e na intensidade dos ventos vindos de E e NE, ao que pode ser atribuída uma alta taxa de progressão da vegetação, que não foi observada nos demais períodos.

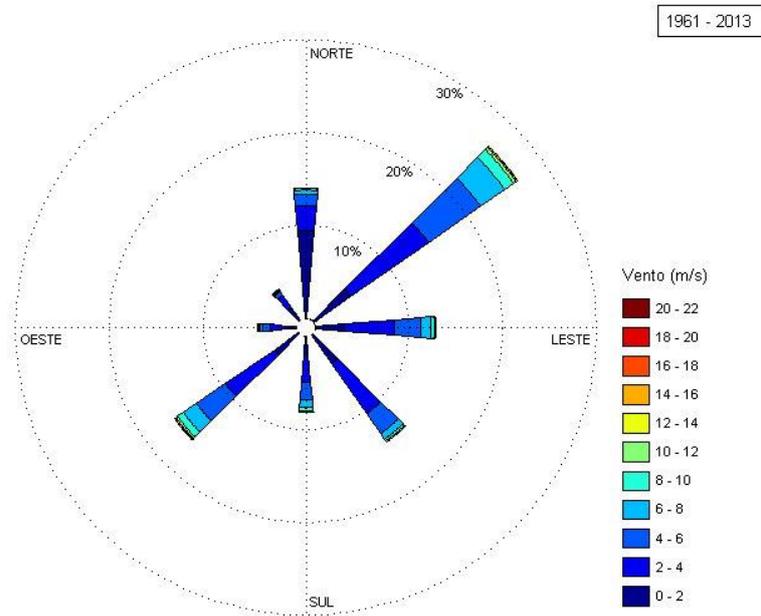


Figura 14: Rosa dos ventos para o período compreendido entre 1961 e 2013 (Dados: INMET).

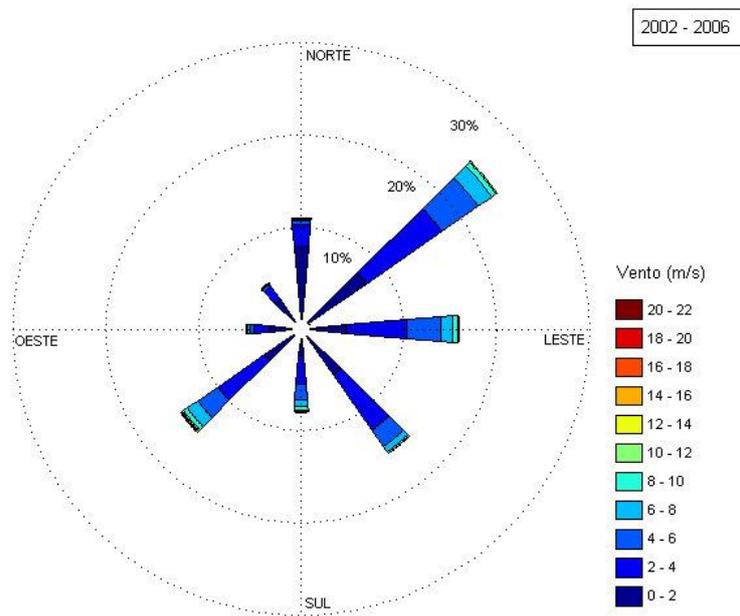


Figura 15: Rosa dos ventos para o período compreendido entre 2002 e 2006 (Dados: INMET).

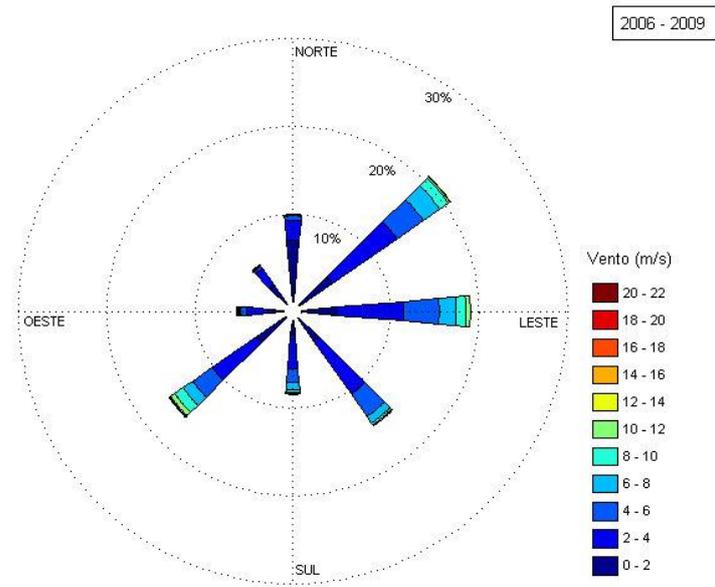


Figura 16: Rosa dos ventos para o período compreendido entre 2006 e 2009 (Dados: INMET).

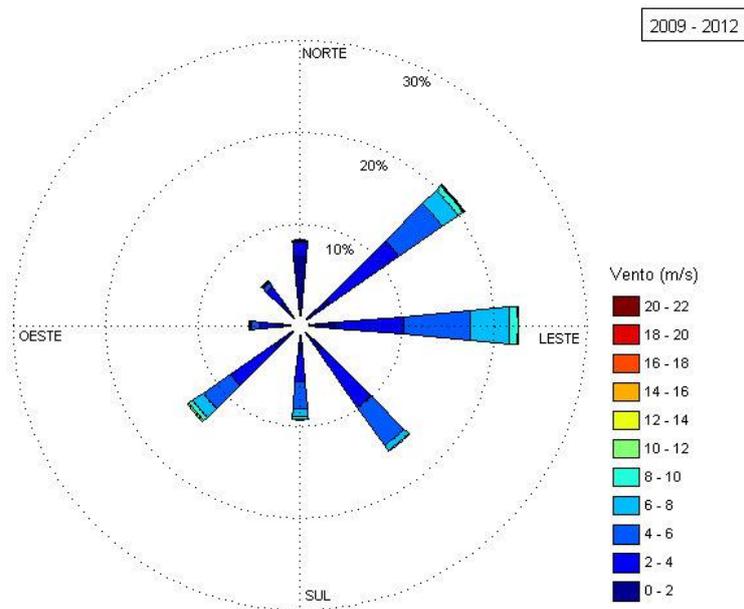


Figura 17: Rosa dos ventos para o período compreendido entre 2009 e 2012 (Dados: INMET).

Jimenez *et al.* [8], estudando as cadeias de dunas barcanas da porção norte do estado do Ceará, encontraram uma relação entre as dimensões das dunas e sua taxa de migração, movida sempre pelo vento vindo do quadrante E. Na praia do Cassino, guardando-se as devidas proporções, a migração também ocorre de acordo com a direção dos ventos predominantes de NE, uma vez que os ventos de sudoeste (SW), menos constantes e associados à ocorrência de tempestades, são menos efetivos no transporte eólico.

Outro fator importante é o plantio de espécies para recuperação das dunas [1], ação do Plano de Manejo de Dunas, promovido pelo Núcleo de Educação e Monitoramento Ambiental

(NEMA) em parceria com outras instituições, que ocorreu no espaço de tempo analisado e, portanto, demonstrou resultados satisfatórios, considerando o aumento da vegetação na localidade.

4. CONCLUSÃO

Ao longo de quarenta e oito anos de observação, a biomassa apresentou avanço em direção à costa, diminuindo assim a área de dunas expostas e o sedimento disponível ao transporte eólico, fato que pode estar relacionado com o aumento das taxas de precipitação e diminuição das taxas de evaporação analisados por Serpa [7], às ações do Plano de Manejo de Dunas promovido pelo NEMA e demais órgãos competentes e, também, à mudança do padrão de regime de ventos observado na região. As maiores taxas de avanço da vegetação foram encontradas no período entre 2006 e 2009 e estão relacionadas com componentes E e NE mais fracas no período.

O avanço da vegetação atuou como fixador do cordão de dunas frontais, diminuindo o volume sedimentar disponível para o transporte eólico.

Ressalta-se que os dados originados através da vetorização da linha de costa não foram avaliados, pois, para tanto, se torna necessário considerar as componentes instantâneas da elevação do nível do mar devido à maré meteorológica e ao “*set-up*” por ondas, que aliadas ao relevo plano e à pente suave da Praia do Cassino poderiam diminuir a acurácia das análises. Recomenda-se para futuros estudos da variação da linha de costa da Praia do Cassino a utilização da posição do cordão de dunas frontais e dos sangradouros como parâmetros de análise.

-
1. Carvalho RV, Silva KG, Gandra TBR, Crivellaro CVL, Gianuca K. Plano de manejo de dunas costeiras do município de Rio Grande. Prefeitura Municipal do Rio Grande. Secretaria Especial do Cassino; 2006. 62p.
 2. Dillenburg S, Hesp P. Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Springer; 2009. 390p.
 3. Villwock J, Martins L. Depósitos lamíticos de pós-praias, Cassino, RS. Pesquisas. 1972; 9: 69-85.
 4. Vieira H, Calliari L, Oliveira G. O estudo do impacto da circulação de veículos motorizados na praia do Cassino através de parâmetros físicos. XVIII Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes; 2004.
 5. Smith M, Cromley R. Measuring historical coastal change using GIS and the change polygon approach. Transactions in GIS; 2012.
 6. Albuquerque M, Espinoza J, Teixeira P, Oliveira A, Corrêa I, Calliari L. Erosion or Coastal Variability: An evaluation of the DSAS and the Change Polygon Methods for the determination of erosive processes on sandy beaches. Journal of Coastal Research. 2013; 65 (SI): 1710-1714.
 7. Serpa CG. Morfodinâmica praias relacionada à presença de corpos de água intermitentes em duas praias da Costa do Rio Grande do Sul, Brasil. Rio Grande, Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande. Tese de Doutorado; 2013. 131p.
 8. Jimenez JA, Maia LP, Serra J, Morais J. Aeolian dune migration along the Ceará coast, north-eastern Brazil. Sedimentology. 1999; 46: 689-701.