

Análise Multitemporal do Campos de Dunas Móveis do Litoral setentrional do Rio Grande do Norte

Filipe Ezequiel da Silva ¹
Venerando Eustáquio Amaro ¹
Maria de Fátima Alves de Matos ¹

¹ Universidade do Rio Grande do Norte – UFRN/Departamento de Geologia –
Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO)
Caixa Postal 1524 - 59078-970 - Natal - RN, Brasil

ezequielevaldo@gmail.com
venerando.amaro@gmail.com
mfatimaalves.m@gmail.com

Abstract: This study used Landsat (TM and OLI) and CBERS-2 / CCD moderate-resolution satellite images, with period between 1989 and 2013, to quantify the planimetric changes of mobile dunes fields of the northern coast of the state of Rio Grande do Norte. Three subareas have been defined to better study these modifications: Subarea I - Casqueira, Subarea II - Diogo Lopes, Subarea II - Mangue Seco. These dunes fields migrate gradually to the continent towards SW, thus the direction of the greater competence wind for aeolian transport is predominantly NE. The parameters to evaluate the areal changes consisted in the simple operation of intersection and subtraction of different dates mapped polygons (layers). In 24 years of observation, there is a gain of 6.2 km² in these dunes fields, causing an increase of 29% of the area. This analysis also showed that despite the resulting stage indicates gain, over the years all subareas have passed by loss stage, at least once.

Keywords: mobile dunes fields, multitemporal analysis, geomorphology, campos de dunas móveis, análise multitemporal, geomorfologia

1. Introdução

Apesar de não apresentar uma clara definição, o termo campo de dunas é costumeiramente utilizado para definir grandes depósitos de areias eólicas com expressivas formas de leito, cuja área não exceda 125km² (Pye e Tsoar, 2009). Giannini et al. (2005) ressalta que os campos de dunas livres costeiros são megaformas individuais de areias em movimento, constituídas de dunas eólicas simples e/ou compostas (cavalgantes ou coalescentes), que migram da praia rumo ao interior, sendo por isso designados campos de dunas transgressivos (*transgressive dunes*). Ainda segundo este autor, há dois fatores que controlam os tipos e as dimensões dos depósitos eólicos costeiros: o estoque de sedimentos disponíveis para o transporte eólico e o regime de ventos.

Este estudo fez uso de imagens de satélites LANDSAT (TM e OLI) e CBERS-2/CCD de resolução moderada no período de 1989 a 2013 com o intuito de quantificar as modificações morfológicas dos campos de dunas móveis da área de interesse. As informações espectrais registradas pelos sistemas de sensores remotos nas diferentes bandas do espectro eletromagnético, quando manipuladas em *softwares* específicos, favoreceram a identificação e o realce dos mais diversos alvos. Esses atributos ganham forte aplicabilidade no campo de monitoramento ambiental, bem como em estudos que envolvem a evolução de ambientes na comparação entre imagens de datas distintas (Amaro et al., 2014; Castro et al., 2011).

1.1. Área de estudo

A área de estudo situa-se no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (RN), entre os municípios de Macau e Guamaré (Figura 1). Segundo Giannini et al. (2005), esta região apresenta uma distribuição bastante peculiar de feições eólicas da costa para o continente, constituindo-se de: dunas barcanas isoladas, cadeias barcanóides e frentes parabólicas transgressivas, associadas a formas parabólicas alinhadas, com 4 a 7km de extensão migrando sobre a planície flúvio-marinha do Rio Açu. É também uma região que hospeda interesses sociais, econômicos e ambientais diversos, dentre eles: a atividade petrolífera, salinas, usinas de energia eólica, carcinicultura, pesca artesanal, agricultura de subsistência.

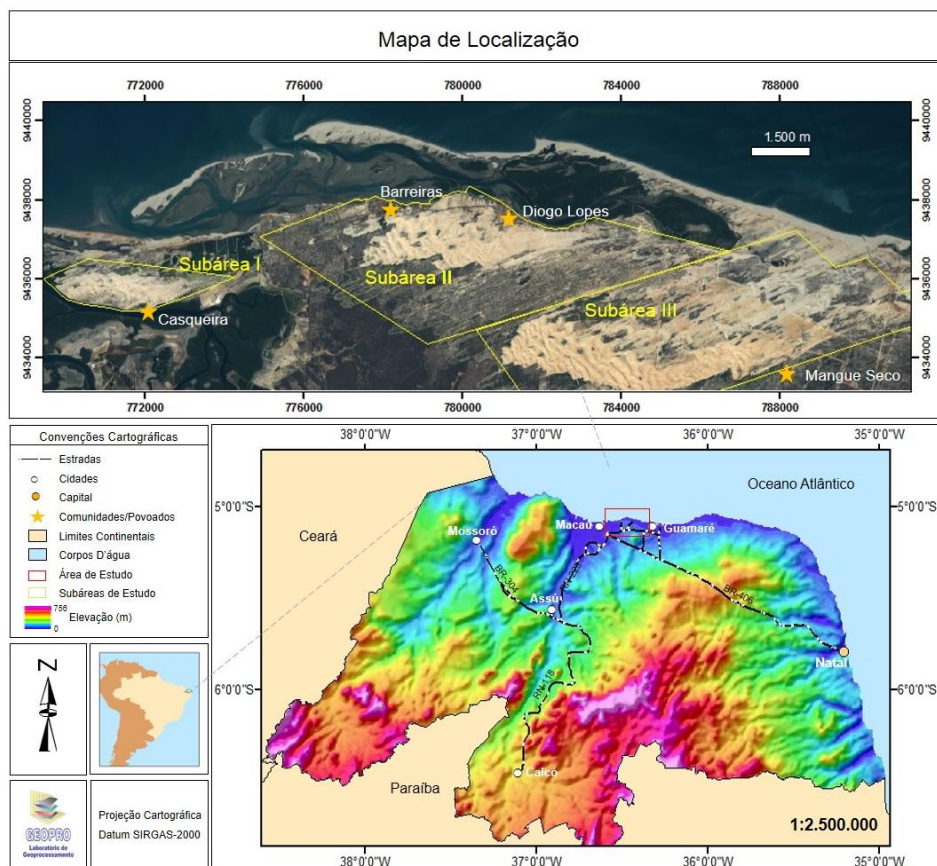


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo

Aspectos Geológicos e Geomofológicos

O contexto geológico no qual se insere é o da Bacia Potiguar, onde o sistema de falhas de Carnaubais (NE-SW) e de Afonso Bezerra (NW-SE) corresponde à principal estrutura controladora da sedimentação da bacia (Souto, 2009). O arcabouço geológico estratigráfico compõem-se das seguintes unidades litológicas, dispostas da base para o topo: Formação Tibau, Formação Barreiras (ambas do Grupo Agulhas – Terciário), e Formação Potengi (Coberturas Supra Barreiras de Moreira, 1994) no Quaternário.

Quanto à compartimentação do relevo, observam-se as seguintes feições geomorfológicas: Dunas Fixas, Planícies Interdunares, Dunas Móveis, Depressões Interdunares, Falésias, Planície Flúvio-Estuarina, Planície de Maré, Barras Arenosas e Ilhas Barreiras (Nascimento, 2009; Rios et al., 2012; Souto, 2009).

As dunas eólicas da área de estudo apresentam aspectos texturais típicos, constituídos de sedimentos da fração areia fina a média, grãos bem arredondados a subarredondados, e

elevado grau de seleção (Nascimento, 2009). A mineralogia desses depósitos é predominantemente quartzosa, embora ocorram grãos de outros minerais e agregados de cimento ferruginoso, retrabalhados da Formação Barreiras sotoposta. Ainda, são identificadas laminações de minerais pesados provenientes da fonte sedimentar praiial adjacente.

2. Metodologia

2.1 Análise Multitemporal do Campo de Dunas

Na análise multitemporal utilizou-se imagens orbitais imageadas em distintas datas distintas (Tabela 1). Foram selecionadas quatro datas de imagens, três delas do sensor LANDSAT 5-TM (1989 e 1998) e LANDSAT 8-OLI (2013), e uma do sensor CBERS-2/CCD (2007), disponíveis no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS 2014) e do acervo do Laboratório de Geoprocessamento (GEOPRO). Assim, efetuou-se o levantamento dos campos de dunas em diferentes datas, onde os intervalos representaram 6, 9 ou 24 anos. Os intervalos estabelecidos foram: 1989-1998, 1998-2007, 2007-2013 (análises decadais) e 1989-2013 (análise de amplitude).

Tabela 1. Especificações dos produtos-imagens de moderada resolução e composições coloridas utilizadas

SATÉLITE/SENSOR	DATA E HORA DO IMAGEAMENTO	ÓRBITA/PONTO	RESOLUÇÃO ESPACIAL	COMPOSIÇÃO (RGB)
LANDSAT 5/TM	02/08/1989 12 h 15 min	215/064	30 m	R3-G2-B1
LANDSAT 5/TM	23/09/1998 12 h 15 min	215/064	30 m	R3-G2-B1
CBERS-2/CCD	02/10/2007 12 h 17 min	148/106	20 m	R3-G2-B4
LANDSAT 8/OLI	15/02/2013 12 h 36 min	215/064	15 m	R3-G2-B1

2.2. Técnicas de PDI

As imagens foram georreferenciadas utilizando o método de correção de polinômio de segunda ordem, sempre com valores de Raiz do Erro Médio Quadrático inferiores a 1. Em seguida, as imagens foram combinadas em sistema de cores em *Red-Green-Blue* (RGB) no *software* ER-Mapper[®] v.7.1 e então submetidas às ajustes de histograma para o realce dos limites dos campos de dunas. As composições coloridas com melhores resultados foram a R3-G2-B1, para as imagens LANDSAT (TM e OLI), e a R3-G2-B4, para as imagens CBERS-2/CCD.

A etapa consecutiva consistiu em trabalhar as imagens no *software* ArcMap[®] v.9.3 (ESRI, 2006) para vetorização dos campos de dunas móveis. Os polígonos foram traçados no limite das cores claras (branco e bege), que equivalem aos campos de dunas móveis, com as demais cores (geralmente cinza e verde). Os polígonos foram separadas em camadas para cada data distinta de imagens, possibilitando numa fase posterior a intersecção entre as mesmas (Castro et al, 2011). A partir dessas intersecções pôde-se analisar as mudanças ocorridas para cada intervalo de tempo, com a caracterização das áreas de perda, ganho e as aqueles setores em que não ocorreu modificação.

Como na área de estudo observou-se três campos de dunas distintos, convencionou-se nesse trabalho três divisões em subáreas nomeadas conforme as localidades circunvizinhas. Deste modo, temos a Subárea I – Casqueira, Subárea II – Diogo Lopes, Subárea II – Mangue Seco. Para cada intervalo temporal foram gerados nove camadas, três para cada uma das três subáreas, pois nos intervalos avaliou-se as porções que se mantiveram sem modificação, as que registraram ganho e as que apresentaram perda.

Em cada intervalo, as áreas sem modificação foram obtidas pela operação de interseção dos camadas correspondentes. As áreas de ganhos, por sua vez, resultam da subtração de cada dada área sem modificação do seu respectivo polígono com data mais recente (limite superior do intervalo). De modo análogo, as áreas de perda são obtidas a partir da subtração de cada dada área sem modificação do seu respectivo polígono com data mais antiga (limite inferior do intervalo).

3. Resultados e discussões

Atualmente, o campo de dunas móveis da área de estudo apresenta cerca de 27,34 km², dos quais 17,39 km² (63,6%) corresponde à subárea de Mangue Seco, 7,64 km² (27,9%) à subárea de Diogo Lopes e 2,31 km² (8,5%) à subárea da Casqueira. A subárea Mangue Seco é a única com conexão direta com a zona praial (praia e pós-praia), de modo que é possível identificar que, ao longo dos anos, há o aporte das células sedimentares que se acumulam na praia do Minhoto gradativamente para este campo de dunas, interiorizando os sedimentos no campo de dunas transgressivas. Atualmente, esta dinâmica natural encontra-se comprometida devido a instalação inadequada de usinas de energia eólica sobre a zona praial e dunas da região (Figura 2).

Sobre a morfologia destes campos de dunas, podemos afirmar que em todas as subáreas ocorrem dunas que progridem para o interior do continente no sentido SW, denotando assim que os ventos que sopram no quadrante NE são os de maior competência no transporte eólico. Quanto à dimensão, a subárea de Mangue Seco é a maior delas com cerca de 8,5 km de comprimento, já a subárea de Diogo Lopes apresenta cerca de 5 km. Curiosamente, a subárea da Casqueira, apesar de exibir tendência migratória similar as demais, apresenta maiores comprimentos na direção EW (3,5 km). O controle na evolução morfológica desta subárea é fortemente exercido pela presença do canal de maré da Casqueira, localmente denominado rio da Casqueira (Figura 2).

Em 24 anos de observação, há resultante positiva de ganho areal nos campos de dunas móveis, deste modo pode-se dizer que de 1989 até 2013 a área de estudo expandiu cerca de 6,2 km², implicando num aumento de 29% de sua área. O cálculo do ganho consiste na relação aritmética simples de variação de área (ΔA), indicada na Equação 1, onde quando ΔA é positivo tem-se que a região sofreu ganho, quando negativo a região sofreu perda.

$$\Delta A = A_f - A_i \quad (1)$$

Onde, A_f equivale à área na data final do levantamento e A_i corresponde à área na data inicial do levantamento.

Apesar do quadro resultante indicar ganho, observa-se que ao longo dos anos, todas as subáreas experimentaram, ao menos uma vez, um quadro de subtração maior que o de ganho. Essa perda consiste na evolução natural dos campos de dunas para planícies interdunares e bacias de deflação. A Tabela 2 mostra essa relação de ganho e subtração das subáreas nos diferentes intervalos de observação.

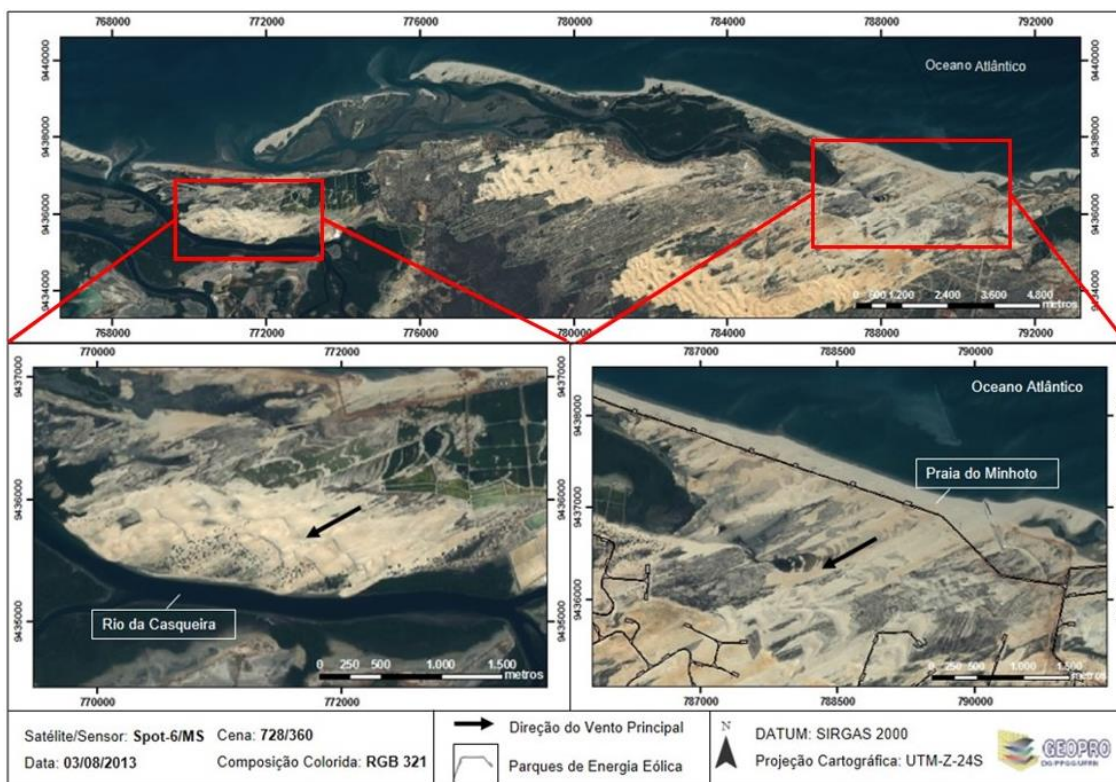


Figura 2. Rio da Casqueira como barreira geográfica ao avanço das dunas eólicas da subárea da Casqueira (inferior esquerdo). Infraestrutura das usinas de energia eólica dificulta a transgressão dos sedimentos praias do Minhoto para a subárea de Mangue Seco.

Tabela 2. Área dos campos de dunas móveis nos diferentes anos do levantamento, bem como relação de ganho e subtração dessas subáreas nos intervalos estabelecidos.

Campos de dunas móveis - litoral setentrional do RN				
Ano/Período	Casqueira (km ²)	Diogo Lopes (km ²)	Mangue Seco (km ²)	Total (km ²)
1989	1,62	6,27	13,25	21,14
1998	2,83	6,71	15,38	24,92
2007	2,26	8,62	15,26	26,14
2013	2,31	7,64	17,39	27,34
1989-1998	1,21	0,44	2,13	3,78
1998-2007	-0,57	1,91	-0,12	1,22
2007-2013	0,05	-0,98	2,13	1,20
1989-2013	0,69	1,37	4,14	6,20

A subtração na área do campo de dunas é observada de maneira evidente no período de 1998-2007, para as subáreas de Mangue Seco e Casqueira, e entre 2007-2013 para a subárea de Diogo Lopes. Esses dados, contudo, não são ainda suficientes para esclarecer as hipóteses sobre a evolução da área nesses períodos.

Observou-se ainda que de 1989 a 2013, os campos de dunas experimentaram perda de aproximadamente 10,5 km², contudo, apenas 49,5% deste total (5,2 km²) ganharam estabilidade, ou seja, não tornou a ser reocupada por dunas. As áreas de ganho dos campos

de dunas totalizaram 16,25 km² e destes 63,1% (10,26 km²) mantiveram-se estáveis até o fim da data de observação.

Essa avaliação também permitiu espacializar as áreas onde predominam os ganhos e as perdas. Como já era plausível, as maiores perdas concentraram-se no principal barlavento destes campos de dunas (a NE), ao passo que os maiores ganhos concentram-se no seu principal sotavento (a SW) (Figura 4)

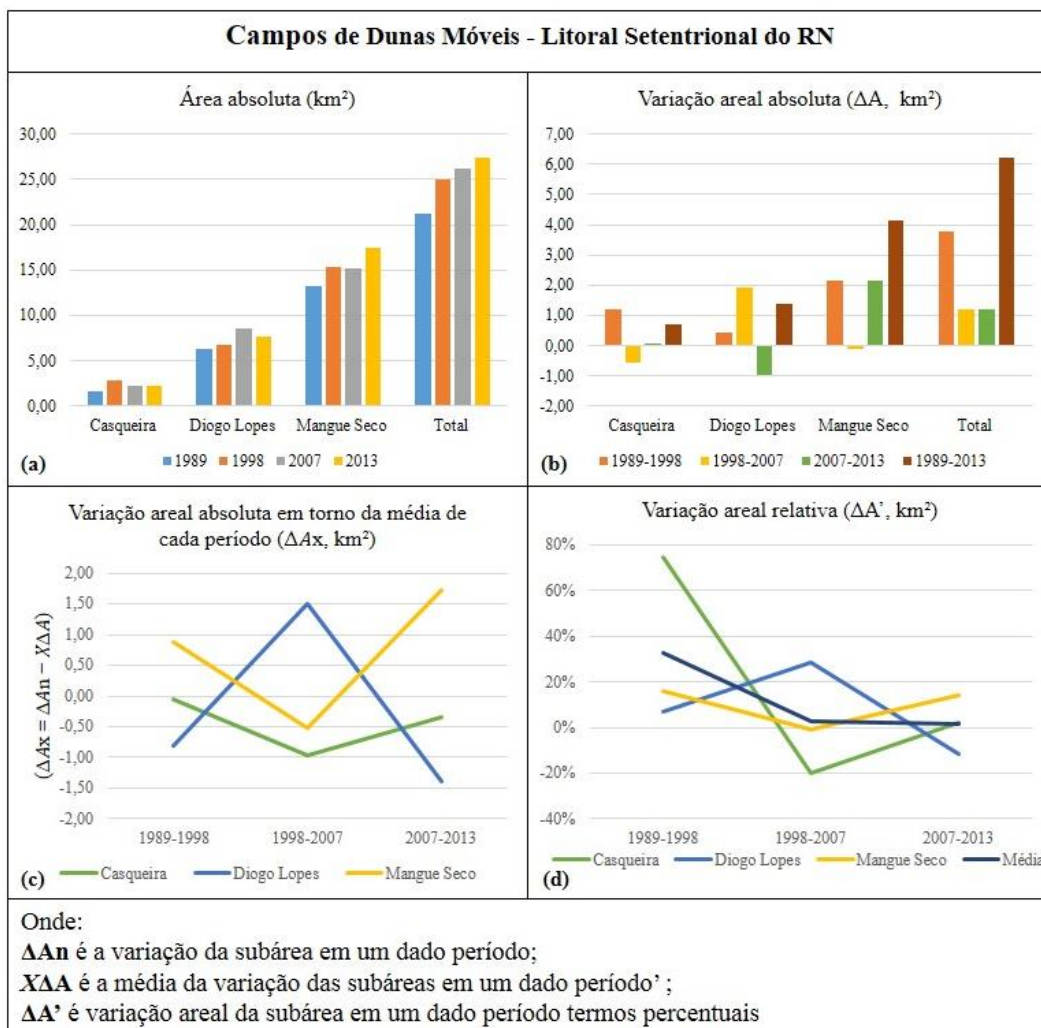


Figura 3: Campo de dunas móveis do litoral setentrional do RN: (a) Área absoluta; (b) Variação areal absoluta ($\Delta A = A_f - A_i$); (c) Variação areal absoluta em torno da média ($\Delta Ax = \Delta An - \bar{X}\Delta A_j$); (d) Variação areal relativa absoluta ($\Delta A' = 100 \cdot (A_f - A_i) / A_i$);

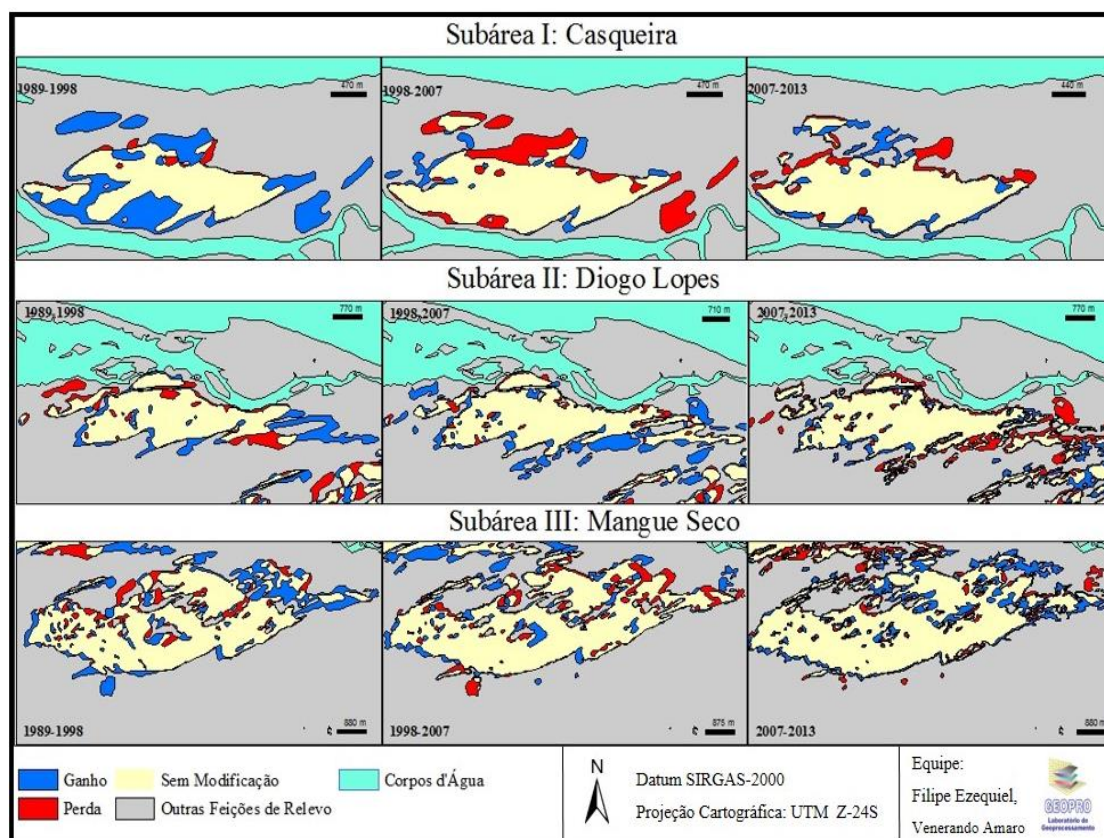


Figura 4. Espacialização das regiões de ganho, perda e sem modificação das subáreas de estudo.

4. Considerações Finais

Durante os 24 anos de observação, pode-se afirmar que as dunas eólicas do litoral setentrional do RN são megaformas em constante processo de expansão rumo ao continente, muito embora ocorram episódios de perda areal ao longo desse período. A ocorrência simultânea de perdas em uma dada subárea e de ganhos em outras apresentase como o maior responsável pela manutenção do quadro de expansão. Essas informações, contudo, ainda insuficientes para estabelecer a compreensão definitiva das causas das modificações ocorridas, o que definiria a evolução da área de estudo.

Estudos futuros devem acompanhar essa evolução em diferentes escalas temporais, longo e curto prazo, de modo a integrar com os dados meteorológicos, observando-se os efeitos da sazonalidade e de eventos climáticos regionais e globais sobre o padrão evolutivo dessas megaformas.

O estudo dos efeitos do aprisionamento das células sedimentares pela instalação das usinas de energia eólicas, sobretudo para a subárea de Mangue Seco, é imprescindível, uma vez que o cerceamento do aporte sedimentar acarretará problemas futuros para a manutenção do equilíbrio dos os ecossistemas ali estruturados.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado com recursos da Rede Cooperativa Norte-Nordeste de Pesquisa em “Monitoramento Ambiental de Áreas sob a Influência da Indústria Petrolífera” - REDE 05 - PETROMAR (CTPETRO – FINEP/PETROBRAS/CNPq), no subprojeto CRONALOG.

Referências Bibliográficas

- AMARO, V. E. ; SANTOS, M. S. T. ; SOUTO, Michael Vandesteem Silva . Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Costeiro: Sensoriamento Remoto e Geodésia de Precisão. 1. ed. NATAL: , 2012. v. 1. 118p.
- AMARO, V. E. ; GOMES, L. R. S. ; LIMA, F. G. F. ; SCUDELARI, A. C. ; NEVES, C. F. ; BUSMAN, D. V. ; SANTOS, A. L. S. . Multitemporal Analysis of Coastal Erosion Based on Multisource Satellite Images, Ponta Negra Beach, Natal City, Northeastern Brazil. *Marine Geodesy JCR*, v. 00, p. 01-25, 2014.
- ARAÚJO, V.D. Caracterização Geológica Tridimensional e Monitoramento de Dunas no Litoral Oriental do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG), UFRN. Natal, RN, dezembro de 2006.
- CASTRO, A. F. ; AMARO, V. E. ; SOUTO, M.V.S. ; GRIGIO, A. M. ; FREITAS, C.C.M. . Modeling and development of a computational system for evaluation of the coastal dynamics of Macau area, Rio Grande do Norte State, Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 1, p. 1648-1652, 2011
- FRANCO, C. G. M. ; AMARO, V. E. ; SOUTO, M. V. S. . Prognóstico da erosão costeira no litoral setentrional no Rio Grande do Norte para os anos de 2020, 2030 e 2040. *Revista de Geologia (Fortaleza)*, v. 25, p. 37-37, 2012.
- GIANNINI, P.C.F. ; ASSINE, M.L. ; BARBOSA, L.M. ; BARRETO, A.M.F.; CARVALHO, A.M. ; CLAUDINO-SALES,V. ;MAIA, L.P. ; MARTINHO, C.T; PEULVAST,J-P.;SAWAKUCHI, A.O; TOMAZELLI, L.J. Dunas e Paleodunas Eólicas Costeiras e Interiores. *Quaternário do Brasil*. Holos, Editora. Ribeirão Preto, 2005. 235-257
- FERNANDES, L.R.; AMARAL, R.F. Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis. *Revista da Gestão Costeira Integrada*. Portugal, 2013
- FERREIRA, A.T.S. Geoprocessamento de dados meteo-oceanográficos (cor do oceano e temperatura da superfície do mar) aplicado ao monitoramento ambiental na costa setentrional do Rio Grande do Norte. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG), UFRN. Natal, RN, setembro de 2009, p. 6-7.
- LIMA, F.G.F. Análise Geoestatística de Modelos Digitais de Elevação e Avaliação Multitemporal da Dinâmica Costeira nas Áreas dos Campos de Exploração de Petróleo de Serra-Macau, Bacia Potiguar. Relatório de Graduação, UFRN. Natal-RN, 2013.
- MUEHE, D. 2005. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, ano 04, número 07, 2005.
- NASCIMENTO, M.C. 2009. A erosão costeira e sua influência sobre a atividade petrolífera: alternativas sustentáveis na mitigação de impactos ambientais. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG), UFRN. Natal, RN, agosto de 2009, p. 1-39.
- PYE, K. ; TSOAR. H. *Eolian Sand and Sand Dunes*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlin, 2009
- RIOS, V.P.L. ; AMARO, V.E. Caracterização dos depósitos sedimentares Holocênicos no sistema de ilhas barreiras do estuário diogo Lopes, litoral setentrional do rio Grande do Norte. *Revista de Geologia (Fortaleza)*, v. 25, p. 55-69, 2012.
- SOUZA, C. R. G. (Org.) ; SUGUIO, K. (Org.) ; OLIVEIRA, P. E. (Org.) ; Oliveira, A. M. S. dos (Org.) . *Quaternário do Brasil*. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos Editora Ltda, 2005. v. 01. 378p .
- SOUTO, M.V.S. 2009. Análise da evolução costeira do litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte, região sob influência da indústria petrolífera. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica – PPGG), UFRN. Natal, RN, outubro 2009, p. 7-18