

Paisagem costeira do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte (Brasil): evolução temporal e padrões espaciais dos campos de dunas móveis *

Coastal landscape of Rio Grande do Norte (Brazil) eastern coast: temporal evolution and special patterns of the mobile dune fields

Lucyanno dos Reis Fernandes ^{®, 1}, Ricardo Farias do Amaral ²

RESUMO

Este estudo apresenta os resultados de uma pesquisa desenvolvida na região costeira entre os municípios de Maxaranguape e Touros, especificamente nos campos de dunas móveis do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte. Zonas costeiras, ainda que ocupem uma área pequena em relação ao total da superfície terrestre, concentram grande parte da população no mundo. No Rio Grande do Norte, o mosaico da paisagem costeira que compõe os campos de dunas móveis sugere um cenário dinâmico de mudanças nos arranjos espaciais e temporais, com alterações significativas na geometria da cobertura sedimentar superficial. Dunas podem ser descritas como acumulações de sedimentos movidos pela força e competência do vento. Elas atuam como uma barreira natural para ondas altas e ventos fortes, além de ter papel fundamental no constante fornecimento de sedimentos para a praia. Nesta perspectiva este artigo tem como objetivo, cartografar a zona costeira emersa referente ao litoral oriental do Rio Grande do Norte, sob o ponto de vista da evolução espaço-temporal dos campos de dunas móveis, por meio de técnicas de geoprocessamento, aí incluídos sensoriamento remoto, processamento de imagens digitais e sistemas de informações geográficas (SIG). Apesar das peculiaridades em função de gênese e forma, admite-se no presente estudo, que todas as diversas terminologias usadas para classificar os inúmeros depósitos eólicos em movimento devem ser apreciadas na categoria única: duna móvel. Isto porque, para o objetivo geral proposto condicionado ao mapeamento temático, estas dunas ainda sustentam uma dinâmica temporal e espacial significativa. A metodologia implica na seleção, aquisição e processamento dos produtos de sensores remotos; na atualização do mapa geológico; seleção das áreas piloto; na classificação supervisionada das áreas piloto, na determinação das superfícies não vegetadas das dunas e na quantificação das alterações multi-temporais. Aplicar o sensoriamento remoto em análises temporais implica em obter informação sobre a evolução de um alvo sem necessariamente estar em contato físico direto com ele. Neste contexto, os produtos imagem *Landsat TM/ETM+* usados no trabalho seguramente foram aplicados para monitorar e medir importantes atividades costeiras sobre a superfície do planeta. Os resultados implicam na edição das cartas temáticas: mapa litológico; mapa da evolução multitemporal dos campos de dunas móveis; mapa da quantificação das diferenças dos campos de dunas móveis. Episódios do *El Niño* que afetam diretamente a circulação atmosférica, potencializando o aporte sedimentar para as dunas de areia, podem justificar relativo aumento de área entre 1993 e 2001. A dinâmica das transições na paisagem foram superiores a estabilidade dos padrões espaciais dunas, de tal forma que os campos de dunas do litoral oriental do Rio Grande do Norte, e principalmente as dunas móveis de Touros, Zumbi e Maracajaú apresentaram redução da área de cobertura sedimentar desprovida de vegetação entre 1988 e 2007.

* - Corresponding author: lrfc.fernandes@gmail.com

1 - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG) e Laboratório de Estudos Geoambientais (LEGEO), CEP 59072-970, Natal, RN, Brasil

2 - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Geologia e Laboratório de Estudos Geoambientais (LEGEO), CEP 59072-970, Natal, RN, Brasil

Por fim, as técnicas e dados levantados, eventualmente, podem ser aplicados ao monitoramento de campos de dunas móveis visando à conservação e a manutenção dos ecossistemas dunares dispostos ao longo de toda costa do Rio Grande do Norte.

Palavras-chave: campos dunares, sensoriamento remoto, evolução espaço-temporal e padrões de paisagem.

ABSTRACT

This study presents the results of a research carried out on the mobile dune fields in the littoral zone between the municipalities of Maxaranguape and Touros, state of the Rio Grande do Norte, northeastern Brazil. The littoral zones occupy a small area in relation to the whole earth surface; however they concentrate a large amount of world population. The study has as an objective, to map the emerged coastal zone on the eastern coast of Rio Grande do Norte, and mainly the space-time evolution of mobile dune fields, using geoprocessing techniques, including remote sensing, digital images processing, and geographic information services. In the study area, the coastal landscape of the mobile dune fields suggest a dynamic scene of spatial and temporal changes, with significant changes on the geometry of the surface sedimentary cover. The dunes act as natural barriers for the flow of sediments to the continent. The occurrence of mobile dune fields is a visible manifestation of a coastal ecosystem highly dynamic on space and time that hosts several endemic species. The methodology of our study consisted of the selection, acquisition, and processing of remote sensing imagery; update of the geological map; selection of pilot areas; supervised classification of pilot areas; and determination of dunes surfaces without vegetation and quantification of space-time changes. The results include a lithological map, map of mobile dune fields multitemporal evolution, and map of quantification of differences between mobile dune fields. The dynamic of transitions in the landscape were superior to the stability of dunes space standards, in such a way that the dune fields from the eastern coast of Rio Grande do Norte, and specially the mobile dunes of fields of Touros, Zumbi and Maracajáu, had a decrease in the sedimentary cover deprived of vegetation between 1988 and 2007. Episodes of El Niño that affect directly the atmospheric circulation, potentiating the sedimentary input for the sand dunes, may justify a relative increase of the non-vegetated area between 1993 and 2001. The results took in consideration that the comparison of images in different time and scales may show patterns, processes and properties of the dune system. Thus, it was possible to describe the dynamic of mobile dunes fields, interactions among features inside the landscape, and how those patterns and interactions changed over time. The use of multispectral images from Landsat 5TM and 7ETM+ family was efficient for mapping the dune fields at a 1:50.000 scale. The interpretation of images and the fieldwork confirms that the aeolian deposits are still active, and the class of surfaces without vegetation used to analyze the movement of dune fields showed to be an adequate indicator. The evolution scene indicates gradual reduction of surface without vegetation, but also, a slowdown on this process, not discarding a cyclic behavior of decennial magnitude. However, this behavior is not only associated with natural processes, such as those related to recovery of areas with vegetation, but also due to action of man, occupying and modifying spaces. This research emphasizes the need of management strategies to support the structure and operation of the foredunes and dune fields that are still actively migrating inland, where decision making about keeping a balance among environmental and sociocultural requirements allows the landscape maintenance. Finally, the techniques and data collected, eventually, may be applied to monitor the fields of mobile dunes for conservation and maintenance of dune ecosystems disposed along the whole coast of the state of Rio Grande do Norte.

Keywords: dune fields, remote sensing, time-space evolution and landscape patterns.

1. INTRODUÇÃO

As regiões costeiras que têm como uma das funções unir a terra e o mar, mesmo ocupando uma pequena área em relação a superfície terrestre, agrupam uma grande parcela da população mundial. Considerando América do Sul, América Central e América do Norte, a linha de costa é praticamente continua de um polo a outro. São regiões atrativas do ponto de vista geológico, biológico, econômico e social. Em todo planeta, a diversificada paisagem natural “desenhada” pelas praias, dunas, paredões de falésias e corais, explicam a demanda e forte ocupação das zonas costeiras. O litoral brasileiro com 8,5 mil quilômetros de costa, desde Chuí/RS com suas dunas até as planícies costeiras vegetadas por mangue de Bragança/PA, proporciona ao país inúmeros benefícios econômicos vinculados à fonte de renda e emprego para construção civil, gastronomia, lazer, pesca, entre outros (Giannini *et al.*, 2005; Hazin, 2010).

Na perspectiva de monitoramento das dunas, o ambiente estudado se caracteriza pelas constantes mudanças no tempo e no espaço, isso implica diretamente na presença de grande diversidade de feições geológicas, geomorfológicas e abundância de paisagens naturais. Técnicas de sensoriamento remoto são comumente utilizadas para este tipo de pesquisa.

O mapeamento do deslocamento das dunas torna-se viável pela comparação de imagens coletadas em séries temporais, viabilizando com isso o reconhecimento dos padrões espaciais apresentados no tempo e no espaço (escala definida), além da quantificação das alterações encontradas (Florenzano, 2008).

A noção exata da distribuição e da área ocupada por uma duna, pela vegetação natural, por áreas urbanas, pela agricultura ou pelo solo exposto, bem como informações sobre a dimensão de suas mudanças, se tornam cada vez mais necessárias aos tomadores de decisões a nível municipal, estadual e federal. Existe uma crescente busca pelas atualizações dos registros de uso do solo a fim de avaliar perspectivas futuras em relação às possíveis mudanças. Dentro do contexto, as ferramentas de geoprocessamento permitem em pequeno espaço de tempo obter diversas informações temporais, espaciais e espectrais de uma região geográfica.

Sendo assim, campos de duna móvel, sucintamente, podem ser entendidos como acumulações de sedimentos movidos pela força e competência do vento. Apesar das peculiaridades em função de gênese e forma, admite-se no presente estudo, que todas as diversas terminologias usadas para classificar os inúmeros depósitos eólicos devem ser

apreciadas na categoria única: campo de duna móvel. Isto porque, para o objetivo geral proposto condicionado ao mapeamento temático, as dunas ainda sustentam uma dinâmica temporal e espacial significativa.

Enfim, o que importa nesta pesquisa em termos conceituais é que estas acumulações de sedimentos são dunas móveis ativas que provavelmente continuam migrando.

Com base na análise de imagens de satélite, o estudo da evolução temporal dos campos de dunas móveis surge como mais uma ferramenta para discernir as modificações impostas ao meio ambiente. Onde a conservação e preservação dos campos de dunas passam diretamente pelo entendimento de como esses ecossistemas naturais tão sensíveis, evoluem ao longo de certo intervalo temporal e espacial. Outro fator importante está associado à redução de custo com mapeamento, o somatório das técnicas de processamento de imagens com esforço de campo acelera a detecção de mudanças ambientais e geológicas (Florenzano, 2008).

Desta forma, nota-se a importância de viabilizar estudos e disseminar pesquisas na perspectiva de verificar o que está acontecendo com o uso e ocupação do solo contemporâneo,

sob o ponto de vista da manutenção da qualidade dos serviços ambientais e benefícios econômico-sociais que as dunas prestam à futura e atual geração. Neste sentido os objetivos deste trabalho foram: cartografar a zona costeira emersa do litoral oriental do Rio Grande do Norte, sob ponto de vista da evolução espaço-temporal dos campos de dunas móveis, por meio de técnicas de geoprocessamento, aí incluídos sensoriamento remoto, processamento de imagens digitais e sistemas de informações geográficas (SIG). Os objetivos específicos foram: adquirir, analisar e interpretar produtos de sensores remotos contidos nos limites da Folha Touros para identificar, comparar e quantificar a evolução espaço-temporal dos campos de dunas móveis em 19 anos (1988 a 2007).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização da área de estudo

A área estudada encontra-se localizada no nordeste oriental do estado do Rio Grande do Norte (Figura 1). É limitada pelas coordenadas: latitude 5°07' - 5°30'S e

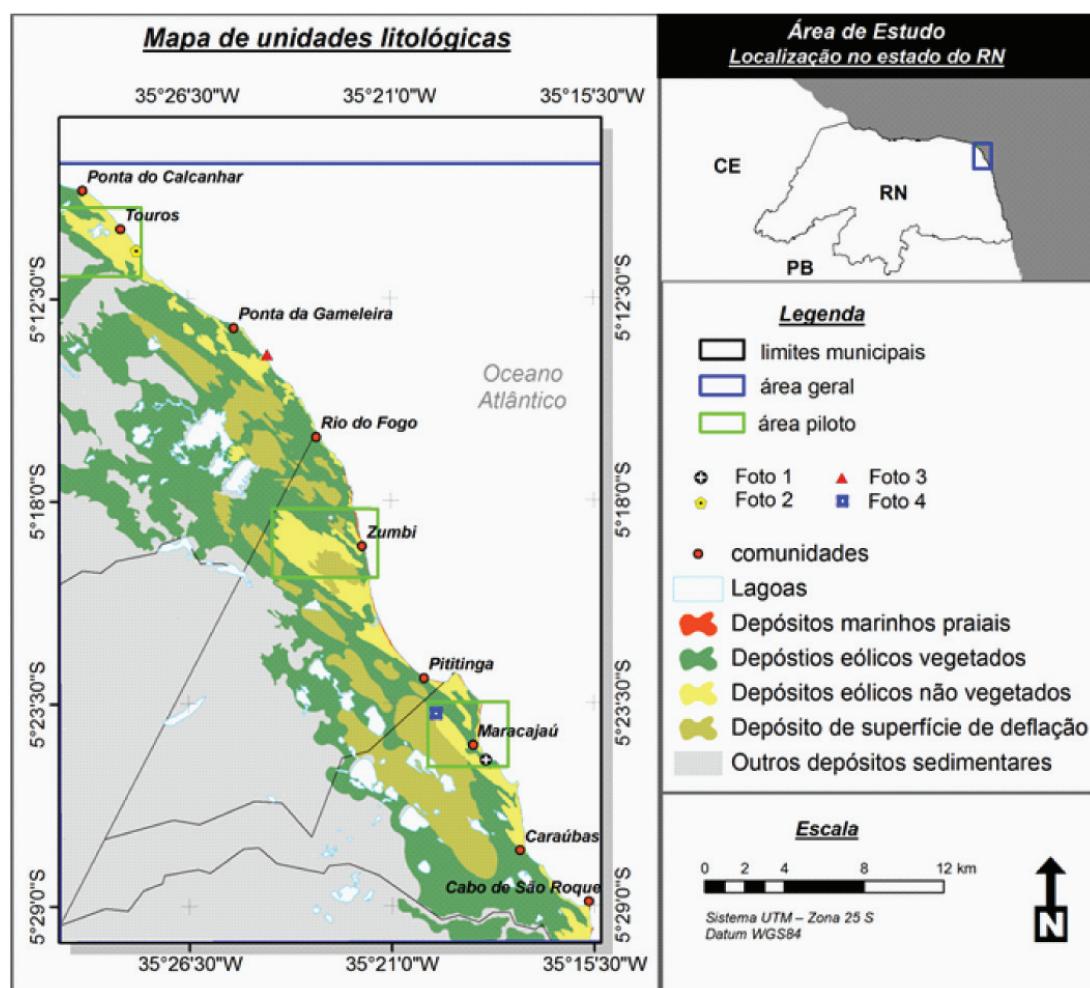


Figura 1. Área de estudo: mapa geológico salientando as três áreas piloto na porção nordeste do Rio Grande do Norte, os depósitos recentes e os municípios próximos. (fonte do mapa: Fernandes, 2011). Foto 1, Foto 2, Foto 3 e Foto 4, indicam as posições de aquisição das respectivas fotos.

Figure 1. Study area: geological map highlighting the three pilot areas in northeastern Rio Grande do Norte, the recent deposits and the nearby cities. (source of map: Fernandes, 2011). Photo 1, Photo 2, Photo 3 and Photo 4, indicate the positions of acquisition of their photos.

longitude 35°15' - 35°30'W, correspondente aos limites continentais da Carta SB.25-V-C-II (Folha Touros). Trata-se de uma área com paisagem bastante dinâmica, como será visto. Três áreas pilotos foram recortadas dentro da área geral, tendo sido selecionadas no litoral, em função da presença de grandes campos de dunas móveis e de importantes manchas urbanas, os povoados de Touros, Zumbi e Maracajaú.

2.2. Metodologia

Do ponto de vista metodológico, foi elaborado um mapa geológico na escala 1:100.000 e a partir da análise visual deste mapa foram selecionadas as áreas piloto, que correspondem a campos de dunas móveis mais claramente identificados. A partir do método de classificação supervisionada, de imagens orbitais, foram criados mapas das superfícies não vegetadas destes campos de dunas, que mostram sua evolução temporal entre 1988 e 2007. Foram também criados mapas das alterações geométricas multitemporais dos campos de dunas móveis no mesmo período, todos originalmente em escala 1:50.000.

Foi escolhida a feição “superfície não vegetada” por apresentar uma série de atributos de textura, geometria e tonalidade características, facilmente identificáveis na paisagem e na análise dos produtos de sensoriamento remoto. Além do mais, seu comportamento variável no tempo, foi utilizado como marcador da movimentação dos campos de dunas.

Além do levantamento e estudo bibliográfico e cartográfico, os procedimentos metodológicos nesta etapa podem ser resumidos da seguinte forma:

1. Seleção, aquisição e processamento dos produtos de sensores remotos (foram utilizadas cenas do sistema *Landsat 5 e 7*);
2. Atualização do mapa geológico da Folha Touros em escala 1:100.000;
3. Seleção das áreas piloto para mapeamento em escala 1:50.000;
4. Classificação supervisionada das áreas piloto, com determinação das superfícies não vegetadas das dunas móveis entre 1988 e 2007;
5. Quantificação das alterações multi-temporais nas imagens classificadas (1988/2007).

2.2.1. Seleção dos produtos de sensoriamento remoto

Com base nos objetivos pretendidos decidiu-se pela utilização das imagens orbitais geradas pelo sistema *Landsat*. A seleção das cenas utilizadas obedeceu aos seguintes critérios: menor porcentagem de cobertura de nuvens; visualização de todos os campos de dunas costeiras presentes na área de estudo.

Para analisar a evolução multitemporal das dunas foram selecionadas quatro cenas de imagens orbitais da série *Landsat* (órbita/ponto 214/64). Três do sistema *Landsat 5/TM* (1988, 1993 e 2007) e uma do sistema *Landsat 7/ETM+* (2001). (Tabela 1). Estas cenas foram obtidas gratuitamente no portal eletrônico do Instituto de Pesquisas Espaciais.

Tabela 1. Produtos de sensores remotos utilizados com os respectivos intervalos em anos. Referências espaciais: Coordenadas UTM – Zona 25 S - Datum WGS84. Órbita/ponto da imagem: 314/64

Table 1. Products used for remote sensing in the respective intervals in years. Spatial references: Coordinates UTM - Zone 25 S - WGS84 Datum. Path / row image: 314/64

Plataforma orbital/ sensor	LANDSAT 5/TM	LANDSAT 5/TM	LANDSAT 7/RTM+	LANDSAT 5/TM
Data de aquisição	05/06/1988	05/07/1993	04/08/2001	29/08/2007
Diferença (em anos)	0	5	8	6
Diferença acumulada	0	5	13	19

2.2.2. Processamento Digital de Imagens (PDI)

Pré-processamento

O pré-processamento envolve procedimentos e técnicas de geoprocessamento que preparam e corrigem os produtos de sensoriamento remoto antes que novos dados possam ser gerados ou obtidos pela análise das imagens.

Geralmente, as imagens adquiridas apresentam sutis incompatibilidades entre sistemas de projeção. A espacialização, sobreposição e comparação dos dados são distorcidas quando essas correções são desconsideradas. A etapa de retificação geométrica é relevante para corrigir distorções e eliminar erros devido a passagem do satélite e curvatura da Terra. A correção geométrica foi feita usando como referência cartográfica, mapas vetoriais do IBGE¹ em escala 1:25.000 e pontos de controle levantados em campo.

As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do sensor *Landsat 5 TM* e 7 *ETM+* passaram pelo processo de fusão produzindo um único arquivo “multilayer” (.ers). O objetivo deste pré-processamento foi facilitar a manipulação das bandas durante os testes com as combinações coloridas e permitir a análise de parâmetros estatísticos da correlação entre as bandas do sensor *ETM+*. Este procedimento foi realizado no aplicativo ErMapper 7.0.

Processamento

O processamento das imagens foi aplicado na área da Folha Touros (Figura 1) e visou auxiliar a análise visual na elaboração do mapa geológico, bem como ressaltar os campos de dunas. As técnicas utilizadas foram a análise por Principais Componentes (PCs), a composição de bandas e a filtragem digital.

1 - disponíveis no portal eletrônico do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#MAPAS

2.2.3. Análise por Principais Componentes (PCs)

Para destacar e visualizar diferentes feições ou estruturas na imagem foram combinadas bandas com baixas correlações entre si, pois o grau de semelhança entre elas é menor, sendo assim, diferenças de estruturas na imagem foram evidenciadas.

Avaliar as imagens através das PCs implica em identificar diferenças entre as unidades da paisagem ou realçar um alvo individualmente. Os produtos imagens PCs podem ser entendidos como novas imagens geradas a partir da separação máxima do contraste das bandas. Onde de acordo com o número de bandas, a primeira imagem gerada (PC1) possuiu a maior variedade de dados, é composta por informações de todas as bandas consecutivas.

Esta heterogeneidade de informações diminui na formação das PCs seguintes. De forma que existe um gradiente que varia da PC com maior diversidade de feições para a menor variedade de informações. As figuras 2A e 2B, (texto retirado) apresentam duas imagens resultantes deste processamento. Este estudo auxiliou na diferenciação das feições geológicas e identificação e realce dos limites espaciais dos campos de dunas móveis e frontais.

2.2.4. Composição de bandas

Organizar tripletes formando composições significa inserir a cor em imagens que anteriormente eram percebidas apenas em tons de cinza, além de agregar informações das bandas específicas do espectro eletromagnético. Dos sensores utilizados, esta técnica facilita a análise visual, pois o sistema visual humano é mais sensível a variações de cor.

Dentre algumas composições de banda estudadas aquelas que apresentaram melhor resultado foram a RGB 321 e 521. A composição RGB 321, onde a banda 3 foi inserida no canal do vermelho (*Red*), a 2 no canal do verde (*Green*), e a 1 no canal do azul (*Blue*), permitiu diferenciar mais claramente a área dos campos de dunas móveis do restante das feições superficiais. A composição RGB 521 teve como propósito realçar a visualização das dunas, da rede de drenagem dos rios, e a vegetação verde que acompanha os leitos dos mesmos. Assim, a banda quatro realçou as feições geomorfológicas, pedológicas e geológicas, como também, apresentou boa resposta espectral para a vegetação.

Composição de bandas no espaço HSI foi testada com o intuito de extrair informações associadas às propriedades da cor (*hue*), saturação (*saturation*) e intensidade (*intensity*).

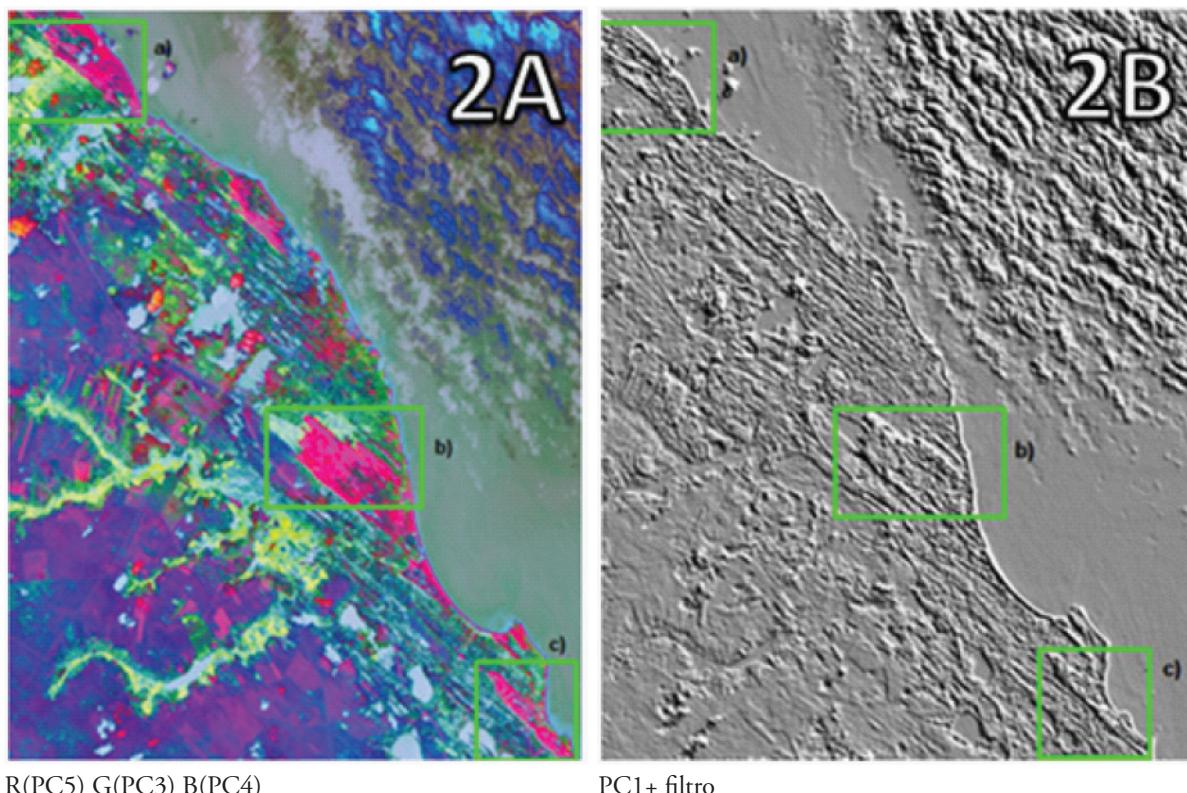


Figura 2A. Composição colorida R (PC5) G (PC3) B (PC4). Destacada pela cor rosa, área da superfície não vegetada realçada a partir do PDI. Figura 2B. Produto imagem PC1+ filtro *Kernnel Sunangle 3x3 (N-E)*, onde é ressaltado o relevo em função do sombreamento gerado pelo filtro. Respectivamente, os polígonos verdes a), b) e c) representam os limites dos campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú. Ambas as imagens sob dados do *Landsat 7ETM+*.

Figure 2A. Color composition R (PC5) G (PC3) B (PC4). Highlighted by pink, vegetated surface area not highlighted from the PDI. Figure 2B. Product image filter *Kernnel Sunangle PC1 + 3x3 (NE)*, which is emphasized the importance of the shading function generated by the filter. Respectively, the green polygons a), b) and c) represent the boundaries of the fields of dunes Touros, Zumbi and Maracajaú. Both images in data *Landsat 7ETM +*.

Nessa etapa, o sistema HSI permitiu identificar com maior clareza aspectos geomorfológicos das dunas livres tais como: contato da duna livre com a duna vegetada; detalhes de sombreamento; presença de sedimentos arenosos localizados nas bacias de deflação, o que facilitou a classificação das categorias de dunas a partir de sua forma nos moldes de Florenzano (2008).

A figura 2B, apresenta imagem processada após aplicação do filtro. Vale salientar que o aproveitamento dos filtros resultou eficazmente no reconhecimento dos limites topológicos. O procedimento implicou na produção de um sombreamento causado pela “iluminação” da imagem no sentido nordeste onde foram realçadas as unidades litológicas da paisagem estudada mapeada, o contorno da drenagem (rios e lagos) ficou evidente, além da perfeita identificação dos limites de cada campo de duna móvel desde Maracajaú até Touros/RN.

2.3. Atualização do mapa geológico da Folha Touros

Através de quatro campanhas de campo várias feições interpretadas em gabinete foram validadas em toda a Folha Touros, principalmente nas três áreas piloto. Foram visitados 150 afloramentos ou pontos notáveis, que permitiram estabelecer as feições apresentadas na figura 1, dentre elas os depósitos eólicos não vegetados na forma de dunas.

Usou-se o Sistema de “*Global Positioning System*” (GPS) para posicionar mais de 150 afloramentos nos campos de dunas e demais feições. Todos estes afloramentos foram registrados em fotos. O trabalho de campo e o posicionamento destes afloramentos serviram de base para correção geométrica e posterior classificação das imagens. Possibilitou a validação das interpretações e avaliação do mapa geológico. E finalmente permitiu uma descrição detalhada da paisagem. O mapeamento realizado nesta fase aconteceu sob escala 1:100.000.

Após uma avaliação visual das cenas, dos trabalhos de campo e da elaboração do mapa geológico, verificou-se que os campos de dunas apresentavam variações geométricas que poderiam ser medidas e interpretadas, em maior detalhe, principalmente os campos de dunas móveis com cobertura desprovidas ou com pouca vegetação. Foram então selecionadas três áreas piloto, em função da presença de grandes campos de dunas móveis e de importantes manchas urbanas, os povoados de Touros, Zumbi e Maracajaú. A estas áreas foi atribuída uma dimensão de 6 por 3km; 6 por 3km e 4 por 3km (em função de suas geometrias na imagem) e uma escala de estudo de 1:50.000, compatível com as imagens utilizadas e com as normas da Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo (CIM), a qual o Brasil é signatário (IBGE, 2011).

2.4. Classificação supervisionada

Foi feita uma classificação supervisionada do tipo Máxima verossimilhança - “*maximum likelihood*”, que leva em conta a ponderação das distâncias médias e utiliza parâmetros estatísticos (Crósta, 1992). Este procedimento diz respeito a associar cada *pixel* (valores numéricos - níveis de cinza) de uma imagem a um “rótulo”. De acordo com a resposta espectral, para cada valor numérico associado à reflexão de um *pixel* são

identificados os tipos de coberturas da superfície terrestre, neste caso a superfície não vegetada, com grande reflectância. O método em questão parte do princípio de que se conhece bem a paisagem costeira dos campos de dunas móveis a ser classificada. As áreas de treinamento foram cuidadosamente definidas em pontos representativos em todas as categorias de coberturas. Desta forma procedeu-se a classificação das áreas piloto. Os mapas de cobertura superficial foram então reamostrados para mapas booleanos de forma a ressaltar apenas a cobertura não vegetada (figuras 3, 4 e 5).

2.5. Quantificação das alterações – multitemporais

Além dos resultados quantitativos apresentados em tabelas e das alterações visualmente notadas pela comparação entre mapas, verificou-se necessidade de comparar as diferenças entre os arranjos espaciais para cada intervalo de tempo aqui estudado. Para isto foi utilizado o método “diferença simétrica”. Este método aplicado fornece informação sobre aumento e diminuição da cobertura sedimentar dos sistemas dunares que diretamente gera informações sobre a migração da duna móvel continente adentro.

Utilizando *software* de geoprocessamento ArcGis 9.3 (Fernandes, 2011), todas as camadas representativas dos campos de dunas de 1988, 1993, 2001 e 2007 foram sobrepostas, em ordem crescente de ano de aquisição. Empregou-se ferramenta “*symmetrical difference*” do próprio ArcGIS. Dentro do contexto, foram estabelecidas relações entre os planos de informação dos campos de dunas em cada intervalo de tempo.

A integração destes resultados pela diferença entre áreas do ano posterior em relação ao tempo inicial no ambiente SIG permitiu vislumbrar nos mapas que regiões ou áreas geométricas nos campos de dunas sofreram diminuição ou aumento da cobertura sedimentar sem proteção de vegetação.

Ao sobrepor uma camada mais antiga sobre outra mais recente foi possível obter e visualizar as alterações temporais entre as áreas das dunas. O produto desta técnica é um mapa com valores positivos para regiões que aumentaram sua cobertura sedimentar e valores negativos para áreas que sofreram redução da cobertura (figuras 6, 7 e 8). A superfície não vegetada ilustrada pela cor vermelha indica que aquela respectiva cobertura arenosa diminuiu, em contra partida, a região marcada pela cor azul sugere que a superfície sedimentar ou área da duna aumentou em determinado intervalo de tempo.

3. RESULTADOS

3.1. Análise multitemporal dos campos de dunas (1988, 1993, 2001 e 2007)

A partir do processamento de imagens digitais, as dunas utilizadas neste estudo, foram ressaltadas. Isto pode ser feito em função da elevada resposta espectral das superfícies não vegetadas, resultado da composição mineral dos sedimentos presentes nas dunas, ricos em grãos de quartzo o que confere uma assinatura diferenciada dessas superfícies. Assim, usando o método da classificação estatística supervisionada, foi possível extrair os polígonos representativos dos mais importantes campos de dunas.

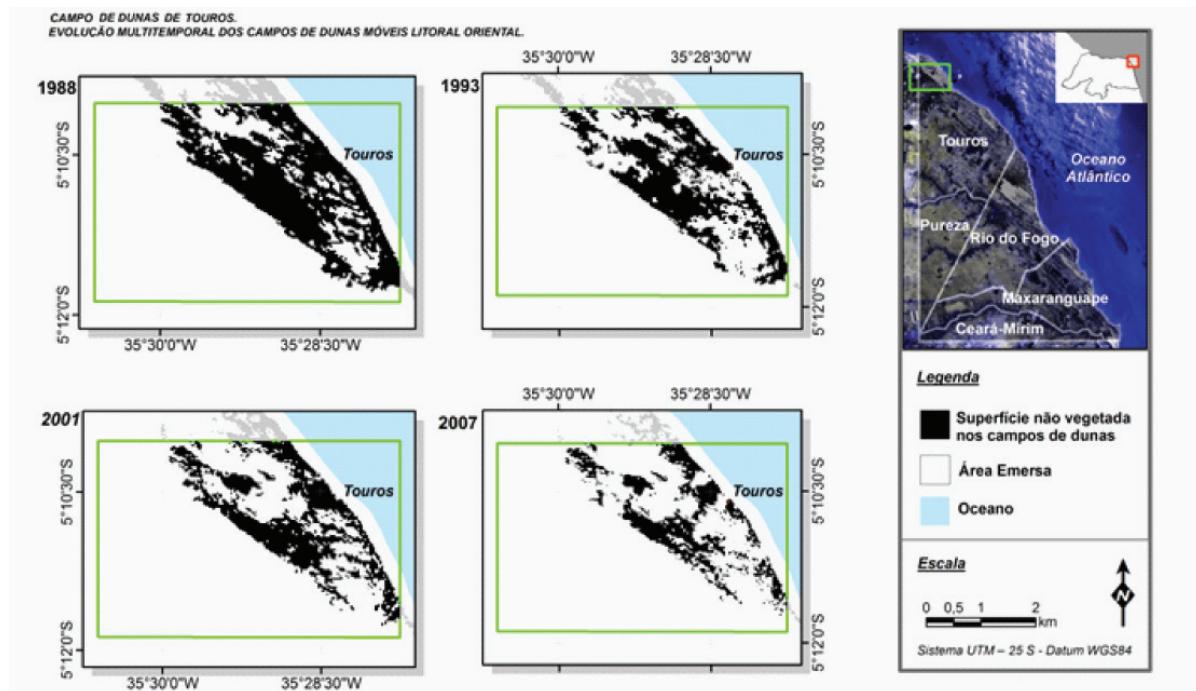


Figura 3. Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. A escala máxima adequada para uso é de 1:50.000. As linhas verdes marcam os limites da área piloto Touros.

Figure 3. Multitemporal evolution of dunes between 1988 and 2007. The maximum range is suitable for use of 1:50.000. The green lines mark the boundaries of the Touros pilot area.

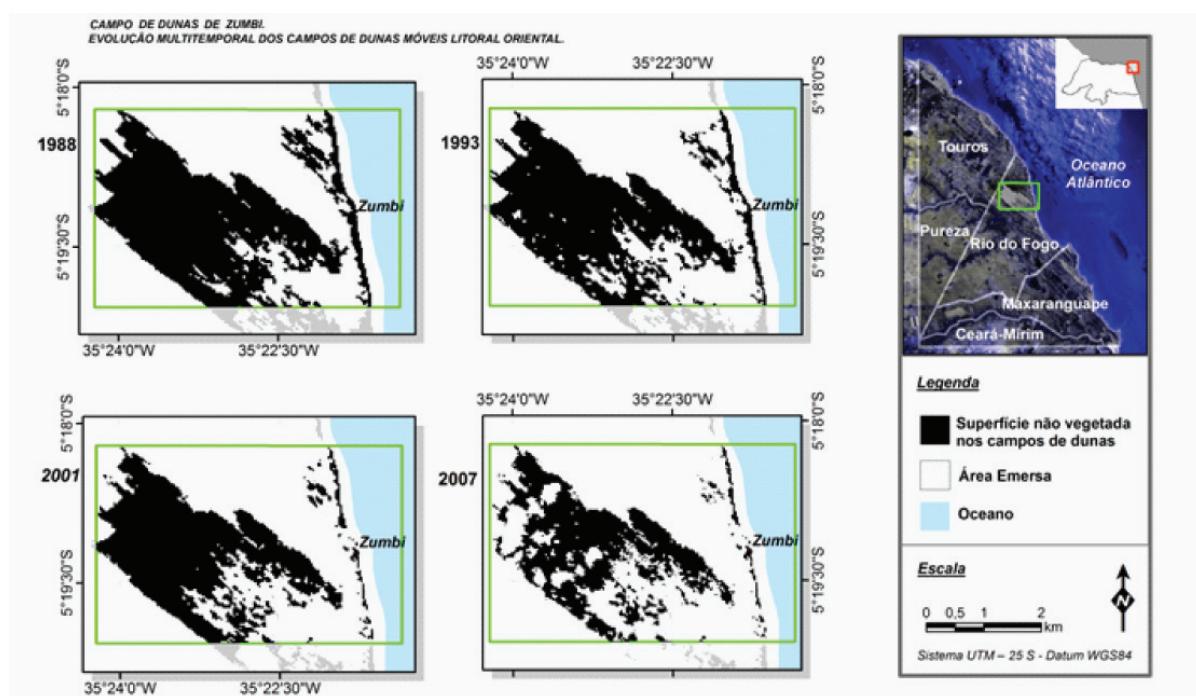


Figura 4. Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. A escala máxima adequada para uso é de 1:50.000. As linhas verdes marcam os limites da área piloto Zumbi.

Figure 4. Multitemporal evolution of dunes between 1988 and 2007. The maximum range is suitable for use of 1:50.000. The green lines mark the boundaries of the Zumbi pilot area.

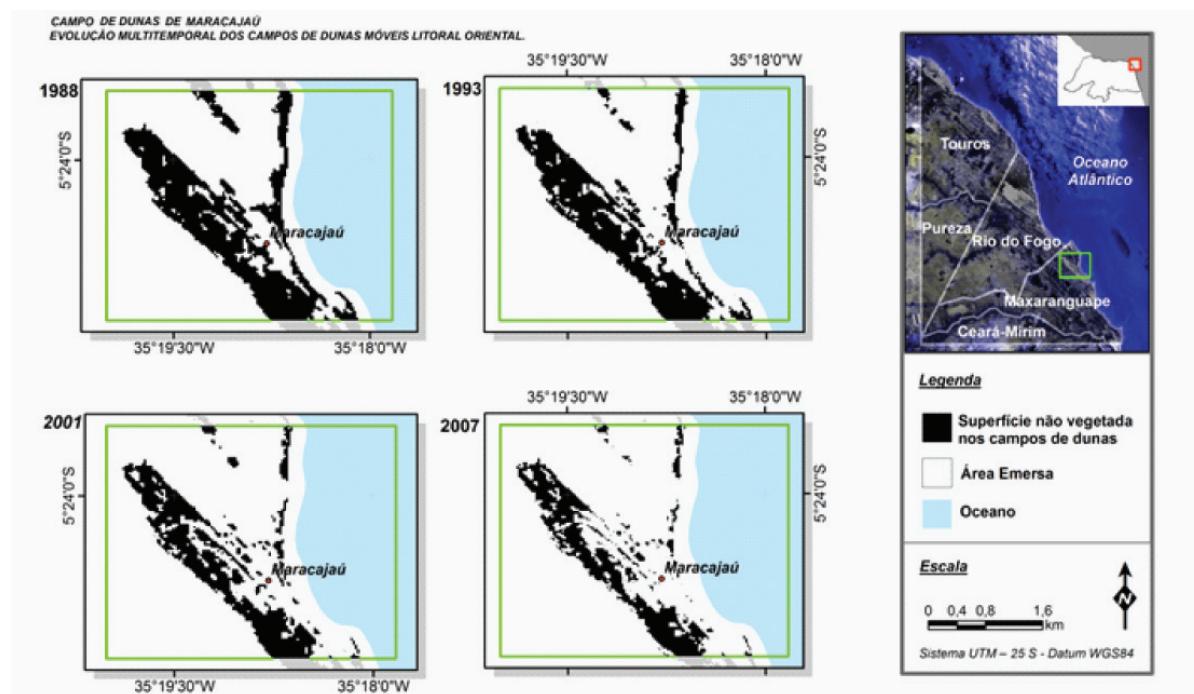


Figura 5. Evolução multitemporal das dunas entre 1988 e 2007. A escala máxima adequada para uso é de 1:50.000. As linhas verdes marcam os limites da área piloto Maracajaú.

Figure 5. Multitemporal evolution of dunes between 1988 and 2007. The maximum range is suitable for use of 1:50.000. The green lines mark the boundaries of the Maracajaú pilot area.

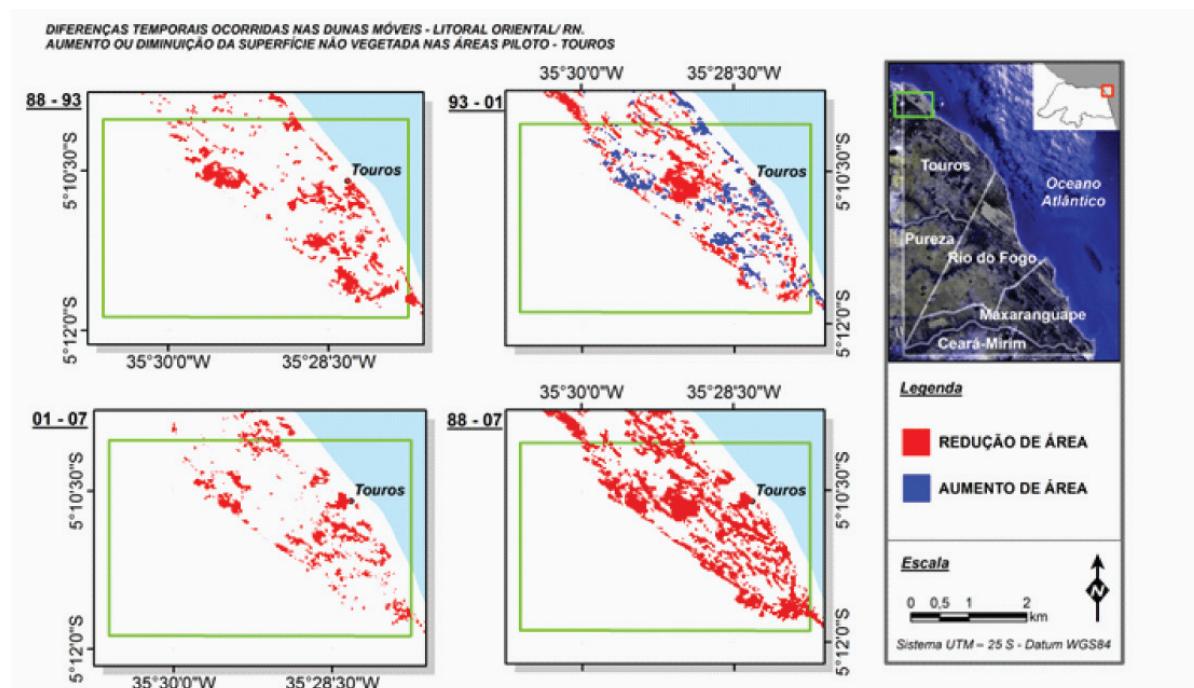


Figura 6. Alterações multitemporais nas dunas entre 1988 e 2007. A escala máxima adequada para uso é de 1:50.000. As linhas verdes marcam os limites da área piloto Touros.

Figure 6. Differences multitemporal dunes between 1988 and 2007. The maximum range is suitable for use of 1:50.000. The green lines mark the boundaries of the Touros pilot area.

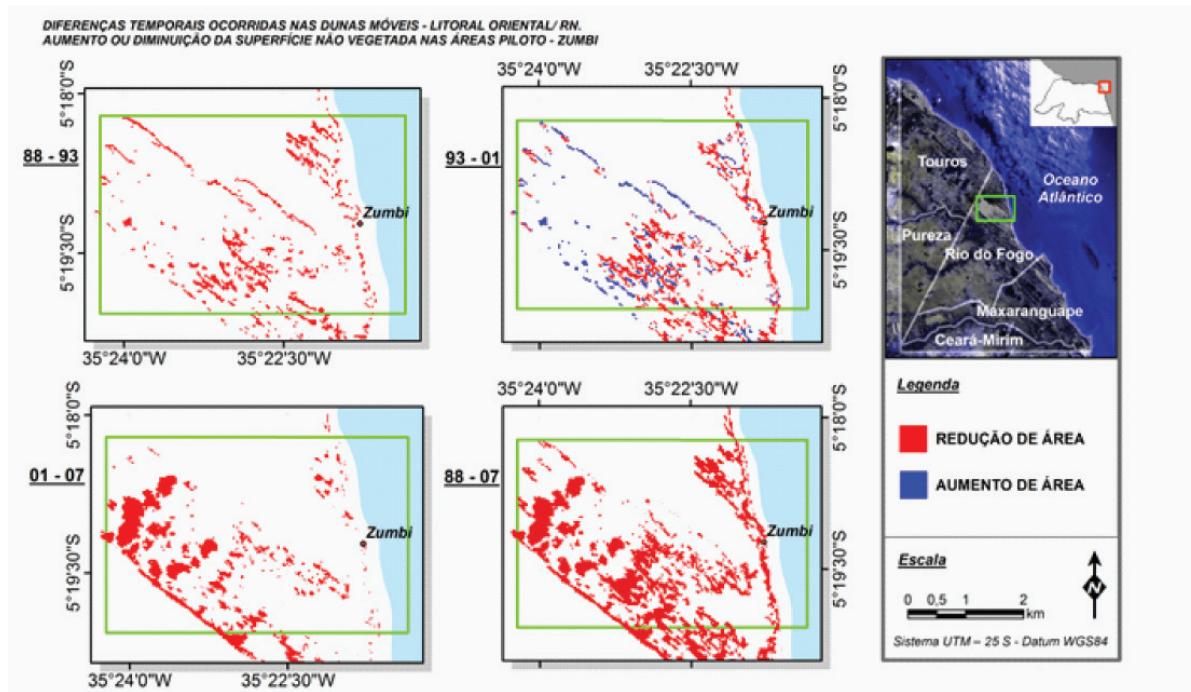


Figura 7. Alterações multitemporais nas dunas entre 1988 e 2007. A escala máxima adequada para uso é de 1:50.000. As linhas verdes marcam os limites da área piloto Zumbi.

Figure 7. Differences multitemporal dunes between 1988 and 2007. The maximum range is suitable for use of 1:50.000. The green lines mark the boundaries of the Zumbi pilot area.

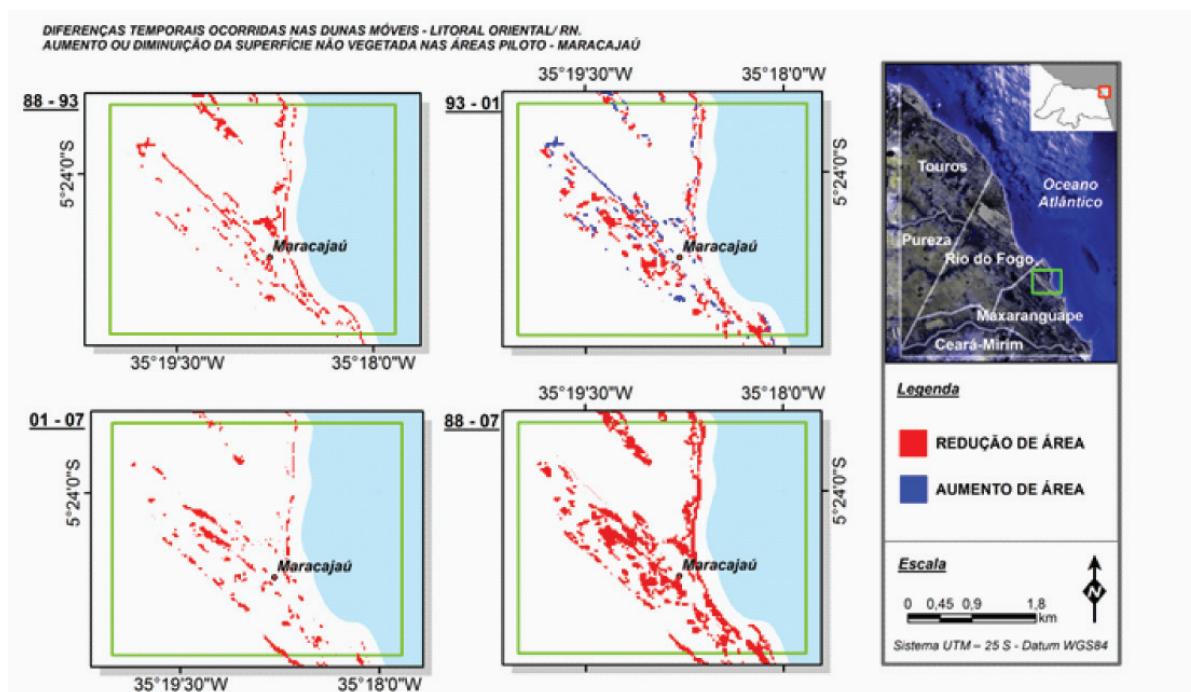


Figura 8. Alterações multitemporais nas dunas entre 1988 e 2007. A escala máxima adequada para uso é de 1:50.000. As linhas verdes marcam os limites da área piloto Maracajáú.

Figure 8. Differences multitemporal dunes between 1988 and 2007. The maximum range is suitable for use of 1:50.000. The green lines mark the boundaries of the Maracajá pilot area.

As alterações temporais nos campos de dunas são percebidas rapidamente após uma análise crítica visual das imagens processadas. A disposição espacial das dunas, em diferentes momentos, ressaltada pela classificação supervisionada ilustra bem as alterações temporais ocorridas, e a quantificação das superfícies não vegetadas presentes nos campos de dunas estudados, permitiu que se avaliasse, com maior precisão, o significado destas alterações.

Durante o estudo das imagens digitais, a composição R(PC5) G(PC3) B(PC4) permitiu ótima delimitação de todos os campos de dunas do litoral oriental entre Maxaranguape e Touros. Nesta combinação, e com base no conhecimento prévio da área e nos trabalhos de campo, pode-se perceber que somente os sedimentos arenosos adjacentes à costa marcados pelos tons de rosa ilustram, de fato, campos de dunas frontais e móveis. Por esta razão o produto gerado, e apresentado na Figura 2 A foi a imagem escolhida para seleção das áreas de treinamento. A partir dela também foi efetuada a classificação estatística supervisionada. A aplicação dos filtros direcionais no sentido nordeste permitiu compreender pelo efeito do sombreamento que verdadeiramente a combinação citada apresenta um realce marcante das feições geomorfológicas, sobretudo a superfície não vegetada sobre os campos de dunas móveis (Figura 2 B).

Na análise da evolução entre 1988 e 2007, percebe-se que a superfície não vegetada, no campo de duna de Touros, diminui nos três intervalos de tempo observados. Em 1993 os 3,3 km² representam 73% da cobertura original chegando em 2007 com apenas 43% (Tabela 2; Figura 3 e Figura 6).

No campo de duna de Zumbi a superfície não vegetada da duna móvel teve o arranjo espacial mais alterado, antes era uma cobertura uniforme, geometricamente contínua, que sofreu intensa redução. Ao se examinar a tabela 2 verifica-se diminuição paulatina da área superficial desta feição, em 86,7%, 79,2% e 58,3%, no intervalo de tempo estudado (Tabela 2). Os cordões de dunas frontais originalmente conectados com a duna móvel praticamente desaparecem. As figuras 7 e 8; referentes às quantidades de área reduzida ou aumentada ilustram bem a modificação ocorrida na paisagem costeira. A curva polinomial da figura 9 evidencia uma inflexão relativa à desaceleração do processo; onde esta atenuação indica que o “ritmo” da perda de cobertura sedimentar (superfície não vegetada) com o passar dos anos fica mais lento, fato que pode estar associado à estabilização deste campo de duna.

Entre 1988 e 2007 o campo de Maracajaú perdeu quase 45% de sua superfície não vegetada (Tabela 2), que ocorreu ao longo de todo o campo, mas chama a atenção a perda na

região correspondente às dunas frontais e proximidades da linha de costa, uma zona contínua, com direção aproximada norte/sul que demarca o limite da zona de praia (Figura 5 e Figura 8). No campo de dunas propriamente dito, a região central foi a que sofreu maior perda, ressaltadas nas figuras por corpos dunares individuais inteiramente desaparecidos.

Em 1988, a superfície não vegetada dos campos de dunas estudados equivalia a 14,4 km². Esta superfície caiu para menos de 8km², em 2007, uma perda de aproximadamente 53% com relação à superfície em 1988, como mostram as tabelas 2 e 3.

Esta tendência pode ser observada em suas nuances espaciais, nas figuras 3, 4 e 5 referentes aos recortes das “áreas piloto” dos campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú, respectivamente.

Entre 1993 e 2001, na soma das áreas dos campos de dunas estudados, ocorreu a menor perda da superfície não vegetada. Em algumas áreas ao longo de todo litoral, observa-se que houve até um acréscimo (Tabela 3 e figuras 6, 7 e 8) da superfície não vegetada nos campos de dunas estudados (Touros, Zumbi, Maracajaú). Dos três períodos de tempo este foi o único que apresentou um aumento na cobertura de área efetivamente representativo.

Em 2001 a cobertura não vegetada da paisagem correspondente a todos os campos de dunas móveis estudados compreendia mais de 10km². Entre 2001 e 2007, o cenário da evolução repete a diminuição da superfície não vegetada. Conforme a tabela 2, os 10,4km² representam 72% cobertura inicial (100% - 14,4km²) que por sua vez implica numa redução acumulativa de aproximadamente 33% (Tabela 3) de cobertura sedimentar original para os campos de dunas.

No intervalo entre 1988 a 2007, os resultados mostram uma perda de área da superfície não vegetada inicial em 6,7km², a diminuição implica em pouco mais que 50% da cobertura original em 1988, que era 14,4km². Boa parte das modificações espaciais e alterações quantitativas foram provocadas pelo desaparecimento ou substituição das dunas frontais. Onde os arranjos espaciais da paisagem formada predominantemente por dunas móveis (preminentemente cobertas por superfície não vegetada) e frontais (formações eólicas adjacentes à linha da costa) parecem estar “conectados” por um cordão de dunas frontais (Figura 10) que desapareceram no decorrer da evolução temporal. Estas dunas ativas de menor porte exercem a função de ligar morfológica e ecologicamente aqueles campos e merecem atenção especial, por sua importância na conectividade da paisagem.

Tabela 2. Área aproximada do tema “superfície não vegetada” nas áreas piloto, em km² e valor percentual residual, em cada ano de coleta.

Table 2. Approximate area of the theme “vegetated surface is not” in the pilot areas in km² and residual value percentage for each year of collection.

Ano de coleta	Tempo em anos	Touros		Zumbi		Maracajaú		Total		Média	
		km ²	%								
1988	0	4.5	100.0	7.5	100.0	2.5	100.0	14.4	100.0	4.8	100.0
1993	5	3.3	73.8	6.5	86.7	2.0	82.4	11.8	81.9	3.9	81.9
2001	13	2.8	62.3	5.9	79.2	1.7	68.3	10.4	72.0	3.5	72.1
2007	19	2.0	43.0	4.3	58.3	1.4	55.3	7.7	53.0	2.6	53.0

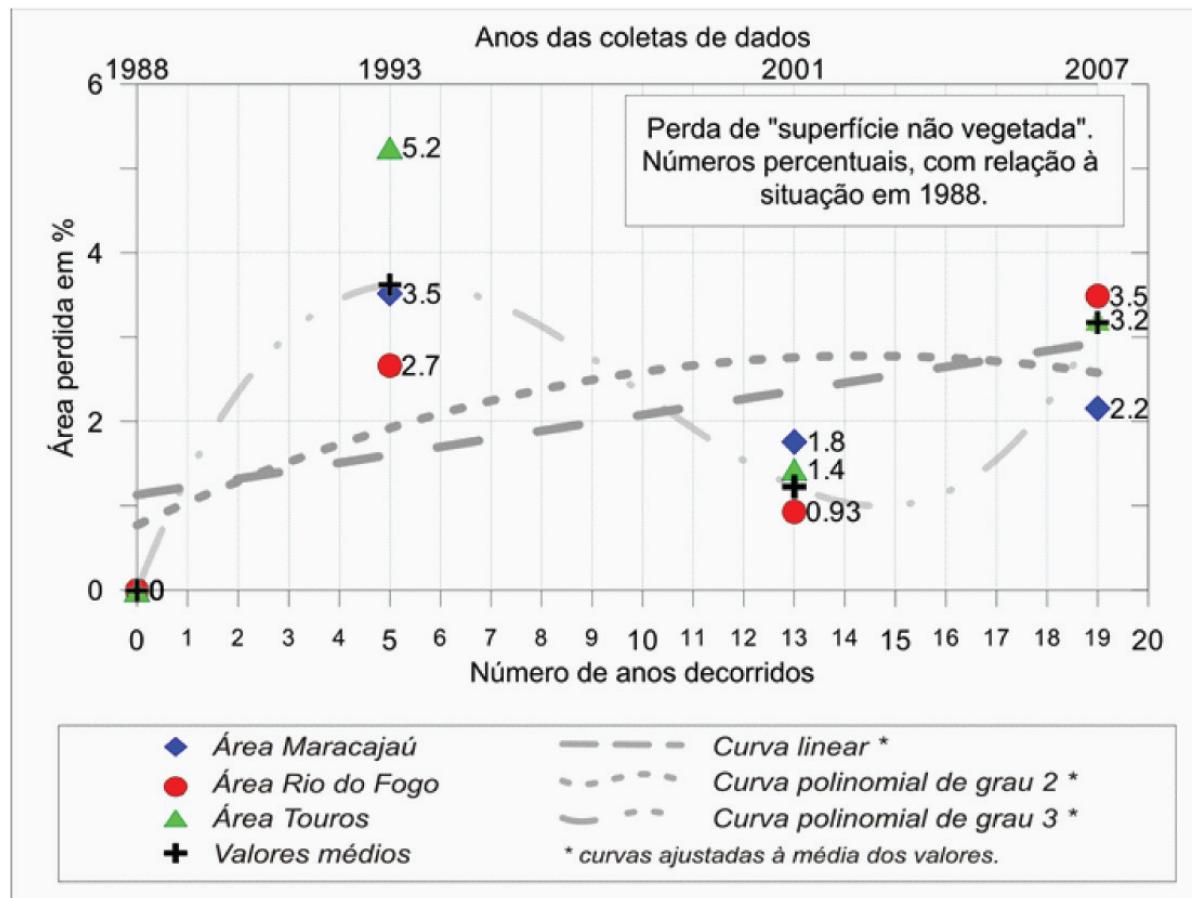


Figura 9. Perda de superfície não vegetada, em valores percentuais, em cada um dos campos de dunas estudados. Este gráfico deixa clara uma tendência deste processo. Ao se plotar uma curva linear, com os valores médios obtidos percebe-se uma tendência geral da diminuição daquela superfície, mas quando é plotada uma curva polinomial de grau 2, percebe-se uma inflexão que aponta para a desaceleração no processo, no entanto uma curva de grau 3 sugere um ciclo aproximadamente decenal.

Figure 9. Vegetated loss of surface area percentage values in each of dune fields studied. This graph clearly shows a trend of this process. When you plot a linear curve of the type $Y=bX+a$, with average values we can see a general trend of decline that surface. However when it is plotted a polynomial of type $Y=a_0+a_1+a_2X^2+\dots+a_nX^n$, perceives that an inflection, suggests degree curve about decennial.

Tabela 3. Redução da área de cobertura sedimentar desprovida de vegetação, em cada área piloto, em três intervalos de tempo. Dados em valores percentuais, com relação à superfície mapeada em 1988.

Table 3. A decrease on the sedimentary cover without vegetation area in each pilot area in three time intervals. Data in percentages with respect to the surface mapped in 1988

Id	Ano			Campos de dunas - Perda de área (%)			Média	Total
	Início	Fim	Intervalo	Maracajáu	Zumbi	Touros		
1	1988	1993	5	17.6	13.3	26.2	19.1	57.2
2	1993	2001	8	14.1	7.5	11.5	11.0	33.0
3	2001	2007	6	13.0	20.9	19.3	17.7	53.2
Total			19	44.7	41.7	57.0	47.8	



Figura 10. Foto 3, duna frontal localizada na praia de Perobas, município de Touros. Altura aproximada da duna é de 12m (linha tracejada). Foto do autor (2009) obtida com sentido SE-NW, a partir da praia. A posição de aquisição da foto está no mapa da figura 1.

Figure 10. Photo 3, located in the foredune of the Perobas beach, town of Touros. Height of the down is approximately 12m (dashed line). Photo of the author - 2009. Photo obtained from SE-NW direction, from the beach. The position of acquisition of the photo is on the map in figure 1.

4. DISCUSSÃO

4.1. Aspectos gerais

A perda de área ocupada pelas dunas frontais pode gerar alguns impactos negativos potenciais. Substituir a cobertura sedimentar típica de uma duna, eventualmente, implica no comprometimento de processos ecológicos, na degradação do *habitat* e redução ou modificação da biodiversidade; algumas espécies endêmicas destas áreas usam preferencialmente as dunas para se fixar ou deslocar em meio à paisagem.

Avaliando os acréscimos e perdas de superfícies não vegetadas, percebe-se uma complexa dinâmica orientando os movimentos das massas de areia presentes nos campos de dunas, que por hora introduz sedimentos e depois os retira do sistema.

Na figura 9 é plotado, em valores percentuais, a perda de superfície não vegetada em cada campo de duna, permitindo que se tenha uma idéia inicial da tendência deste processo. Ao se plotar uma curva linear, do tipo $Y=bX+a$, com os valores médios obtidos tem-se a informação de que há uma tendência geral da diminuição daquela superfície, mas quando se plota uma curva polinomial ($Y=a_0+a_1+a_2X^2+\dots+a_nX^n$), de grau 2, uma parábola, percebe-se uma inflexão que aponta para uma desaceleração no processo (Levin & Ben-Dor, 2004), o que nos faz pensar em um comportamento cíclico. Esta última curva parece expressar com mais precisão o comportamento da “superfície não vegetada” ao longo do tempo, no entanto,

a ação do homem, sempre imprevisível, e o curto período de observações, levando-se em conta a velocidade dos processos observados, elevam a dificuldade das análises dos resultados obtidos. Em uma terceira linha de análise, desta vez utilizando-se uma curva polinomial de grau 3, gera-se uma curva que aponta para um comportamento cíclico onde as menores perdas indicam apenas momentos de menor perda, que se repetem em intervalos aproximadamente decenais.

A superfície não vegetada pode se alterar por: a) mudanças climáticas gerais, com ciclos de diversas magnitudes temporais (sazonal, decenal, milenar, etc.) que condicionam o comportamento da biota, como, por exemplo, a oscilação do lençol freático que possibilita o surgimento de espécies pioneiras adaptadas às novas condições iniciando o processo de sucessão ecológica; por b) alterações provocadas pelo homem, como expansão de áreas agrícolas e uso para fins turísticos, seccionamento das dunas por estradas e outras obras de engenharia e pela ampliação das fronteiras de vilas e povoados. Estas superfícies também têm a sua geometria alterada pela migração natural das dunas, no sentido do continente. Neste caso, a migração das superfícies desnudas também indica a taxa de migração das dunas como um todo. Em síntese não existe um fator isolado para explicar a redução da cobertura sedimentar sem vegetação.

Em Touros, as modificações nos padrões espaço-temporais ressaltaram uma significativa alteração na geometria do campo de duna (Figura 3 e Figura 6). De forma geral, a superfície não vegetada, foi substituída por aglomerações urbanas típicas de ocupações tradicionais e pela atividade agrícola, e pecuária. Foram também identificadas áreas de empréstimo para extração de areia e argila.

Em Zumbi, as dunas móveis exibem claramente um processo de transgressão, percebe-se pela análise das figuras 4 e 7 que elas estão ativas migrando continente adentro. Os arranjos espaciais apresentados pelos campos de dunas móveis em Zumbi evidenciaram uma perda considerável em cobertura não vegetada entre os anos de 1988 e 2007. O cordão de duna frontal é quase que completamente retirado da paisagem costeira. Constatata-se mais uma vez que as alterações ocorrem em função da substituição da superfície não vegetada desta localidade por área urbana, dos empreendimentos de natureza turística. Neste mesmo campo de duna, conforme a figura 7, a porção frontal da duna apresentou regiões aproximadamente circulares considerados pela análise das alterações como área perdida. Coincidemente foi nesse intervalo de tempo que as turbinas eólicas do parque eólico de Zumbi foram instaladas, o que leva a sugerir alguma ligação entre os dois eventos.

Em Maracajaú a superfície não vegetada perdida foi substituída por vegetação, naturalmente, ou por feições relativas à ocupação humana, como equipamentos urbanos, pequenas lavouras, pasto, etc. A perda da superfície não vegetada também pode estar associada a uma perda volumétrica de sedimentos, uma vez que mais próxima da superfície freática a ocorrência de gramíneas e outras formas de vegetação das regiões interdunares substitui a superfície nua. A falta de acréscimos de superfícies não vegetadas no intervalo de tempo estudado indica uma tendência à fixação das dunas, mais do que uma migração.

4.2. Evolução das dunas no litoral oriental do RN

Os campos de dunas ativos do litoral do Rio Grande do Norte estão envolvidos em processos de perda de área de cobertura sedimentar não vegetada. Segundo Bailey & Bristow (2004), em *Aberffraw, Anglesey e North Wales*, por meio de interpretação de fotografias áreas, as dunas não vegetadas que foram monitoradas entre os anos de 1940 e 1993, indicaram uma redução gradativa da cobertura sedimentar. Esse mesmo cenário foi encontrado nas dunas do litoral do RN, onde as perdas das superfícies não vegetadas nos campos de dunas estudados também são observadas (Figuras 6, 7 e 8).

Na citação anterior, a causa principal dos impactos negativos inerentes à diminuição de cobertura sedimentar é a “pressão” exercida pelas estradas sobre as dunas, enquanto, que no litoral estudado, a redução é justificada pelo avanço das áreas urbanas sobre os cordões dunares frontais.

Os resultados aqui apresentados evidenciam cenário bem semelhante. As dunas em toda linha de costa de Ceará-Mirim a Touros, devem ser cuidadosamente preservadas. Nestas dunas o mosaico da paisagem é composto basicamente por duna móvel (apenas sedimentos livres sem presença de vegetação) e dunas vegetadas (os sedimentos arenosos são fixados sob a cobertura vegetal). Conforme descrito por (Silva & Hesp, 2010), a preservação da vegetação na região costeira diminui a mobilidade das dunas. Partindo do pressuposto citado, é intuitivo afirmar que a dinâmica da paisagem costeira no RN e localmente em Touros, Zumbi e Maracajaú é provavelmente sensível aos mesmos efeitos. Esse comportamento justificaria hipótese de substituição das dunas para formação de bacias de deflação geralmente vegetadas.

No México, usando o mesmo princípio metodológico de avaliar a dinâmica temporal de áreas costeiras por meio de mapeamento, classificação supervisionada e quantificação das diferenças, Ruiz-Luna e Berlanga-Robles (2003), obtiveram como resultados mais significativos dos seus mapas, a transição de áreas naturais (lagunas e dunas) para áreas urbanas. Os autores afirmaram que no decorrer de 24 anos a cobertura corresponde às áreas antrópicas (urbana e agricultura) cresceu aproximadamente 104%.

No Rio Grande do Sul, nove campos de dunas móveis foram monitorados por meio de fotografias aéreas complementadas pela observação de produtos *LANDSAT* dos sensores ETM+, TM e MSS, neste caso da região sul do país, de forma semelhante ao ocorrido nas dunas móveis de Touros, Zumbi e Maracajaú, foi constatada uma perda na cobertura sedimentar. Esta redução pode ser explicada por dois aspectos: pressões antrópicas sobre as dunas frontais pela influência das estradas e aumento da ocupação urbana ou pela estabilização natural do campo de duna transgressor ao se afastar da linha de costa e das frontais, que funcionalmente representam fontes de suprimento arenoso para as dunas transgressivas interiores.

Em Santa Catarina, no litoral oriental do Rio Grande do Norte, assim como em todo litoral similar, o desenvolvimento do setor turístico apoia-se nas características naturais e nas belezas cênicas da região. As dunas destas regiões tem em comum o fato de receberem contínuos aportes de areia, transportadas pelos ventos dominantes, sendo caracterizadas

pela influência mútua de areia com as praias e das praias com dunas frontais que por sua vez fornecem sedimentos para dunas interiores (geralmente transgressivas). Existe um sistema dinâmico que originalmente começa a transportar sedimentos de origem marinha para praia, destas para dunas frontais e, consequentemente para dunas móveis interiores. Reciprocamente este modelo se reconstitui naturalmente (Klein & Maia, 2008). Este autor alertou que o avanço desregrado das áreas urbanas (do turismo e ocupações tradicionais) sobre dunas frontais pode impactar negativamente o sistema resultando em mudanças indesejáveis à paisagem litorânea.

O monitoramento da dinâmica dunar de um corpo de dunas localizado na praia de Lagoinha, na cidade de Paraipaba/CE, nos anos de 2002 e 2007, foi aplicado através de levantamento topográfico nos dois períodos e mosaico de fotografias aéreas. Quando se observou um deslocamento das dunas em direção à cidade, o deslocamento foi de 24,63m; 21,21m e 6,29m, respectivamente. Notou-se que os menores deslocamentos estão associados às áreas com maior concentração de vegetação. A migração das dunas em direção à cidade merece atenção porque pode tomar maiores proporções ao transpor a área que contém vegetação, ou seja, as dunas podem ter maior facilidade em deslocar-se pela área urbana (Machado *et al.*, 2011). Através de marcação de pontos fixos em campo e registros fotográficos para levantamento de afloramentos geológicos, Fernandes e Amaral (2010), na praia de Maracajaú em um ano de monitoramento mensal (setembro 2009 a setembro 2010), identificaram dinâmica espacial semelhante à observada na praia de Lagoinha/CE. Esta movimentação merece atenção devido ao risco de propagação da duna ativa sobre estradas, casas e fiação elétrica (Figura 11).

Realmente, existe uma forte dinâmica na paisagem do litoral oriental do Rio Grande do Norte dirigindo os padrões espaço-temporais dos campos de dunas móveis. Merece atenção particular a disposição destas dunas de areia entre os anos de 1993 a 2001 (figuras 4, 6 e 8). Apesar de não se poder afirmar com exatidão as causas do aumento de área nessa terceira janela temporal para os campos de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú em intervalo de tempo semelhante, alguns estudos evidenciam ocorrência dos fenômenos *El Niño/La Niña* (ENOS) como agentes cooperadores para aporte sedimentar de origem marinha e para gênese dos campos de dunas, onde as alterações do nível relativo do mar decorrentes das oscilações de temperatura na superfície do oceano podem descobrir e expor à costa (zona de praia) rica em sedimentos arenosos e quartzosos (Meireles, 2011).

5. CONCLUSÕES

Os campos de dunas do litoral oriental do Rio Grande do Norte, e principalmente os campo de dunas de Touros, Zumbi e Maracajaú apresentam uma intensa dinâmica de mudanças dos arranjos espaciais na paisagem costeira.

O uso das imagens multiespectrais da família *Landsat* 5TM e 7ETM+ foi eficiente para mapeamento na escala de 1:50.000 dos campos de dunas transgressivas do litoral oriental no RN. A interpretação de imagens *Landsat* e os trabalhos de campo forneceram evidências morfológicas

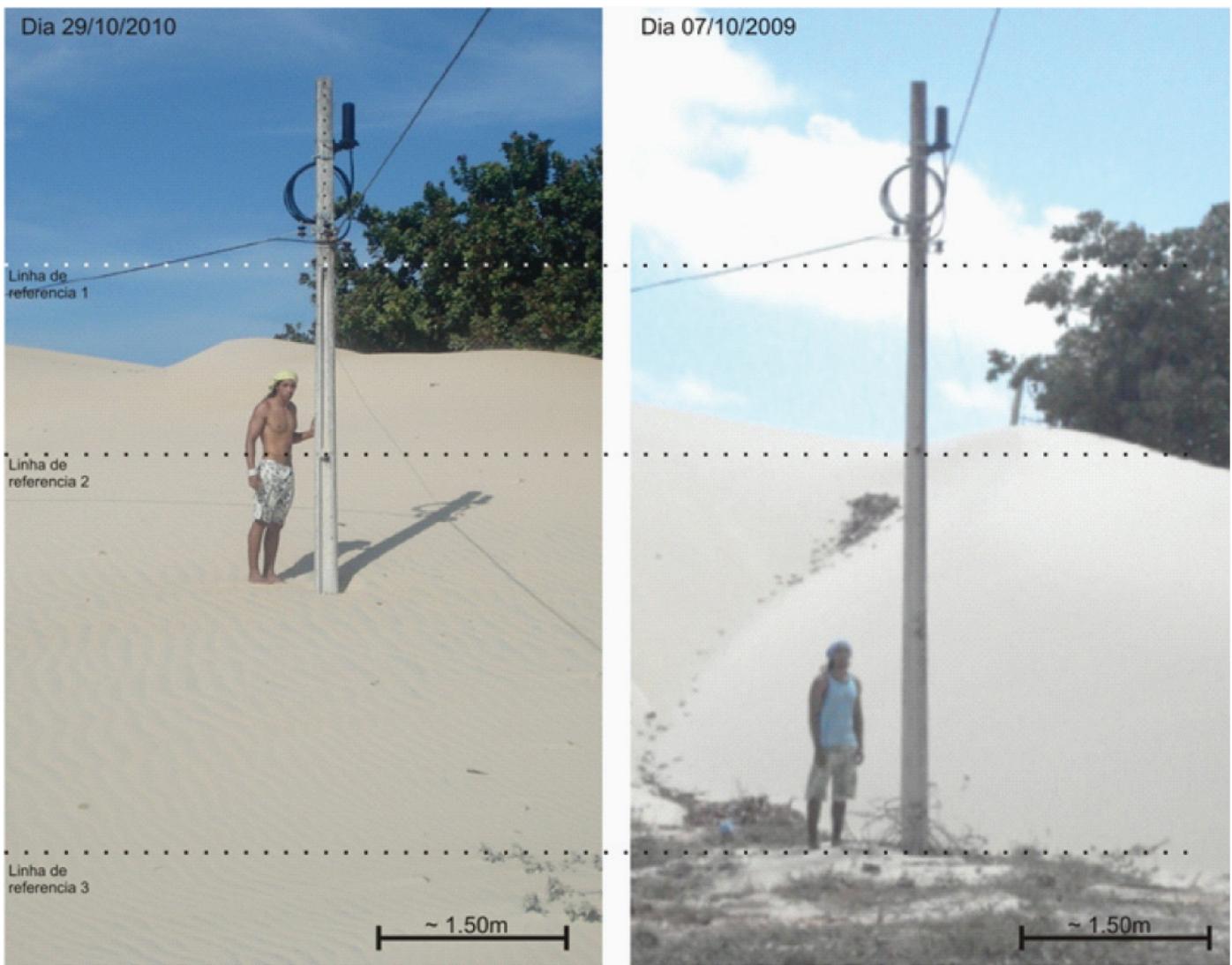


Figura 11. Foto 4. Duna móvel adjacente à praia de Maracajaú. Foto relativa à migração ativa da duna com relação a um objeto fixo, um poste da rede elétrica local em 2009 e 2010 (Fernandes e Amaral, 2010). A posição de aquisição da foto está no mapa da figura 1.

Figure 11. Photo 4. Moving dune adjacent to the Maracajaú beach. Photo on the active dune migration with respect to a fixed object, one pole of the local power grid in 2009 and 2010 (Fernandes and Amaral, 2010). The position of acquisition of the photo is on the map in figure 1.

suficientes para confirmar que os depósitos eólicos ainda continuam ativos, a classe das superfícies não vegetadas usadas para analisar o movimento dos campos de dunas mostrou-se como um indicador adequado.

O cenário de evolução projetado esboça diminuição gradativa da cobertura não vegetada, embora também, uma desaceleração neste processo, não se descartando um comportamento cíclico de magnitude decenal. No entanto, este comportamento não está associado apenas a processos naturais, como aqueles relativos à recomposição de áreas vegetadas, mas também, e principalmente a ação do homem, ocupando e modificando os espaços.

Este estudo enfatiza a necessidade da execução de estratégias de gestão adequadas a sustentação da estrutura e funcionamento das dunas frontais e campos de dunas que continuam ativos migrando continental adentro, onde as tomadas de decisões pela conservação do equilíbrio

entre as exigências ambientais e socioculturais, permitam a manutenção da paisagem, fonte de riqueza infinita.

AGRADECIMENTOS

A equipe do Laboratório de Estudos Geoambientais/LEGEO/UFRN, pelas instalações e disponibilização de equipamentos que nos permitiu concluir esta pesquisa. Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pelas imagens cedidas gratuitamente. Ao Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica que possibilitou o desenvolvimento do trabalho. Aos colegas de jornada juntamente com a Secretária Nilda Araújo pelo apoio constante e por fim, a CAPES por viabilizar o trabalho através da bolsa de pesquisa concedida. Ao Editor Executivo e nobres Revisores da Revista Gestão Costeira Integrada (RGCI) pela paciência e prontidão na etapa de revisão e lapidação final deste artigo científico. A todos muito obrigado.

BIBLIOGRAFIA

- Bailey, S.D.; Bristow, C.S. (2004) – Migration of parabolic dunes at Aberffraw, Anglesey, north Wales. *Geomorphology*, 59(1-4):165–174. doi: 10.1016/j.geomorph.2003.09.013
- Crósta, A.P. (1992) – *Processamento digital de imagem de sensoriamento remoto*. 170p., Editora Unicamp, Campinas, São Paulo, Brasil. ISBN: 8585369027.
- Fernandes, L.R. (2011) – *Dinâmica da paisagem no litoral oriental do Rio Grande do Norte: geocartografia e padrões espaciais dos campos de dunas móveis*. 131p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal, RN, Brasil. *Não publicado*.
- Fernandes, L.R; Amaral, R.F. (2010) – Folha Touros-RN/ BR: Environmental Planning for coastal areas. *Proceedings of the 4th Urbenviron international seminar on environmental planning and management Niterói 2010 - Sustainable cities for the new millennium* (ISBN: 978-8522805792), 5:347-355, Niterói, RJ, Brasil. Disponível_em: http://www.urbenviron.org/Urbenviron_Niteroi_2010_Proceedings.pdf
- Florenzano, T.G. (2008) – Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: Tereza G. Florenzano (org.), *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*, pp.31-71, Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 9788586238659. *Não publicado*.
- Giannini, P.C.F.; Assine, M.L.; Barbosa, L.M.; Barreto A.M.F.; Carvalho A.M.; Sales, V.C.; Maia, L.P.; Martinho, C.T.; Peulvast, J.P.; Sawakushi, A.O.; Tomazelli, L.J. (2005) – Dunas e paleodunas eólicas costeiras e interiores. In: Celia R. de G. Souza (org.), *Quaternário do Brasil*, pp.235-257, Holos, Ribeirão Preto, SP, Brasil. ISBN: 8586699470. *Não publicado*.
- Hazin, F.H.V. (2010) – *A Amazônia azul e a sua herança para o futuro do Brasil*. 22p., Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Ciências e Cultura, Ciências do Mar, Natal, RN, Brasil. Disponível_em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v62n3/a09v62n3.pdf>
- Klein, A.H.F.; Maia, L.P. (2008) – First Brazilian Symposium on Dunes Systems and International Symposium on Coastal Dunes: A Report of Meeting. *Journal of Coastal Research*, 24(6):1355-1356. doi: 10.2112/08A-0010.1
- Levin, N.; Ben-Dor, E. (2004) – Monitoring sand dune stabilization along the coastal dunes of Ashdod-Nizanim, Israel, 1945–1999. *Journal of Arid Environments*, 58(3):335–355. doi: 10.1016/j.jaridenv.2003.08.007
- Machado, S.J.; Albano, F.G.; Silva, R.R.S.; Silva, C.R. (2011) – Análise da dinâmica dunar da praia de Lagoinha - CE por meio de dados topográficos e aerofotogramétricos. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, (ISBN: 9788517000577), 15:2355-2359, Curitiba, PR, Brasil. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0167.pdf>
- Meireles, A.J.A. (2011) – Geodinâmica dos campos de dunas móveis de Jericoacoara/CE-BR. *Revista Mercator*, 10(22):169-190. doi: 10.4215/RM2011.1022.0011
- Ruiz-Luna, A.; Berlanga-Robles, C.A. (2003) – Land use, land cover changes and coastal lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. *Landscape Ecology*, 18(2):159–171. doi: 10.1023/A:1024461215456
- Silva, G. M.; Hesp, P. (2010) – Coastline orientation, aeolian sediment transport and foredune and dunefield dynamics of Moçambique Beach, Southern Brazil. *Geomorphology*, 120(3-4):258-278. doi: 10.1023/A:1024461215456