

# Mapeamento digital da área urbana na frente erosiva em Atafona e progradacional em Grussaí, São João da Barra (RJ): impactos urbanos e ambientais

Gilberto Pessanha Ribeiro <sup>1,2</sup>

gilberto@vm.uff.br

Bruno Ferraz Bartel <sup>2</sup>

bruno@yahoo.com.br

Christiane dos Santos Oliveira <sup>2</sup>

oliveira\_christiane@yahoo.com.br

1 Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Cartográfica, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

2 Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Departamento de Análise Geoambiental e Curso de Geografia, Niterói, RJ, Brasil

## RESUMO

*São aqui apresentados os resultados obtidos durante a análise da evolução dos processos de erosão e progradação observados, respectivamente, nas praias de Atafona e Grussaí, localizadas no município de São João da Barra (RJ). Para isso, foram usadas fotografias históricas aéreas que levaram à extração da linha de costa, permitindo a comparação dessa feição para diferentes épocas. Foram promovidos e realizados levantamentos de campo com uso do sistema GPS de posicionamento, no modo relativo e cinemático, para o estabelecimento da configuração espacial da linha de costa em medições mensais, desde janeiro de 2004, até dezembro de 2005. Tais resultados foram organizados graficamente e representam requisitos básicos para o mapeamento dos indícios desses eventos naturais, em função da ação agressiva de ondas, sob os efeitos de ventos e de marés. A análise espacial desses fenômenos permitiu conhecer a tendência de variação da linha de costa e associá-la às feições geomorfológicas contidas na zona litorânea e na planície costeira do rio Paraíba do Sul como cordões arenosos, dunas, ilhas fluviais, ilhas barreiras, depósitos lamosos e pontal arenoso. Associar esses objetos geográficos aos agentes dos processos costeiros lá presentes nos últimos anos torna-se importante para o conhecimento da dinâmica na foz do rio e no litoral imediatamente localizado em sua parte meridional. Os impactos urbanos e ambientais desses fenômenos são apresentados..*

Palavras-Chave: Erosão. Atafona. Cartografia. Geomorfologia.

## 1. INTRODUÇÃO

Na história geológica de formação de planícies costeiras brasileiras durante o Holoceno e Pleistoceno (Quaternário) observou-se, em alguns casos, a hipótese sustentada de influência fluvial nos processos dinâmicos que se desenvolvem em desembocaduras de rios. O caso do rio Paraíba do Sul é caracterizado por uma sucessão de processos erosivos com ação marinha e fluvial, onde é encontrada uma série de rastros, ainda hoje preservados na planície, capazes de serem identificados por meio de análise morfométrica sobre imagens sensoriais. Recentemente, especificamente em 2000, foi executado um vôo fotogramétrico que permitiu, com mais detalhe do que a maioria dos sensores orbitais (LANDSAT, SPOT e CEBERS), disparar pesquisas voltadas para estabelecer a configuração espacial dessas feições e, a partir desse mapeamento, começar a inferir sobre que condições ambientais elas foram submetidas, com base em fatores oceanográficos, essencialmente ventos, ondas e marés.

Compreender a influência dessas forças sobre as feições costeiras requer análise de séries históricas e associá-las às suas formas predominantes atuais. Um caso típico é a

investigação sobre o comportamento das correntes litorâneas no desenho da linha de costa e as duas lagunas lá encontradas (Grussaí e Iquipari). Isso é uma tarefa difícil por ser complexa, uma vez que não se dispõe de dados suficientes para modelar essa dinâmica, e de forma científica, prever como o cenário atual será alterado pelos agentes nos próximos anos e décadas.

A dinâmica costeira observada na zona litorânea, exatamente na parte meridional da foz do rio Paraíba do Sul, no norte-fluminense, tem sido objeto de investigação, estudos e recentes pesquisas aplicadas. A partir de janeiro de 2004 vem sendo desenvolvido um projeto de pesquisa, financiado pelo CNPq, liderado pelo Departamento de Geologia da UFF, em parceria com o Departamento de Engenharia Cartográfica da UERJ, no qual foram produzidos mapas temáticos que retrataram a tendência da linha de costa, numa extensão aproximada de 8 km, compreendendo áreas urbanas das praias de Atafona e de Grussaí, localizadas no município de São João da Barra (RJ). Objetos extraídos de imagens digitais (essencialmente fotografias aéreas métricas) foram analisados e associados às feições costeiras importantes para a busca de entendimento sobre os processos costeiros envolvendo erosão e progradação nessas praias já urbanizadas, com ocupação caracterizada, basicamente, por veranistas (população temporária).

Os agentes, também denominados forçantes oceanográficas, têm atuado nesta zona litorânea com intensidades variáveis ao longo do tempo. A frequência, direção e intensidade dos ventos, o regime de ondas e as marés são fatores contribuintes diretamente nesses processos. A foz do rio Paraíba do Sul, onde a área principal de estudo se localiza, é tratada, segundo grande parte dos autores, como delta em cuspide, dominado por ondas (SUGUIO 2003). DIAS (1984) afirmou que, aparentemente, o fator que provoca erosão em Atafona é o desequilíbrio do balanço entre o aporte sedimentar e a deriva litorânea. O fenômeno erosivo vem sendo estudado através de pesquisas especializadas nas áreas de Geologia e Geomorfologia, e este trabalho contribui com a apresentação de resultados conclusivos a partir da aplicação de métrica sobre as feições costeiras, estabelecendo sua relação efetiva com os indícios existentes na planície costeira que apontam sua origem e as caracteriza como eventos naturais. A Figura 1 a seguir ilustra a área de estudos, localizada no município de São João da Barra (RJ), compreendendo as citadas praias.

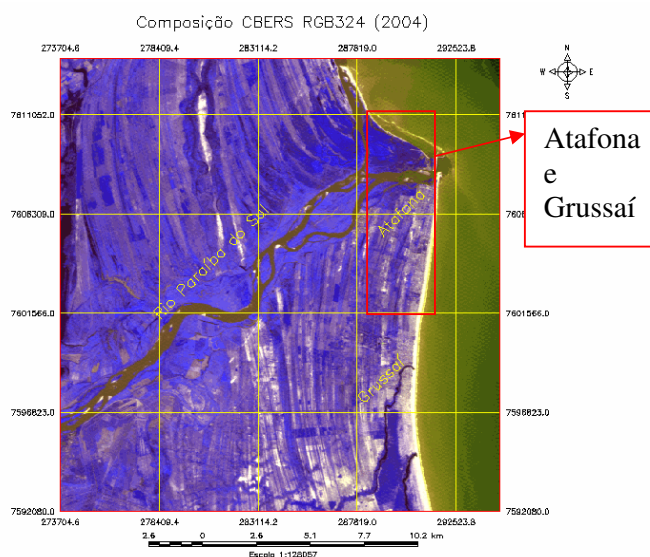


Figura 1: Localização da área de estudos.

Dentre as causas naturais da erosão costeira há aquelas relacionadas com circulação costeira; morfodinâmica praial; aporte sedimentar ineficiente com retenção de sedimentos na plataforma continental e/ou nos campos de dunas; modificações na deriva litorânea; balanço sedimentar negativo; elevação do nível do mar; e, por último, fatores tectônicos (SOUZA et al. 2005). Resta saber em que medida os fatores que atuam hoje e atuaram nos últimos anos e décadas na área de estudo influenciaram os cenários analisados, tendo como base as épocas em que se extraíram os valores a partir das fotografias aéreas. Para as épocas de 1954, 1964, 1974 e 2000 foi extraída, de fotografias aéreas georreferenciadas, a linha de costa que sofreu variações de posição. Essas fotos foram registradas no banco de dados do SPRING a partir de pontos de controle medidos com o sistema GPS no campo, no modo relativo e estático.

A complexidade desse conjunto de fatores que modificam o cenário estimula pesquisas aplicadas que discutem cenários, direcionam idéias e testam hipóteses sobre as causas e os prováveis futuros efeitos sobre a área urbana atual e também sobre o cotidiano da população local. Planos diretores municipais e projetos técnicos associados às diretrizes de ocupação e uso do solo podem e devem ter apoio científico nos resultados alcançados nesta pesquisa. Atividades extensionistas têm sido executadas junto à comunidade local, informando, através de mapas temáticos impressos, sobre o comportamento dos processos costeiros lá em curso. Essa etapa foi naturalmente um desdobramento da pesquisa aplicada aqui descrita sucintamente, e que pode ter seus resultados disponíveis e acessados no website [www.uff.br/atafona](http://www.uff.br/atafona).

## 2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Diante do cenário dramático em Atafona, com destruição, desde a década de 50, pela ação efetiva das ondas, de 183 construções, distribuídas em 14 quadras (AZEVEDO 2004), a população local, seus dirigentes e administradores públicos indagam sobre suas causas e sua possível evolução para os próximos anos. A velocidade com que a erosão tem atuado na área de estudos chegou a alcançar uma taxa de 7,8m/ano, em pontos mais críticos, no pontal arenoso, imediatamente na parte meridional da foz do rio Paraíba do Sul.

A inexistência de dados físico-ambientais contínuos, distribuídos em série históricas confiáveis não possibilita hoje a análise completa para compreensão mais completa dos fenômenos, mas a partir do uso de imagens digitais georreferenciadas para os anos de 1954, 1964, 1974, 1976 e 2000, com extração de objetos através de sua geometria, foi permitida a realização de análise da tendência da variação da linha de costa, para essas épocas específicas.

## 3. DESENVOLVIMENTO

A planície Quaternária do rio Paraíba do Sul é limitada por terraços Pleistocênico e depósitos Holocênico. É caracterizada por feições costeiras marcantes do processo de evolução do delta, a saber, cordões arenosos compostos por cristas e cavas distribuídos por feixes com divergência ou discordâncias em sua orientação. Esses cordões são paleopraias que sofreram no passado geológico ação de agentes que provocaram outros episódios erosivos, semelhantes ao atual, durante a formação da planície deltaica.

Diante das fotografias aéreas disponíveis e do uso de tecnologias digitais de geoprocessamento (GPS e SPRING) foi possível determinar a configuração espacial da linha de costa e compará-las entre si. Desde janeiro de 2004 estão sendo realizadas medidas com GPS, no modo relativo cinemático, as posições da linha d'água e da falésia ativa (escarpa erosiva) com precisão geodésica. O propósito foi a determinação posicional da tendência da linha de costa, o que foi alcançado plenamente. Criou-se um banco de dados no ambiente do sistema SPRING contendo as posições espaciais dessas feições e imagens digitais

georreferenciadas, tendo como referências o sistema terrestre de coordenadas geodésicas e o sistema geodésico SAD-69. Em função de metodologia validada por RIBEIRO (2005) foram executados os processamentos das imagens previamente e a elaboração dos mapas representativos da dinâmica dos fenômenos estudados.

A seguir são apresentadas fotografias aéreas panorâmicas tomadas com apoio do IBAMA-Campos onde se observa o processo erosivo em curso na área urbana de Atafona.



Figura 2: Visão panorâmica do pontal de Atafona e área urbana afetada pela erosão marinha.

Quadro 1 - Áreas erodidas e perímetros correspondentes aos polígonos vetorizados, tendo como referência o cenário de 1954 em relação a outras datas posteriores. Valores expressos em função de erosão e de progradação da linha de costa.

Ano	Erosão (retrogradação)		Progradação	
	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)
1964	13.978	6.135	546.549	26.014
1974	73.157	3.611	1.456.685	23.960
1976	243.577	7.779	689.672	18.567

2000	919.082	8.581	1.725.906	23.258
2004	562.910	7.514	1.110.602	14.425
2005	584.462	8.039	1.053.747	13.978

Tabela 1: erosão e progradação da linha de costa a partir dos mapeamentos.

Outra frente de trabalho desenvolvida foi a execução do mapeamento do pontal de Atafona, com o propósito de conhecer a mobilidade da linha de costa, que teve sua forma muito alterada ao longo desses últimos dois anos (2004 e 2005). Para o monitoramento da linha de costa no pontal arenoso de Atafona foram medidas com o sistema GPS, no modo relativo e cinemático, as posições da linha de costa. Comprovou-se o caráter efêmero e dinâmico do contorno do pontal ao longo do tempo. A Figura 8 indica, como exemplo, a posição da linha de costa associada aos levantamentos mensais executados durante o ano de 2004. As linhas mensais estão apresentadas através de linhas contínuas coloridas.

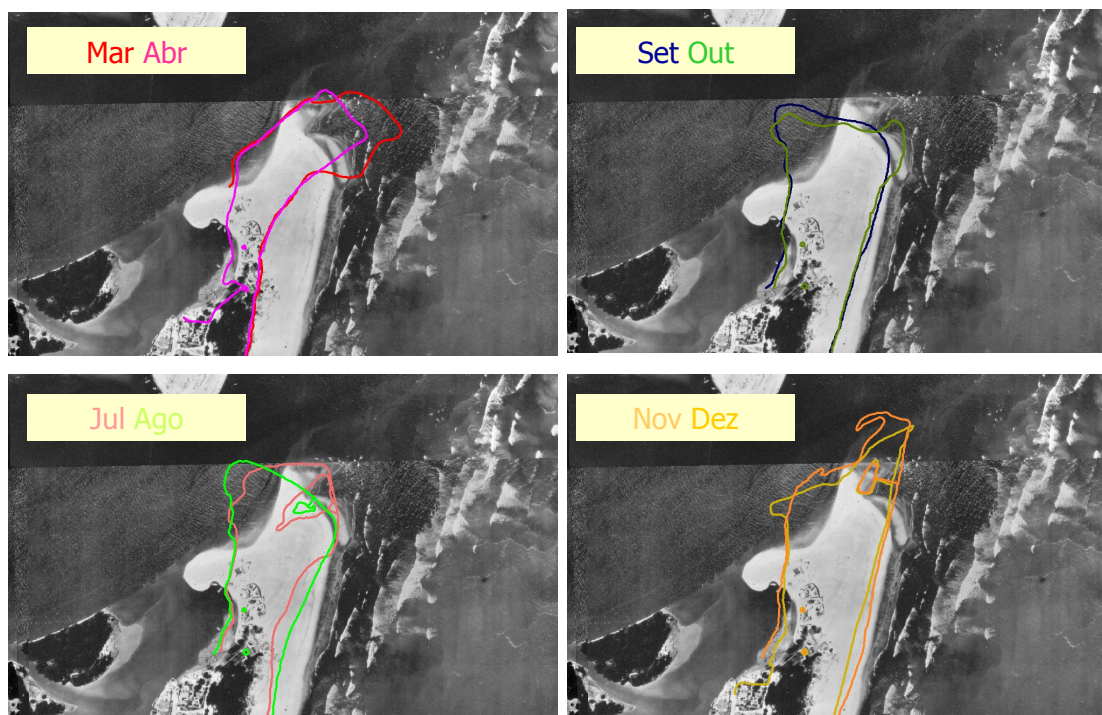


Figura 3: Apresentação da variação mensal da linha de costa no pontal arenoso de Atafona, a partir de levantamentos GPS, no modo relativo e cinemático.

Ao longo dos anos estudados o pontal arenoso se apresentou com formas diferentes, caracterizando erosão e progradação em épocas específicas (1954, 1964, 1974, 1976 e 2000) (Figura 4). As condições ambientais a que se submeteu nas épocas são ainda desconhecidas, mas há os agentes fluvial e marinho presentes com influência marcante da ação de ondas e de variação hidrodinâmica do rio. Na década de 70 (especificamente em 1974 e 1976) houve progradação do pontal, o que estimulou, na ocasião, a sua ocupação por quiosques e bares, além de construções populares. De 2000 até os dias de hoje a escarpa erosiva está localizada sobre construções de classe média, predominantemente de veranistas. A estratégia de

ocupação futura deve levar em conta essa história recente de variação da linha de costa, permitindo identificar áreas de alto risco à população local.

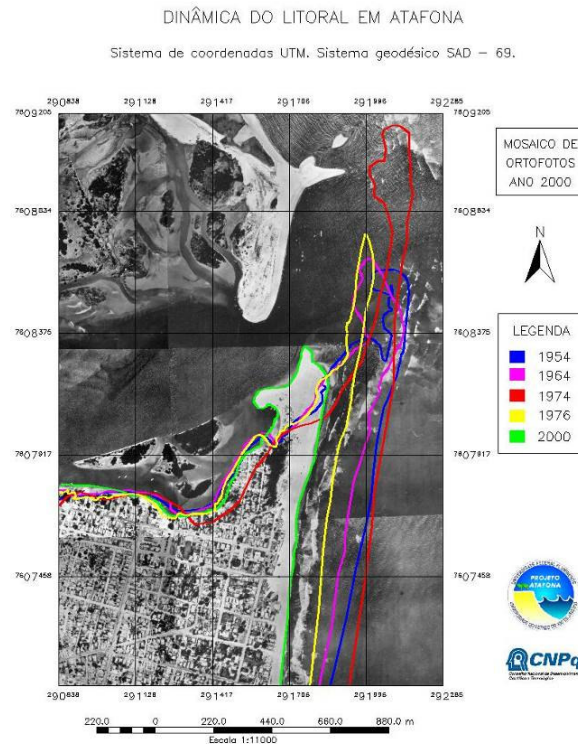


Figura 4: Variação posicional do pontal arenoso.

O fenômeno de erosão tem relação com a própria formação gradual do delta do rio Paraíba do Sul. Eventos dessa natureza já ocorreram e há cicatrizes evidentes disso na planície costeira. Analisando fotografias aéreas do ano de 2000 observou-se a existência de uma série de cordões arenosos que foram praias do passado geológico (paleopraias). A Figura 12 ilustra um conjunto de cristas de praia vetorizadas a partir das fotografias, caracterizando feixes que possuem orientações distintas (ALMEIDA et al. 2004).

A velocidade de erosão observada na parte entre o pontal arenoso, entre a foz do rio, e Chapéu de Sol (onde se localiza o Camping e o Corpo de Bombeiros), numa extensão de 3,5 km aproximadamente, foi variável e diminui em direção ao Sul. Associar as velocidades com o comportamento do relevo, do ponto de vista altimétrico (declividade), é uma tarefa importante para avaliar a evolução do processo para os próximos anos. Para isso foram executados levantamentos topográficos e geodésicos, com estação total e GPS respectivamente, com o propósito de conhecer a declividade do terreno na área urbana, atualmente localizada na frente erosiva de alto risco.

A partir de pontos de referência foram executados levantamentos de campo que puderam gerar modelos numéricos do terreno que configurassem o relevo. Assim foi possível constatar que a velocidade de erosão é maior quando a declividade é baixa. Hoje, na frente erosiva, onde se localizam as duas caixas d'água, que abastecem o balneário de Atafona, observa-se uma velocidade de 2,7m em praticamente 1 ano de levantamentos de campo realizados com GPS, executados em janeiro de 2004 e em fevereiro de 2005 (RIBEIRO et al. 2005).

O cenário atual é preocupante, uma vez que o processo de erosão está presente e torna as áreas adjacentes à de alto risco - áreas nobres - que têm risco de destruição nos próximos anos, se as condições ambientais se mantiverem como têm sido nos últimos anos. A Figura a seguir apresenta a área urbana destruída no pontal de Atafona configurada para 1990 (AZEVEDO 2004) sobre mosaico de fotografias aéreas de 2000.

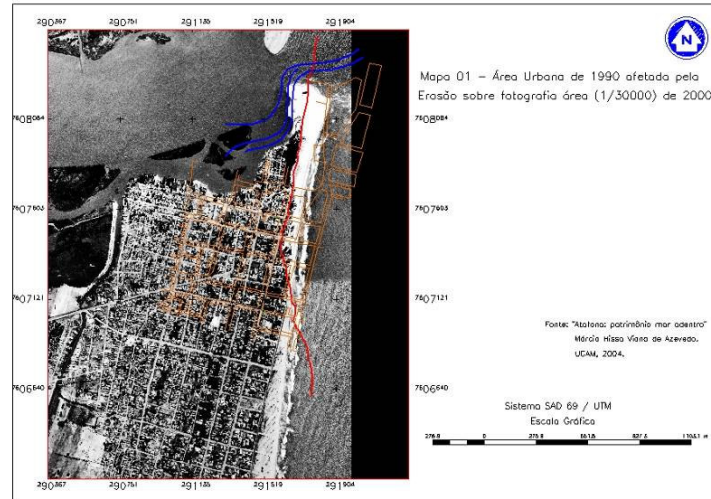


Figura 5: Mapa da destruição para cenário em 1990 sobre foto de 2000.

A tabela a seguir apresenta as precisões alcançadas nos levantamentos GPS, modo relativo e cinemático no caminhamento no pontal arenoso em Atafona.

Data			PDOP	RMS-lat (cm)	RMS-lon (cm)	RMS-h (cm)
26	Mar	2004	2,5	1,8	3,2	2,5
17	Abr	2004	1,3	2,6	3,9	4,1
22	Mai	2004	2,5	2,3	2,0	3,0
18	Jun	2004	1,9	2,1	3,0	4,1
17	Jul	2004	2,6	1,9	1,9	2,8
20	Ago	2004	1,3	2,0	2,5	3,0
18	Set	2004	2,4	1,7	2,8	4,2
23	Out	2004	1,7	2,2	2,4	2,9

Tabela 3: precisões alcançadas nos levantamentos GPS, modo relativo e cinemático no caminhamento no pontal arenoso em Atafona.

A tabela a seguir apresenta valores das precisões alcançadas durante os levantamentos GPS dos pontos de controle indicados na Figura 14, no modo relativo e estático (bases curtas).

<b>Estação</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Dist. (m)</b>	<b>PDOP</b>	<b>RMS-lat (mm)</b>	<b>RMS-lon (mm)</b>	<b>RMS-h (mm)</b>
1	18,50	19,200	1,4	0	0	2
2	14,83	151,260	2,1	2	2	4
3	11,13	258,258	1,6	2	2	4
4	12,27	413,837	1,5	2	2	4
5	13,80	535,358	1,6	2	2	4
6	11,83	576,710	1,3	3	3	4
7	8,97	704,792	1,5	2	3	2
8	10,57	634,382	1,4	2	2	4

Tabela 4: precisões alcançadas durante os levantamentos GPS dos pontos de controle indicados na Figura 14, no modo relativo e estático (bases curtas).

As Figuras 14 e 15 a seguir ilustram parte da área urbana mapeada em 3D, sendo que as áreas no rio Paraíba do Sul e oceânicas não obtiveram dados amostrais, o que as torna áreas sem possibilidade de interpretações. Os levantamentos foram executados com estação total e tiveram apoio de estações de controle azimutal com GPS.

O campo de dunas instalado na atual praia também é objeto de investigação. Os autores promoveram a execução de ensaios laboratoriais relativos ao processo de modelagem numérica do terreno, onde foi produzido mapa 3D, com a configuração do terreno para um cenário de fevereiro de 2005. Os levantamentos de campo foram executados com rastreadores GPS GTR-A. A Figura a seguir ilustra um dos modelos gerados (PEREIRA 2006), tendo como malha amostral de 2,5m x 2,5m, aproximadamente, a partir de dados GPS no modo relativo e cinemático.



Mapa 3D de dunas frontais na área de risco de erosão marinha em Atafona

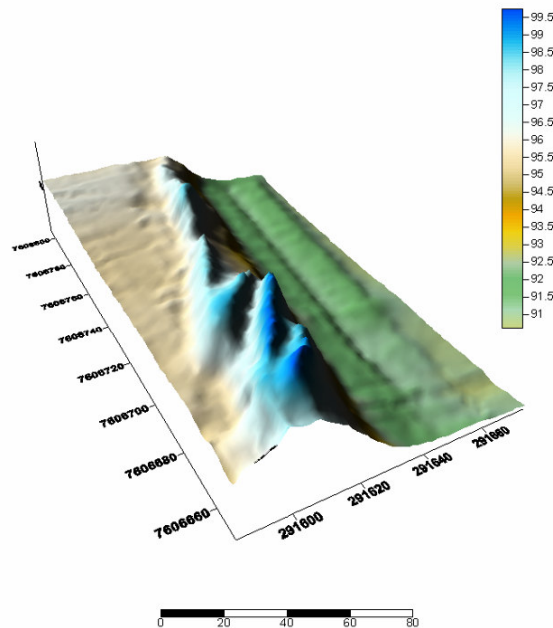


Figura 6: Modelo 3D de duna frontal em Atafona.

A produção de mapas temáticos tem contribuído para a retratação de cenários em escalas regional e local. A partir da experiência no uso do sistema SPRING, com apoio do sistema GPS, observou-se alta produção de documentos cartográficos diversos, indiscutivelmente importantes para as interpretações geomorfológicas dos processos costeiros em curso na zona litorânea. Mesmo diante do quadro de mapas produzidos, há parâmetros físico-ambientais ainda desconhecidos. Uma vez vencida a etapa de produção dos mapas, surge a necessidade paralela de analisar esses dados ainda ausentes ou incompletos e associá-los aos aspectos de localização, distribuição e extensão dos fenômenos dinâmicos em questão. A possibilidade das interpretações complexas está diretamente dependente desses dados mais expressivos.

#### 4. CONCLUSÕES

Fazer uso de tecnologias digitais de geoprocessamento que dêem conta do mapeamento da linha de costa e sua flutuação nos últimos anos consiste numa metodologia adequada, dentro das limitações das imagens sensoriais utilizadas e da precisão dos rastreadores GPS utilizados. No modo relativo obteve-se precisão centimétrica, o que permitiu na escala de 1/8.000 representar a configuração espacial das feições de imediato interesse. Fazer uso de modelagem numérica do terreno para retratação de parte do campo de dunas e monitorar o seu volume tornou-se importante para as investidas sobre pesquisa da dinâmica costeira associada ao vento. Analisar as variações altimétricas do terreno, especialmente na área urbana em Atafona, possibilitou associar a maior velocidade de erosão à baixa declividade.

O estágio atual do processo erosivo em Atafona é marcado pela ação ainda agressiva das ondas. Não há indícios hoje de que o processo está estagnando. Interpretar o fenômeno do ponto de vista geomorfológico induz a entender que esse fenômeno geográfico dinâmico possui causas naturais e pode ser monitorado com tecnologias digitais de geoprocessamento.

A planície costeira ainda representa cenário para outras investigações, pois há temas como deriva litorânea, ação dos ventos e regime de ondas que devem ser estudados com mais profundidade.

A modelagem desses dados requer um conhecimento de séries históricas de dados observacionais. As taxas de erosão conhecidas ao longo da costa são pontuais, isto é, com a continuidade da geração das linhas de costa por GPS é possível determinar a taxa estimada por ponto estudado ao longo da linha de costa. Determinar limites para áreas de construções leves e pesadas é uma saída para direcionar e orientar a ocupação atualmente. Medidas preventivas são bem vindas, diante do cenário crônico que hoje se vive, essencialmente em Atafona. Como a erosão está diretamente associada ao ataque das ondas, que por sua vez tem sua intensidade e direção definidas e alteradas pelos ventos, é imprescindível monitorar o seu comportamento ao longo do tempo. Séries históricas estão sendo alvos de levantamentos e análise atualmente.

A modelagem de ondas poderá dar uma indicação do seu comportamento sobre a praia nos últimos anos, mas há parâmetros ainda desconhecidos do passado recente, especificamente para os últimos 50 anos. O investimento no monitoramento a partir de dados ambientais é o que poderá dar suporte às futuras interpretações do fenômeno que hoje atuam nesse litoral.

Objetivando uma futura recuperação ou restituição do patrimônio histórico imobiliário, possível de ser perdido pela ação das ondas, foi feito o cadastramento de, aproximadamente, 300 casas na frente erosiva e na área urbana compreendida entre o pontal de Atafona e o Corpo de Bombeiros, distribuídas numa extensão de 4 km. O cadastramento consistiu no posicionamento com GPS da casa com fotografia panorâmica digital com perspectiva frontal. Essa tarefa está em curso e fará parte do banco de dados espacial criado pelo projeto no ambiente do SPRING.

## 6. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, M. V. H. Atafona, patrimônio mar adentro: formação, planejamento e destruição do balneário de Atafona – RJ Dissertação de mestrado em Planejamento Regional e Gestão de Cidades Universidade Candido Mendes, Campos dos Goytacazes (RJ), 102p., 2004.

DIAS, G. M. A frente deltaica do rio Paraíba do Sul XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1984.

PEREIRA, C. Q. Modelagem numérica do terreno a partir de dados de estação total e GPS em aplicações geomorfológicas Monografia de final de curso Engenharia Cartográfica UERJ, 2006.

RIBEIRO, G. P. Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço-temporal em ambiente costeiro. Tese de doutorado Programa de Pós-Graduação em Geografia UFF, 215p., 2005.

RIBEIRO, G. P.; Figueiredo Jr., A. G.; Bartel, B. F. e Oliveira, C. S. Mapeamento da tendência morfodinâmica mensal (período: 2004-2005) da linha de costa entre Atafona e Grussaí, São João da Barra (RJ) com suporte do sistema GPS e fotografias aéreas XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, Macaé (RJ), 2005.

SOUZA, R. C. et al. Praias arenosas e erosão costeira Quaternário do Brasil, Holos Editora, 2005.

SUGUIO, K. Geologia sedimentar, ditora Edgard Blücher Ltda., 2003.