

GEODÉSIA AMBIENTAL APLICADA À ÁREA COSTEIRA E HIDROLÓGICA

RODRIGO MIKOSZ GONÇALVES
HEITHOR ALEXANDRE DE ARAÚJO QUEIROZ
TARSO LUCONI ROSENHAIM
GABRIELA BISPO VALENZUELA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
rodrigo.mikosz@ufpe.br, heithorqueiroz@gmail.com, tarso78@gmail.com, gbvalenz.geo@gmail.com

RESUMO – O laboratório de cartografia costeira (LACCOST) da UFPE vem atuando em pesquisas voltadas para o meio ambiente costeiro e estudos hidrológicos no nível de mestrado objetivando a formação de recursos humanos na área de ciências geodésicas. O tema principal de estudo abordado neste artigo é a geodésia ambiental, que pode ser simplificada como a junção das ciências geodésicas voltadas a questões relacionadas ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho é divulgar três monografias em desenvolvimento e apresentar suas características gerais e sua relação com a geodésia ambiental. Entre elas encontram-se: o uso do sensoriamento remoto para geração do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e sua relação com estudos voltados à vulnerabilidade costeira, a missão GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*) para aplicações hidrológicas de monitoramento e pôr fim a gestão integrada da zona costeira do inglês *Integrated Coastal Zone Management* – ICZM que aborda a cartografia para auxiliar no processo de gestão da zona costeira buscando integrar os elementos naturais e antrópicos com o intuito de alcançar a sustentabilidade. Como resultados desse trabalho tem-se a apresentação geral de cada tema de pesquisa incluindo a parte metodológica e sua relação voltada à geodésia ambiental.

ABSTRACT - The coastal cartography laboratory (LACCOST) from UFPE (Federal University of Pernambuco, Brazil) has been working in researches related to coastal environment and hydrology studies at masters level aimed at training human resources in geodetic sciences. The main subject of this study is *environmental geodesy* that can be simplified as the junction of geodetic sciences focused on issues related to the environment. The objective of this paper is to promote three master's thesis under development and to present its general characteristics and its relationship with environmental geodesy. Among them are: the use of remote sensing to generate the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and its relationship with studies focused on coastal vulnerability, the GRACE mission (Gravity Recovery And Climate Experiment) for hydrologic monitoring applications and the Integrated Coastal Zone Management (ICZM) that addresses mapping to assist coastal zone management process seeking to integrate the natural and human elements in order to achieve sustainability. As result of this work has been the overall presentation of each research topic including the methodological part and its relationship with environmental geodesy.

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente vem sendo objeto de estudo por vários cientistas durante muito tempo, porém é a partir destas últimas décadas que o sensoriamento remoto do meio ambiente, utilizando métodos geodésicos, começou a ganhar ímpeto (Awange e Kiema, 2013). O lançamento e modernização de vários satélites permitiram que o meio ambiente pudesse ser mensurado, mapeado e modelado. De acordo com Awange e Kiema (2013) esse advento originou um novo campo nomeado como *environmental geodesy* aqui traduzido como geodésia ambiental, que pode ser definida como um ramo da geodésia que aplica técnicas geodésicas para monitorar o meio ambiente e proporcionar informações e observações que contribuam com o gerenciamento efetivo do meio ambiente, dando suporte apropriado a tomada de decisões. Isto pode ser considerado como verdadeiro, pois a tarefa primordial da geodésia é a mensuração da superfície terrestre, sendo uma tarefa que facilmente encontra aplicações ao meio ambiente.

Entre os instrumentos e técnicas aqui consideradas como geodésicas com aplicações para estudos relacionados ao meio ambiente encontram-se o SLR (*Satellite Laser Ranging*), que podem ser utilizadas no monitoramento de redistribuição de massas pós-glaciais ou na calibração de satélites altímetros; o InSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*), utilizados no monitoramento de estruturas verticais, vazamento de óleo, derretimento de gelo polar, e mudanças no nível médio dos mares; o VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), que entre suas aplicações vem sendo utilizado para detectar o movimento de placas tectônicas. Destaca-se também a importância de missões com os satélites gravímetros como o CHAMP (*CHALLENGING Mini-satellite Payload*), o GOCE (*Gravity Field and the steady state-of-the ocean circulation Explorer*) e o GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) (Awange e Kiema, 2013). Além do “talvez” mais popular instrumento utilizado por engenheiros cartógrafos e agrimensores e pesquisadores vinculados às ciências geodésicas o GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

A seguir são apresentadas as características gerais de três pesquisas em desenvolvimento a nível de mestrado no programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, onde o principal objetivo deste artigo é divulgar os temas de pesquisa e explorar a correlação com a *geodésia ambiental*.

2 NDVI

O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) é uma técnica de realce de imagens, vista em Huete (1988), que utiliza as bandas vermelho e infravermelho próximo para a obtenção de valores entre -1 e 1, facilitando a identificação da cobertura vegetal e a distinção de outros elementos da superfície. Este índice de vegetação, NDVI, baseia-se no princípio da diferença normalizada de energia eletromagnética (REM) absorvida na banda vermelho e refletida no infravermelho. O NDVI pode ser obtido pela Equação 1 encontrada em Huete (1988).

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad (1)$$

Onde R_{NIR} e R_{RED} são os valores de Energia Eletromagnética refletidos nas bandas do Infra Vermelho Próximo e Vermelho, respectivamente.

As aplicações do NDVI são várias, dentre as quais cabe destacar os trabalhos de Marino e Alvino (2015), que utilizaram NDVI para a verificação do crescimento de culturas; Zu e Liu (2015), aplicando o NDVI para estimativa de biomassa acima do solo e Chouhan e Rao (2011), que identificaram a cobertura vegetal de uma área litorânea, através do NDVI, para relacionar com as áreas danificadas pelo impacto de um tsunami.

Parthasarathy e Natesan (2015), tratam acerca da erosão que pode ser recorrente em áreas costeiras e esse diagnóstico pode estar relacionado, entre outros fatores, pela perda de vegetação e pelo desenvolvimento urbano nas áreas próximas ao litoral, já que 44% da população mundial vive em uma distância entre 1 Km da costa. Karaburun (2010) afirma que a cobertura vegetal está entre os mais importantes indicadores de erosão.

Nas áreas costeiras existem vários elementos e feições passíveis de mapeamento, sejam elas naturais, como cobertura vegetal e dunas, ou artificiais como residências, obras de contenção, entre outros. O impacto causado pela modificação dessas áreas, seja por interferência antrópica ou natural, pode entre outros problemas, gerar prejuízos aos cofres públicos, e pôr em risco a segurança das pessoas (Wansley et al. 2015).

Nesta pesquisa almeja-se mapear a cobertura vegetal de todo o litoral do estado de Pernambuco e assim identificar a relação existente entre a presença ou ausência de cobertura vegetal, com os índices de erosão observados em campo e também com o Mapa de Vulnerabilidade à Erosão Costeira – obtido pela metodologia *Coastal Vulnerability Index* (CVI). A Figura 1 apresenta um fluxograma, que sintetiza o que vêm sendo desenvolvido neste trabalho, que faz uso do NDVI aplicado à área costeira.

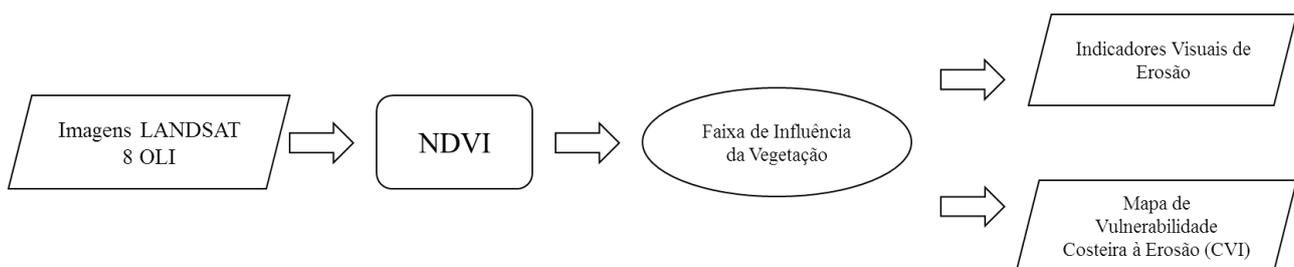


Figura 1 – Fluxograma das atividades da pesquisa NDVI

Como procedimentos metodológicos deste trabalho, vem sendo mapeado a cobertura vegetal do litoral de Pernambuco através do NDVI gerado a partir de imagens do sensor OLI do satélite LANDSAT 8. Após isso será realizado o procedimento de verificação da influência da vegetação nos processos erosivos, onde será calculada a distância entre a linha de costa e a cobertura vegetal e também será feita a análise da correlação entre os indicadores de erosão e o Mapa de Vulnerabilidade.

Como resultados esperados a hipótese principal é que as áreas identificadas com predominância de vegetação viva apresentem um índice de vulnerabilidade a erosão menor que as áreas que não têm a proteção natural da cobertura vegetal. O que poderá confirmar o fato de que a vegetação é um importante indicador de erosão.

3 GRACE

O programa GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*) é um projeto conjunto entre os centros aeroespaciais dos Estados Unidos – NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e da Alemanha – DLR (*Deutsche Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt*). Tem como objetivo a obtenção de medidas precisas do campo gravimétrico terrestre e também da sua variabilidade (anomalias) ao longo do tempo (Figura 2).

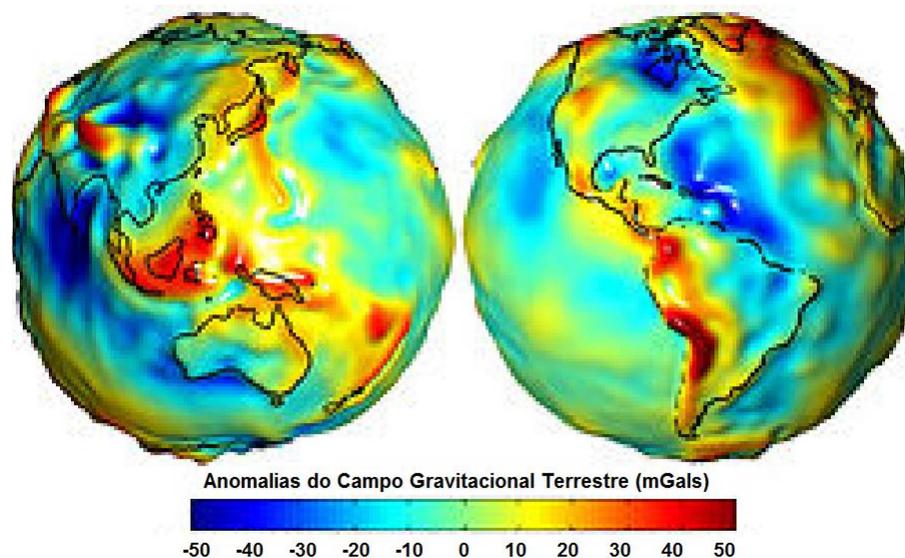


Figura 2 - Anomalias do campo gravitacional terrestre monitoradas pelos satélites GRACE. As partes em vermelho representam anomalias fortes e as azuis fracas.

Fonte: NASA/JPL/University of Texas Center for Space Research (2003).

A missão GRACE consiste em dois satélites artificiais idênticos na mesma órbita (Figura 3), a cerca de 220 km um do outro e 500 km sobre a Terra. A primeira missão foi lançada em março de 2002 com vida útil prevista de 5 anos, entretanto foi estendida e ainda está ativa, e seu sucessor tem previsão para ser lançado em 2017.

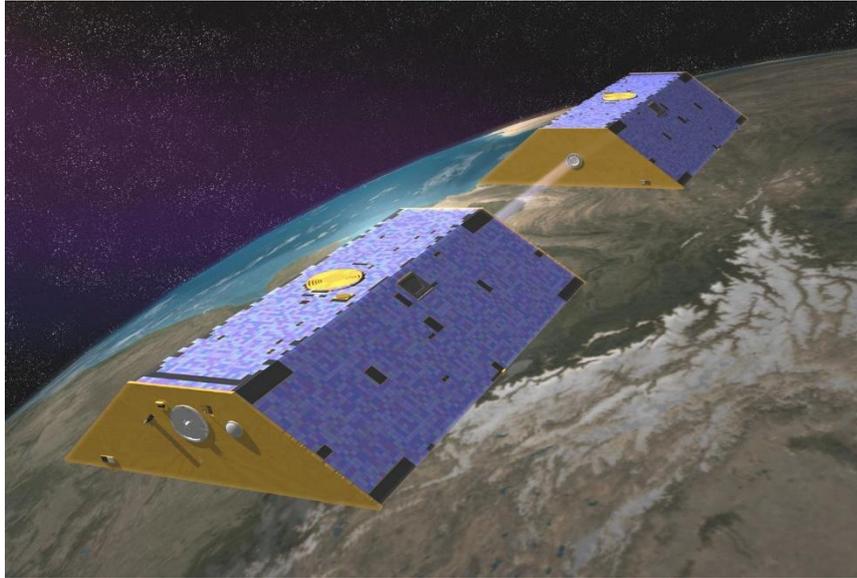


Figura 3: apresentação artística dos satélites da missão GRACE.

Fonte: NASA/JPL (2002).

Segundo Meneses & Almeida (2012), uma definição mais científica que se pode dar ao sensoriamento remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres.

Contudo, o programa GRACE é pioneiro em sensoriamento remoto no monitoramento terrestre porque seu produto não é derivado do intercâmbio das ondas eletromagnéticas com a superfície terrestre e o que consta nela. Em vez disso, os satélites GRACE usam um sistema de variação de micro-ondas para medir com precisão as alterações na velocidade e distância entre as duas espaçonaves “gêmeas”. As quais, por sua vez, sofrem mudanças ao passarem por anomalias gravitacionais. Medindo a constante variação de distância entre os dois satélites e combinando com dados precisos de instrumentos de sistemas de posicionamento global (GNSS), são processados os mapas detalhados das anomalias gravitacionais da Terra.

Medindo as assinaturas de gravidade variáveis no tempo que são associadas com a redistribuição de massa nos componentes atmosfera da terra, oceano e sólidos (WATKINS, 2000), o GRACE mostra como a massa é distribuída em todo o planeta e como varia temporalmente. Tendo assim, aplicações para oceanógrafos, hidrólogos, glaciologistas, geólogos e outros cientistas que estudam os fenômenos que influenciam o clima ou são influenciados por ele.

Visando as informações sobre o comportamento do armazenamento d’água (águas superficiais, subterrâneas e umidade do solo) que os dados gravimétricos processados oriundos do GRACE podem fornecer, são feitos estudos sobre o regime de disponibilidade total de água (TWS – *Total Water Storage* da sigla em inglês) no Brasil.

Os dados da missão GRACE (SWENSON, 2012. LANDERER; SWENSON, 2012. SWENSON; WARH, 2006) são disponibilizados na forma de malha (*grid*) georreferenciada, como “espessura de água equivalente” (*water equivalent thickness*), com unidade em centímetros, que correspondem às mudanças mensais na gravidade causadas por alterações mensais de massa na superfície terrestre e sobre ela (WAHR et al., 1998). Esta espessura equivalente de água corresponde à variações de massa mensais perto da superfície terrestre em um perfil vertical onde a espessura da camada de água pode ter dimensões quilométricas.

A Figura 4 mostra a distribuição de altura equivalente de água, que reflete a disponibilidade hídrica no Brasil, para o mês de maio dos anos 2002, 2008 e 2015. Nota-se que de 2002 para 2008 houve um aumento na disponibilidade tanto na região amazônica, como no Centro-Oeste e parte do Nordeste brasileiros, evidenciados pelas cores azuis e verde no mapa, bem como existiu uma diminuição na disponibilidade na região Sul, salientada pelas cores mais claras. De 2008 a 2015 há uma pequena recuperação nas regiões Norte e Sul, com um aumento da área abrangente e redução nas regiões Nordeste e Sudeste. Este exemplo simples demonstra uma importante ferramenta oriunda da geodésia aplicada a questões ambientais.

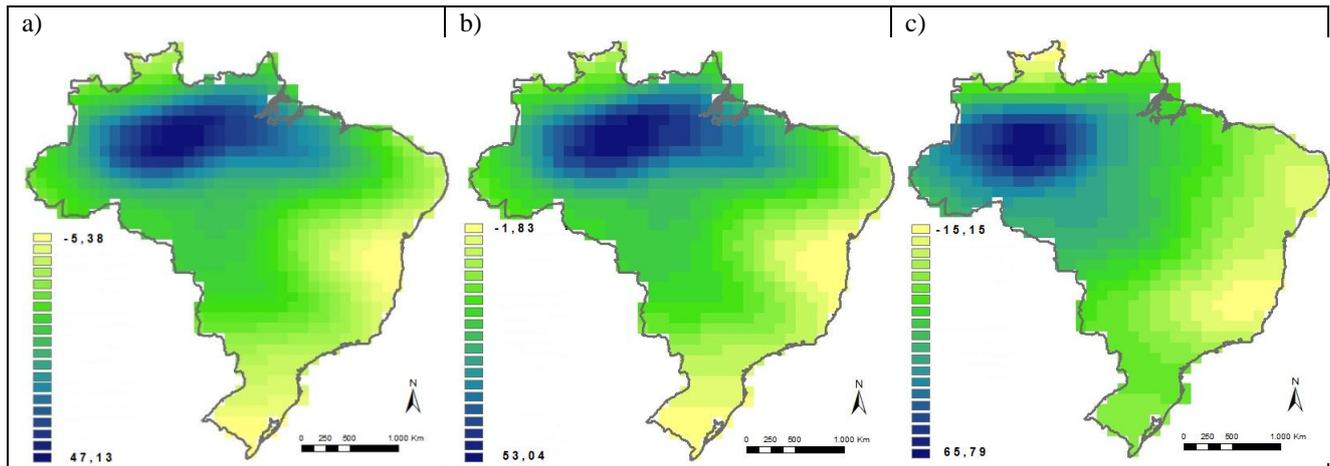


Figura 4: espessura equivalente de água no Brasil para o mês de maio de 2002 (a), 2008 (b) e abril de 2015 (c).

Os dados são fornecidos mensalmente desde o lançamento dos satélites, com alguns poucos meses faltantes ocasionados por questões técnicas. Ao serem analisados mês a mês durante um ano podem ser observadas variações sazonais na disponibilidade hídrica que normalmente refletem os regimes de precipitações regionais. O gráfico da Figura 5 indica o comportamento do nível médio de espessura equivalente de água considerando todo o Brasil durante o ano de 2015.

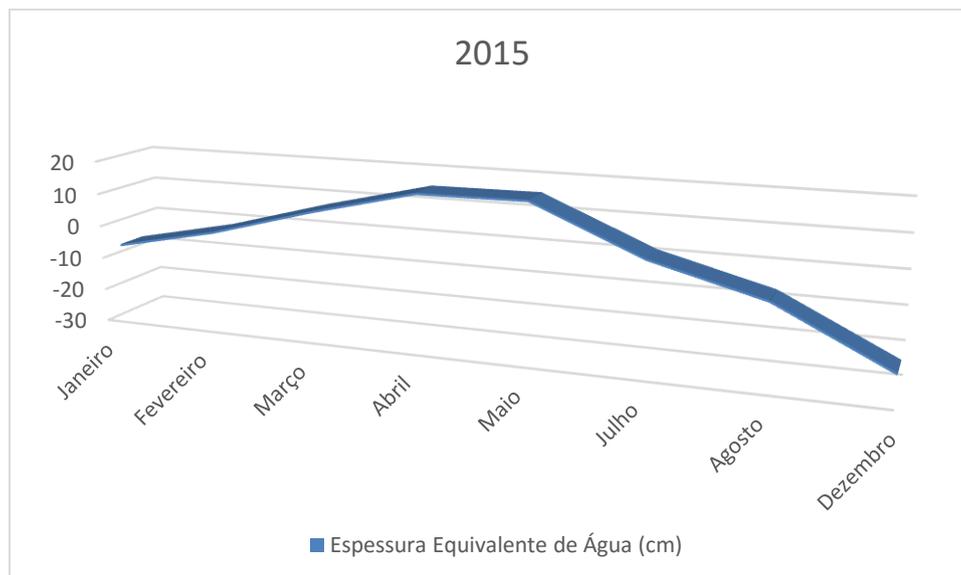


Figura 5: gráfico da média de espessura equivalente de água no Brasil ao longo de 2015.

No entanto, quando considerados períodos temporais mais longos, como 3, 5, 10 anos ou a totalidade de atuação da missão (atualmente no décimo quinto ano), são identificadas variações que refletem eventos climáticos mais extremos e de abrangência continental e global, tais como grandes secas, inundações, *El Niño*, *La Niña*, etc.

Visando utilizar os dados oriundos do GRACE e se familiarizar cada vez mais com suas potencialidades para a geodésia ambiental, o LACCOST vem atuando com um projeto de pesquisa chamado PVE (Pesquisador Visitante Especial)/CAPES onde um dos seus objetivos é estudar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos no Brasil. O projeto encontra-se em desenvolvimento e prevê a formação de um aluno de mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE.

3 ICZM

A zona costeira configura uma área intensamente dinâmica, tanto em relação aos seus aspectos físicos quanto socioeconômicos. Ela hospeda a maior parte da população mundial e representa uma das áreas economicamente mais importantes, destacando-se a grande diversidade dos usos da zona costeira. É possível enfatizar uma diversidade de atividades incompatíveis com o ambiente e que competem por espaço e recursos limitados e relacionar à sua sensibilidade frente à eventos climáticos, hidrodinâmicos e sociais, que enfraquecem o meio ambiente e intensificam a

necessidade da implementação de políticas de planejamento e gestão, as quais visam regular o uso da terra e mitigar os efeitos que ainda possam restar (KLUMB-OLIVEIRA, 2015).

Desde que se intensificou a preocupação com as questões ambientais, as discussões relacionadas à gestão integrada têm ganhado espaço. Tal fato justifica-se pelo fato de que a gestão integrada analisa as atividades e monitora o uso de recursos naturais, de maneira a construir uma gestão sustentável, preservando para as gerações futuras. A partir desse ponto de vista, as atividades de diagnóstico, zoneamento e planejamento são essenciais para o sucesso do processo da gestão integrada da zona costeira (KLUMB-OLIVEIRA, 2015).

Post (1996) conceitua o ICZM como um processo contínuo e dinâmico que aborda o uso, o desenvolvimento sustentável e a proteção de zonas costeiras, através da união de entidades governamentais e a comunidade interessada para que, juntos, possam garantir o desenvolvimento e a gestão de planos integrados para a zona costeira.

O GESAMP (1996), afirma que o objetivo do ICZM é melhorar a qualidade de vida das comunidades humanas que dependem dos recursos costeiros, mantendo a diversidade biológica e a produtividade dos ecossistemas, além de ser necessário integrar o governo com a comunidade, a ciência com a gerência e com os interesses públicos na preparação e execuções de ações que combinem investimento em desenvolvimento com a conservação das qualidades e funções ambientais.

O processo de gestão integrada proporciona discussões acerca das preocupações a nível local, regional, nacional e global, respeitando as particularidades e proporcionando uma abordagem ampla. A abordagem do ICZM envolve quatro elementos – Geográfico, Temporal, Setorial e Político/Institucional – e seu desenvolvimento se dá de forma cíclica através de 5 etapas consecutivas (GESAMP, 1996). Tal como pode ser observado na figura 6.

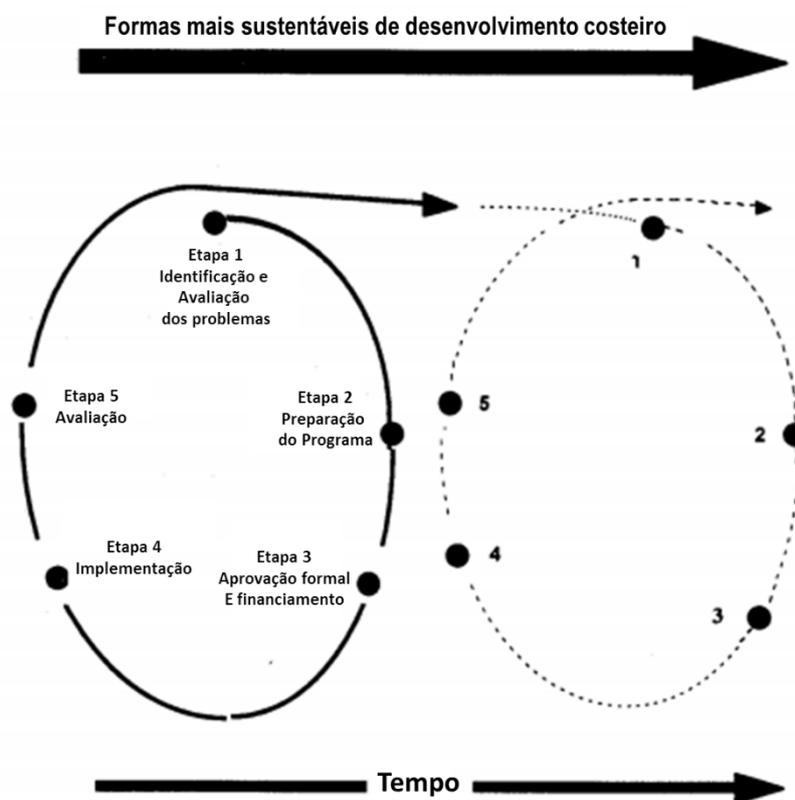


Figura 6: As etapas do ciclo ICZM. Adaptado de GESAMP, 1996.

O processo tem início na etapa 1 (Identificação e avaliação preliminar dos aspectos relevantes), identificando e analisando as problemáticas do trecho da zona costeira em questão, logo em seguida, são definidos o plano de políticas e ações e os objetivos a serem alcançados por este – etapa 2 (Preparação do Programa). Na etapa 3 (Aprovação formal e financiamento), acontece a formalização do plano de ação, através de uma lei, decreto ou acordo interinstitucional e a obtenção de fundos para a implementação de um conjunto selecionado de ações. Na etapa 4 (Implementação), acontece a operacionalização dos procedimentos propostos na etapa anterior, cujos mecanismos podem incluir reuniões públicas, resolução de conflitos, procedimentos de fiscalização, entre outros; e a execução de ações previstas relacionadas à construção de infraestrutura física, reforço das instituições e compartilhamento das formas adequadas de utilização dos recursos. A etapa 5 (Avaliação), frequentemente mal executada ou ignorada, consiste na avaliação formal, onde os resultados do processo são comparados com o resultado que era esperado (GESAMP, 1996).

O processo é contínuo e recomeça na quinta etapa até que o processo seja aperfeiçoado. GESAMP (1996), afirma que programas ICZM tem ciclos que duram vários anos e, que são considerados mais sólidos os que já tenham completado uma sequência de ciclos. Portanto, as políticas ICZM devem possibilitar a garantia de uma melhor gestão da zona costeira, compreendendo os processos naturais e a dinâmica dos espaços costeiros em sua totalidade, ressaltando os princípios do desenvolvimento sustentável.

A pesquisa em questão que envolve esta temática vem sendo desenvolvida no município de Aracaju, capital do Estado de Sergipe, cujo litoral compõe o núcleo mais urbanizado do Estado. Nos últimos anos, o crescimento imobiliário intensificou as transformações da paisagem local, levando o ambiente costeiro à uma condição de vulnerabilidade e conduzindo-o a uma situação que pode oferecer potenciais riscos de desequilíbrio.

Assim, esta pesquisa objetiva analisar a evolução da paisagem da Zona Costeira de Aracaju, além de identificar os reflexos das ações antrópicas na zona costeira e determinar um modelo para vulnerabilidade e riscos ambientais decorrentes dessas ações. No entanto, a partir dos resultados obtidos, também será possível dar subsídio aos gestores locais, para que tenham elementos para elaborar o zoneamento ecológico econômico, auxiliar nas ações de planejamento territorial e tomadas de decisão por parte dos órgãos responsáveis, podendo assim, construir uma gestão mais sustentável, na Figura 7 é possível visualizar o fluxograma representativo das etapas que vem sendo desenvolvidas.

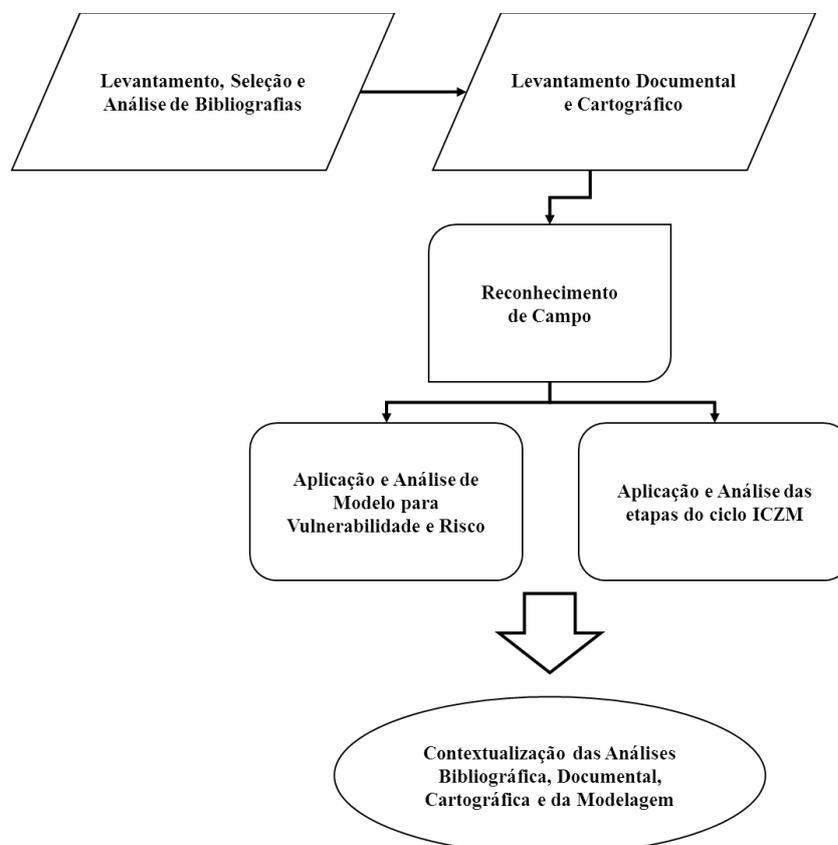


Figura 07: Etapas de desenvolvimento da pesquisa

A primeira etapa consiste no levantamento, seleção e análise de bibliografias que abordem temas paralelos ao da pesquisa, como: paisagem, abordagem sistêmica, vulnerabilidade costeira, entre outros que se mostrem necessários. O levantamento e análise do acervo documental tem por finalidade obter informações do histórico de ocupação da área de estudo, bem como conhecer as bases legais relacionadas à zona costeira no estado e município da pesquisa. Já o levantamento e análise do material cartográfico permitirão reconstruir o ambiente em SIG (Sistemas de Informações Geográficas) e possibilitar a análise da paisagem da área em diferentes anos.

O reconhecimento de campo tem por finalidade a observação das características da paisagem e dos processos dinâmicos atuantes na zona costeira. A etapa seguinte consiste na aplicação da metodologia ICZM que, por sua vez, é composta por etapas, conforme supracitado. Concomitantemente, será executada a aplicação de um modelo para análise da vulnerabilidade e risco ambientais da área de estudo. Na etapa final, será feita a contextualização de todas as análises obtidas nas etapas anteriores, gerando o resultado da pesquisa.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram destacadas três monografias de mestrado que estão em desenvolvimento no programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE. Destaca-se que em todos os casos são abordados como área de estudo o Nordeste do Brasil. Retratando desta forma a importância de um programa de pós-graduação para formação de recursos humanos nesta região do país.

Os temas apresentados neste artigo podem ser resumidos em três palavras chaves conforme foram definidas as seções deste trabalho sendo elas: NDVI, GRACE e ICZM, todas as siglas oriundas da língua inglesa, que foram exploradas bem como destacado a respectiva importância para a área de geodésia ambiental. Este termo e linha de pesquisa vêm sendo difundido na comunidade internacional e atualmente no laboratório de cartografia costeira da UFPE para justamente mostrar a importância das Ciências Geodésicas em questões que envolvam o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao suporte dos seguintes projetos: Universal/CNPq14/2012, nº do Processo: 482224/2012-6, PVE/CAPEs nº do Processo 88881.068057/2014-01 e PQ/nível 2/CNPq nº do Processo 310412/2015-3/PQ. Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação e ao Laboratório de Cartografia Costeira (LACCOST) ambos da UFPE.

REFERÊNCIAS

AWANGE, J.L.; KIEMA J.B.K. **Environmental Geoinformatics, Monitoring and Management**. Springer, 541p, 2013.

CHOUHAN, R; RAO, N. Vegetation Detection in Multispectral Remote Sensing images: Protective Role-Analysis of Vegetation i. 0042 Indian Ocean Tsunami. PDPM Indian Institute of Information Technology, 2011. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/2011/gi4dm/pdf/op37.pdf>>. .

COASTLEARN. **Principles of ICZM**. Disponível em: <<http://www.coastlearn.org/intro/introduction.html>> Acesso em 03 de jan. de 2014.

FERREIRA, L.C. A questão ambiental: sustentabilidade e políticas públicas no Brasil. 154p., São Paulo. Boitempo, 1998.

GESAMP. **The contributions of Science to integrated coastal management**. Gesamp Reports and Studies, n.61, 65p., 1996. GESAMP (Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), International Marine Organization, Rome, Italy. ISBN: 987-9251038567. Disponível em: < <http://www.fao.org/3/contents/dc824e26-b1b7-568d-8770-1f9347ecb063/W1639E00.HTM>>

HUETE, A. A soil-adjusted vegetation index (SAVI).Remote Sensing of Environment, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

KARABURUN, A. Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. Ozean journal of applied sciences, 2010. Disponível em: <http://ozelacademy.com/OJAS_v3n1_8.pdf>.

KLUMB-OLIVEIRA, L. A. ; SOUTO, R. D. . Integrated coastal management in Brazil: analysis of the National Coastal Management Plan and selected tools based on international standards. Revista da Gestão Costeira Integrada, v. 15, p. 311-323, 2015.

LANDERER, F.W.; SWENSON, S.C. **Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates**. *Water Resources Research*, v. 48, 2012. 11p.

LIMA, J.P. Modelagem Analítica da eficácia do gerenciamento costeiro integrado através de análise multicritério. 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologias e Geociência, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MARINO, S.; ALVINO, A. Hyperspectral vegetation indices for predicting onion (*Allium cepa* L.) yield spatial variability. *Computer and Electronics in Agriculture*, v. 116, p. 109-117, 2015.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012, 266 p.

NASA/JPL. **Artist's concept of the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE)**. December, 2002. Disponível em: <<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04235>>. Acessado em 08/10/2015.

NASA/JPL/University of Texas Center for Space Research. **GRACE Global Gravity Animation**. July, 2003. Disponível em: <<http://grace.jpl.nasa.gov/resources/6/>>. Acessado em 08/10/2015.

OLSEN, S.; TOBEY, J.; KERR, M. A common framework for learning from ICM experience **Ocean & Coastal Management**, v. 37, p. 155-174, 1997.

PARTHASARATHY, A.; NATESAN, U. Coastal vulnerability assessment: a case study on erosion and coastal change along Tuticorin, Gulf of Mannar. *Natural Hazards*, v. 75, n. 2, p. 1713-1729, 2014.

POST, J. C.; LUNDIN, C. G., Guidelines for integrated coastal zone management, Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series. nº.9. The World Bank, Washington, DC, 1996. 28 p.

SWENSON, S.C.; WAHR, J. **Post-processing removal of correlated errors in GRACE data**. *Geophys. Res. Lett.*, v33, 2006.

SWENSON, S.C. **GRACE monthly land water mass grids NETCDF RELEASE 5.0**. Ver. 5.0. PO.DAAC, CA, USA. 2012. Disponível em: <<http://www.jpl.nasa.gov/>>. Acessados em 21/03/2016.

WAHR, J.; MOLENARR, M.; BRUAN, F. **Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE**. *J. Geophys. Res.*, 103 (B12): 30205–30229, 1998.

WAMSLEY, T.; COLLIER, Z.; BRODIE, K.; et al. Guidance for Developing Coastal Vulnerability Metrics. *Journal of Coastal Research*, v. 31, n. 6, 2015.

WATKINS, M.; BETTADPUR, S. **The GRACE Mission: Challenges of Using Micron-Level Satellite-to-Satellite Ranging to Measure The Earth's Gravity Field**. Proceedings of the International Symposium on Space Dynamics, Biarritz, France, 26-30 June 2000, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), Delegation a la Communication (publ.), June 2000.

ZHU, X.; LIU, D. Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 102, p. 222-231, 2015.