

Uso de Dados LIDAR e Fotogrametria Digital para Produção de Cartas de Vulnerabilidade à Intrusão de Águas Marinhas

Glauber Acunha Gonçalves¹
Edson Aparecido Mitishita²

¹ Universidade Federal do Rio Grande - FURG
Rio Grande - RS, Brasil
glaubergoncalves@furg.br

² Universidade Federal do Paraná - UFPR
Curitiba - PR, Brasil
mitishita@ufpr.br

Abstract. This paper presents a methodological development used to produce maps of coastal vulnerability. The main purpose of these maps is to allow the proper visualization of flood's simulations in urban areas, in the limit of the coast line. The source of the land altimetry data is an airborne LIDAR survey. About this data set, it's important register that was reduced to geoid referential by an estimated numerical model and was filtrated the outlier records. The precise planimetric landscape description is obtained by digital aerial photogrammetry. Through a robust photogrammetric model was obtained orthorectified mosaics precisely georeferenced. The flood level is obtained by magnification of the terrain altitude really affected by of this kind event in the recent past. A water flood algorithm is applied on hypsometric image derived from LIDAR records. The connected areas configure a mask for the orthorectified images. The result is a high quality graph product, with elements of realism, and allows the interpretation of the most vulnerable places in the coast of Rio Grande do Sul (Brazil) to intrusion of seawater.

Palavras-chave: LIDAR, Fotogrametria Digital de Médio Formato, Simulação de Inundação

1. Introdução

Os modelos básicos utilizados nos métodos de análise de risco apontam para uso de dois parâmetros fundamentais quando da estimativa de um fator para comparação entre fenômenos: a probabilidade e o custo sócio-econômico de sua ocorrência (Bruseke,1997; Dagnino e Carpi Junior; 2007) . Ou seja, quanto maior a probabilidade de um evento ocorrer e quanto maior o custo do dano produzido por sua ocorrência, tanto maior o risco de sua ocorrência.

Quando comparamos riscos associados a eventos climáticos extremos, segundo tais modelos, devemos, pois, desenvolver e aplicar metodologia para estimativa de probabilidade de ocorrência e para determinação de custos de danos produzidos. O registro técnico-científico ora apresentado detalha uma metodologia específica, e um estudo de caso associado, para desenvolvimento de cartas de vulnerabilidade à intrusão de água marinha em áreas urbanas da costa brasileira, quando da ocorrência de eventos extremos, tais como marés meteorológicas e ondas de ressaca. A partir dessas cartas pode-se estimar fatores de risco com alta precisão.

Os dados fundamentais são obtidos por aerotransporte de sensor LIDAR e de câmera fotogramétrica digital; os apoios geodésicos são convencionais, baseados em técnicas de posicionamento GNSS e em nivelamentos geométricos de alta precisão. A modelagem matemática computacional utilizada está consolidada no uso de um modelo numérico aproximado da ondulação geoidal, para redução ao referencial ortométrico; no ajustamento em bloco de aerofotos, com injeção de posições tridimensionais de pontos de controle extraídos da matriz de pontos LIDAR, e no algoritmo *water flood* para determinação das áreas inundadas a partir das águas marinhas costeiras.

O resultado da metodologia é uma carta de vulnerabilidade à intrusão de água marinha na costa ocupada por aglomerados urbanos consolidados, de expressão gráfica notável e alta precisão posicional, onde se torna possível determinar o número preciso de economias e a área de infraestrutura vulnerável à inundação, ambos como função da cota do terreno atingida no limite de tais eventos. A probabilidade de ocorrência diminui com o aumento da cota de simulação. O custo, evidentemente, aumenta de forma diretamente proporcional à essa mesma cota, com função da área inundada. Tal produto permite o diagnóstico qualificado das áreas de maior risco, onde medidas de mitigação de efeitos devem ser tomadas.

1.1 Referenciais institucionais

Todos os dados utilizados na execução dessa missão são resultantes de projetos financiados pela Secretaria de Patrimônio da União, órgão do Ministério do Planejamento e Gestão, e pelo Fundo Clima, do Ministério do Meio Ambiente. As cartas geradas na fase experimental desse projeto são de abrangência territorial limitada ao litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, e foram entregues à cinco administrações municipais, pertencentes à essa região, e ao órgão ambiental estadual, com o intuito de fomentar adequadas medidas de gestão territorial de faixa tão valorizada e ambientalmente suscetível do território brasileiro.

2. Material e métodos

2.1. Dados LIDAR (Laser Scanner Aerotransportado)

No ano de 2010, a partir da iniciativa da Gerência Regional da Secretaria de Patrimônio da União no Estado do Rio Grande do Sul, órgão responsável pela gestão e fiscalização do uso das denominadas faixas de terreno de marinha e acrescidos, foi realizada uma obra cadastral completa da faixa de praia e adjacências, no litoral norte do Rio Grande do Sul. Essa faixa é legalmente definida como aquela limitada a uma distância horizontal de 33,3 m da linha de preamar média do ano de 1831, ou, na ausência de elementos que permitam essa realização retrodefinida, pela linha de preamar mais antiga passível de ser identificada (Decreto-lei no 3.438, de 17 de julho de 1941).

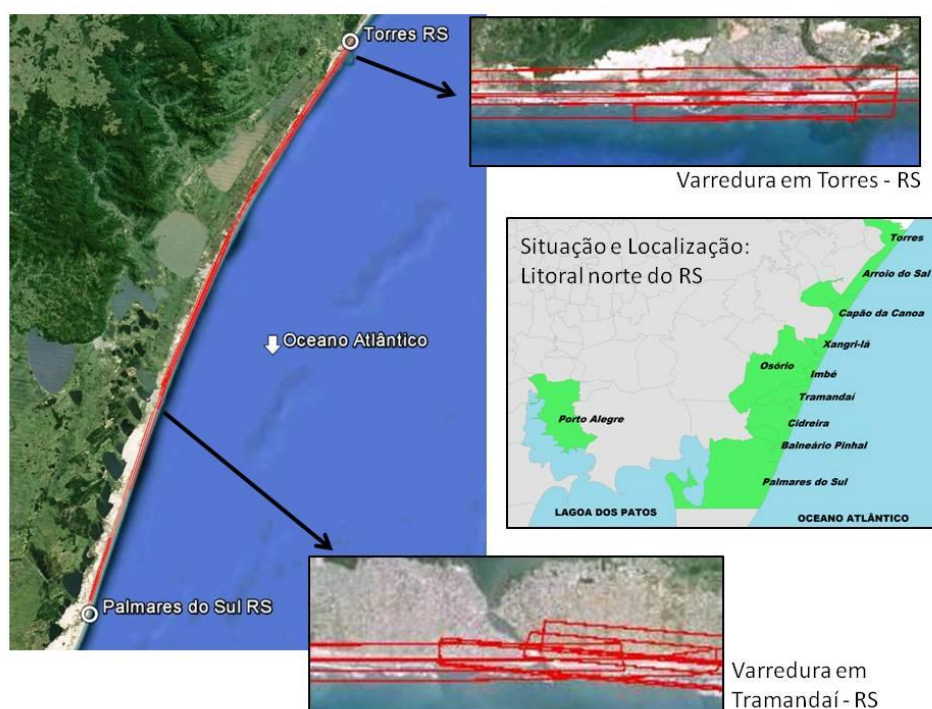


Figura 1 – Área da varredura LIDAR no litoral norte do RS

No caso de extensas faixas lineares, tal realização torna-se trabalhosa e o conjunto de métricas territoriais a ser aplicado de grande custo, donde a proposta de utilização de técnica de modelagem de terreno por LIDAR aerotransportado, é a mais viável alternativa de para o registro cartográfico. Desse processo resultou massa de dados de alta qualidade aqui utilizada e apresentada. Os voos foram realizados com uso do instrumento laser scanner aerotransportado Optech ALTM 2050, do Instituto LACTEC (Curitiba-PR), segundo os arranjo de faixas apresentado na figura 1.

Nos arquivos brutos disponibilizados, com coordenadas geográficas apoiadas na rede de referência implantada no litoral norte pelo LTGEO, estão presentes as coordenadas plani-altimétricas UTM, zona 22 Sul, Datum SIRGAS 2000, do primeiro pulso, as coordenadas plani-altimétricas em idêntico sistema de coordenadas e referencial geodésico do último pulso e a intensidade do sinal de retorno. Uma imagem hipsométrica processada por reamostragem regular do sinal original, com taxa amostral projetada sobre o terreno de 1 metro, de uma pequena área da Praia do Magistério, em Balneário Pinhal, é apresentada na figura 2.

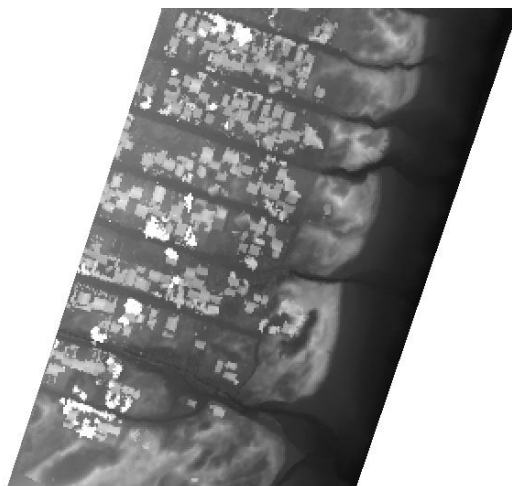


Figura 2 – Imagem hipsométrica LIDAR de uma secção da Praia de Magistério – RS

2.2. Dados aerofotogramétricos digitais

Uma missão fotogramétrica simultânea foi executada pela empresa Hiparc Geotecnologia. As faixas de voo são espacialmente coerentes com a mesma área da varredura LIDAR e a figura 3 é uma amostra em máxima resolução desse produto, de alta qualidade pictórica e rigidez geométrica. O denso pacote de imagens foi segmentado em secções de 20 km, segundo duas faixas de voo paralelas à linha de costa e as informações preliminares para processamento em bloco dessas imagens foram registrados em arquivos de metadados configurados conforme mostra a tabela 1.

Além dos dados comumente registrados, associados a índices de fotos, data e hora de obturação, geocodificação por município e por localidade, no arquivo de metadados estão presentes um índice que vincula a imagem fotogramétrica à faixa laser que a contém e todos os parâmetros de orientação exterior inicialmente estimados.

Para determinação dos parâmetros de orientação exterior iniciais, presentes na tabela acima citada, foi aplicada uma metodologia que utiliza o reconhecimento visual do centro da aerofoto em uma imagem da satélite e os dados GNSS do ponto aproximado de obturação, fornecidos pela empresa realizadora do voo. O vetor que tem origem na coordenada GNSS do monitoramento de voo e extremidade no ponto central da imagem capturada permite a estimativa preliminar dos ângulos de orientação do eixo óptico de imageamento. As

coordenadas do ponto central no espaço objeto são também, por esse vetor, determinadas com boa aproximação, o que facilita o processo de ajustamento do bloco, especialmente no caso de utilização de ferramentas de detecção automática de pontos de ligação entre as imagens dos diversos modelos fotogramétricos gerados.

Tabela 1 – Metadados dos arquivos de fotos

Parâmetro	Valor
Número Índice	23
Faixa	12
Foto na Faixa	23
Nome do arquivo	FX23_00175
Data	12.08.2010
Hora	13:45
Município	Tramandaí
Localidade	Nova Tramandaí
Número Índice LIDAR	28
Xo	582330.32
Yo	6677205.60
Zo	1212.01
Kappa_o	36.22
Phi_o	2.12
Omega_o	-1.45



Figura 3 – Exemplo das imagens aerofotogramétricas
Praia de Magistério RS

2.3. Base de dados geodésica, processamento e modelagem geoidal

A obtenção de modelos numéricos de terreno com alta resolução e precisão a partir de dados LIDAR, referenciados adequadamente ao Datum Vertical Brasileiro a fim de permitir exercícios de simulação de inundação fisicamente válidos, como os aqui na sequência apresentados, exige a construção de modelos geoidais com grau de incerteza compatível às medidas geométricas obtidas por tal instrumento. Essa não é uma missão simples, dadas as escalas desses modelos pré-existente no Brasil.

Desnecessário aqui, talvez, citar, que a precisão nominal de modelos de grande abrangência, tais como o MAPGEO2010, não é suficiente para garantir correções adequadas a taxas amostrais de 0,5 m sobre o terreno (Matos et al., 2012). Ainda, dada a extensão do voo executado, cuja maior dimensão linear atinge cerca de 140 km, não se cogita desconsiderar a ondulação geoidal e tomar diferenças de cotas geométricas relativas ao elipsoide de referência como diferenças de geopotencial.

Tendo em conta condicionantes como a capacidade instrumental, o tempo de resposta e os limites de investimento, a adoção de uma estimativa modelada numericamente por metodologia como a proposta por Arana e Arana, 2013, torna-se a alternativa mais viável para manter o objeto inicial do estudo. Dessa forma adquiriram-se as informações geodésicas básicas de um conjunto de pontos dispostos conforme a figura 4, dos quais quatro são referências de nível da rede altimétrica de alta precisão do IBGE (RRNN), e os outros 8 foram implantados pela equipe do LTGEO, a fim de compor uma rede de referência cadastral para apoio fotogramétrico e, ao mesmo tempo, apoiar a modelagem da ondulação geoidal.

Para determinação das cotas ortométricas dos marcos implantados pela equipe do LTGEO, uma rede de nivelamento geométrico foi executada, onde a maior distância

percorrida linearmente foi de 84.640 m, da RN 1781F em Osório até o farol Rubens Berta, em Palmares do Sul, sendo desses 50 km pela linha de praia.

As coordenadas planimétricas e a coordenada altimétrica elipsoidal utilizadas na modelagem são provenientes de ocupação, por receptor GNSS em técnica estática com mínimo de 6 horas de rastreamento, dos pontos SAT 92037 em Osório – RS e SAT 94008 em Jacinto Machado – SC, simultaneamente, aos pares, com os demais pontos da rede apresentada. O processamento pela fase da portadora foi executado com o uso do software GNSS Solution© e em nenhum das soluções encontradas, após ajustamento, ao nível de confiança de 95%, o teste qui quadrado reprovou a hipótese nula de que as frequências observadas para medidas não diferem da esperada. O RMS máximo foi de 4,65 mm, para a coordenada altimétrica, no ponto do Farol Rubens Berta, justamente o mais afastado dos pontos das redes do IBGE. O resultado desse processamento é um conjunto de coordenadas para controle do modelo geoidal da figura 4, aos quais foi ajustada uma superfície plana, parametrizada, conforme o modelo $a.x+b.y+c.z+d = 0$. Dentro do espaço territorial, com uma taxa amostral de 5 metros, é composto um novo modelo de correção geoidal, obtido pela equação $n_{corr}(E,N)=n_{geomap}(E,N) + z_{a,b,c,d}(E,N)$. A figura 5 ilustra esse modelo utilizado para corrigir toda a matriz de pontos LIDAR, reduzindo os valores de altitude geométrica a valores ortométricos estimados.

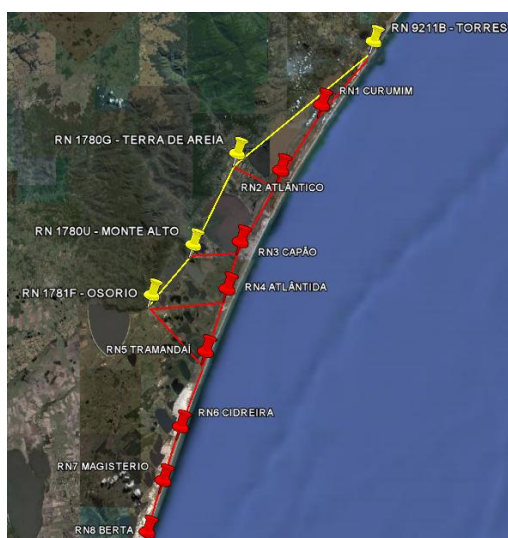


Figura 4 – Rede de Referência para controle do Modelo de Ondulação Geoidal

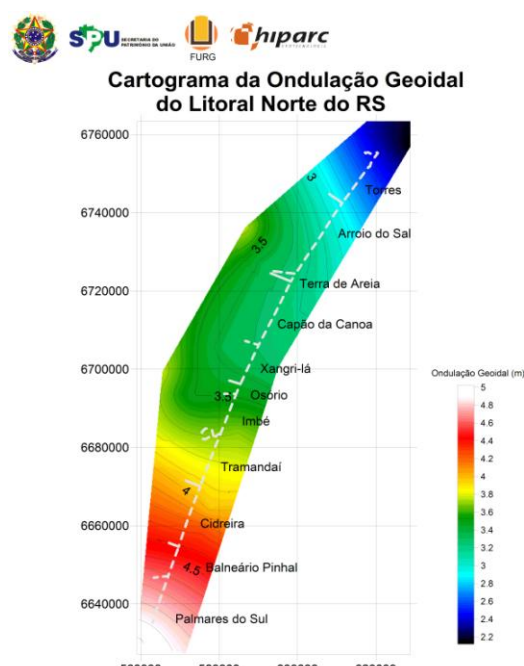


Figura 5 – Modelo de Ondulação Geoidal Costa Norte do RS

2.4. Modelo numérico digital de elevações da faixa costeira limite norte do RS

Considerando a massa de dados LIDAR, reduzida ao Datum Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro por estimativa amostral das ondulações geoidais, e sua reamostragem para uma grade regular de um metro de afastamento entre pontos segundo um modelo bilinear de interpolação, obtém-se um conjunto contínuo de imagens hipsométricas de uma faixa de cerca de 1 km de largura pela extensão linear de 140 km de linha de costa. No processo de interpolação os registros LIDAR cujos valores de altitude do primeiro e do último pulso diferem em mais de cinco por cento foram filtrados, bem como aqueles registros cuja altitude do último pulso é maior do que 20 metros, pois na área de interesse, contida entre a linha de baixa mar e outra aproximadamente paralela 800 m de distância dessa, as cotas de terreno não podem apresentar valores maiores do que esses. A figura 2, anteriormente citada, é uma

amostra das imagens geradas. Evidencia-se na imagem selecionada o cordão de dunas frontais, segmentado por sangradouros produzidos artificialmente em função da morfologia das vias urbanas que se projetam até a base dessas dunas, pelo seu lado continental. São esses os principais elementos da paisagem que tornam tal fisiografia vulnerável a intrusão eventual de água marinha.

2.5. Mosaicos Ortorretificados das imagens aerofotogramétricas

Produto de alto valor agregado, os mosaicos de imagens aerofotogramétricas ortorretificadas conferem a uma carta imagem, como a objetivada nesse estudo, uma condição conhecida tecnicamente na área de sistemas gráficos computacionais, como realidade aumentada. Essa classe de produtos gráficos de alta tecnologia opera diretamente sobre a cognição visual e seu uso na cartografia já é conhecido (Santil e Sluter, 2012). Seu uso, tanto impresso quanto em mídia eletrônica digital, é importante para motivação das autoridades locais na tomadas de decisão quanto a necessidade de medidas mitigatórias para contenção das ações mais críticas para o aumento do risco de tais impactos sobre o meio.

A produção dos mosaicos aerofotogramétricos segue uma *pipeline* conhecida e bem descrita como em Kraus, 1999, que no caso ora descrito tem início na aerotriangulação assistida por sistema especializado. Nesse contexto, são acrescidos os seguintes elementos para otimização do tempo de processamento: determinação automática de valores aproximados dos parâmetros de orientação exterior, coleção de pontos de ligação entre pares de fotos por metodologia semi-automática, orientada pelo método da máxima correlação cruzada e coleção de pontos de controle sobre os dados LIDAR correlacionados (Santos Jr., 2007).

Conhecidos os parâmetros de orientação exterior ajustados, utiliza-se o modelo da equação da colinearidade ortorretificação das imagens fotogramétricas, tendo como dado fundamental para correção dos efeitos de relevo os modelos numéricos de terreno orientados pelos dados LIDAR. Nessa proposta o modelo obtido para ortorretificação das imagens não é o mesmo do calculado no item 2.4, acima. Para uso no procedimento de ortorretificação foi construído um modelo editado, constituído apenas dos registros selecionados sobre as vias públicas e áreas não edificadas, filtrados por fotointerpretação de dados correspondentes a vegetação, veículos e outros obstáculos. A figura 6 é o resultado, numa dada secção, do mosaico obtido.

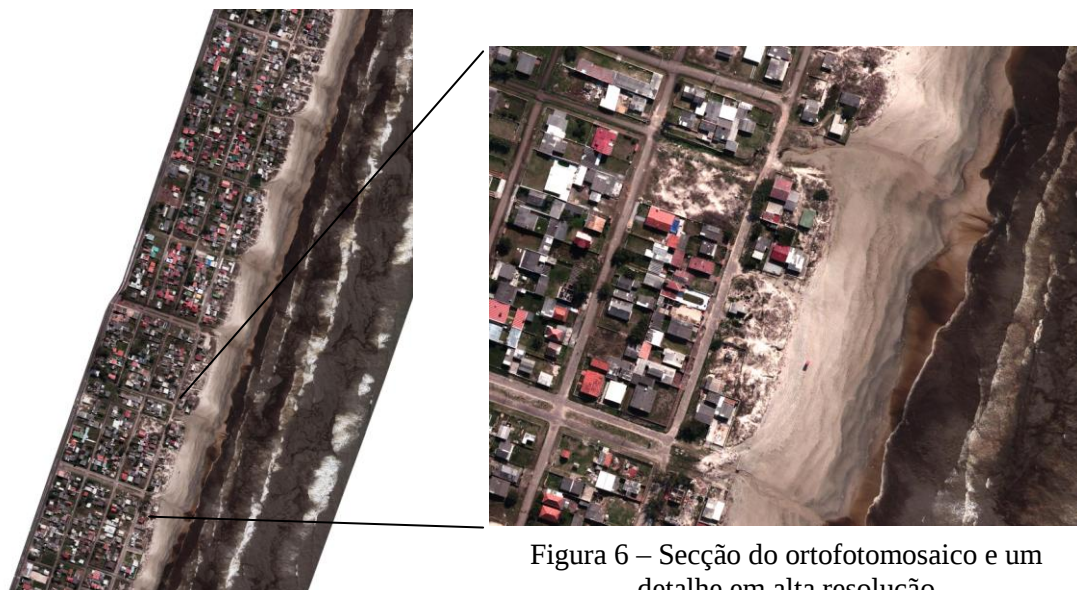


Figura 6 – Secção do ortofotomosaico e um detalhe em alta resolução
Praia do Magistério - RS

2.6. Modelagem e representação das áreas inundadas

Para investigação da condição de inundação e da perspectiva de risco futuro desses eventos foram considerados os registros de ocorrências congêneres nas últimas décadas e sobre essas, acrescido um coeficiente incremental arbitrado em 20%.

Detalhando esse procedimento, por exemplo, na localidade de Arroio do Sal, foram coletadas fotografias de um evento ocorrido em 2010, quando a água marinha atingiu o cruzamento de duas ruas, cerca de 300 metros da linha de preamar média atual, como mostra a figura 7. Sobre essa linha limite de inundação foram prospectados os dados do modelo de terreno e a cota média obtida foi incrementado do coeficiente arbitrado. Então, utilizando um algoritmo denominado “*water flood*”, partindo de uma semente no limite oceânico da imagem hipsométrica, foram assinalados todos os píxeis conectados à semente até que o valor limite fosse alcançado.

Os pontos assinalados após o processamento “*water flood*” são então considerados ativos em uma máscara binária georreferenciada, que pode ser superposta aos mosaicos ortorretificados, constituindo um produto de análise da condição de inundação resultante. A figura 8 é um exemplo desse resultado.



Figura 7 – Registro fotográfico dos efeitos de uma onda de ressaca sobre área urbana no ano de 2010



Figura 8 – Sobreposição da máscara de simulação de inundação no ortofotomosaico de uma seção da área de interesse. Balneário Pinhal - RS

2.7. Modelagem e representação das áreas inundadas

Os elementos gráficos compostos pelo processamento acima descrito são estimativas precisas das áreas inundadas em eventos costeiros extremos prováveis no curso das mudanças climáticas que estamos sofrendo (IPCC, 2014). A observação sistematizada desses resultados, com a métrica das áreas afetadas sobre manchas urbanas e das distâncias máximas atingidas pela onda de inundação, levam a seleção dos pontos da costa onde os impactos são maiores e produzem maiores danos aos ambientes existentes. As medidas citadas são executadas diretamente sobre a imagem, bem como a interpretação dos fenômenos de inundação, pelo uso de ferramentas de visualização e edição interativas em ambiente gráfico computacional de alto desempenho. No caso em questão, foi utilizado o sistema de processamento de imagens ERDAS©. É possível, dessa forma, localizar detalhes como as falhas na barreira de dunas e sua possível gênese. Detecta-se se esse fenômeno morfológico devem-se a ações antrópicas, tais como movimentos de terra para acesso de banhistas às praias e para drenagem pluvial de

sistemas urbanos, ou por formação de sangradouros naturais em função dos regimes hídricos de microbacias do pós-dunas, por exemplo.

Esses pontos notáveis podem então ser investigados por sua morfologia, sua gênese, seu potencial de afetação de vizinhança e, na sequência, planejada e executada uma missão de reconhecimento com a visita de cada um deles. A reportagem fotográfica do cenário encontrado é um registro importante, que será utilizado no resultado final obtido.

3. Resultados e discussão

A qualidade geométrica e pictórica dos dados coletados e a precisão das missões geodésicas empreendidas são condicionantes da confiabilidade dos resultados auferidos. Assim, diante de um produto fotogramétrico notável, da robustez dos dados de varredura laser e do uso criterioso de algumas técnicas de processamento de imagens, é possível desenvolver uma solução gráfica diferenciada para demonstrar o potencial de danos produzidos por eventos de elevação esporádica do nível do mar, tal como demonstrado.

Para cada um dos pontos críticos dos 140 km da costa norte do Rio Grande do Sul, atualmente sob intensa ocupação, foi então composta uma carta de vulnerabilidade. No total foram 36 pontos mais importantes, considerando uma elevação do nível do mar suficiente para afetar aquele nível medido pela mais intensa ressaca registrada nos últimos 10 anos, magnificada em 20%.

Nessa carta a composição definida trás, além do produto sintetizado pelo processamento computacional, um planta de situação e localização, uma fotografia do local em configuração atual e parâmetros geodésicos e cartográficos usuais. Impressas com alta qualidade em formato A3 esse produto foi, e está sendo, distribuído às prefeituras municipais e ao órgão estadual de controle ambiental. A figura 9, ao final desse artigo, apresenta uma dessas cartas.

Percebe-se na análise dessas cartas que a influência produzida pela projeção das vias públicas das áreas urbanizadas sobre o cordão de dunas frontal é o principal fator de alteração da morfologia natural para abertura de um canal de acesso da água marinha às áreas com infraestrutura urbana mais densamente habitada.

Em relação a metodologia adotada cabe considerar alguns aspectos limitantes da precisão obtida. Primeiramente, percebe-se que para levantamentos de alta precisão como os aqui realizados, há uma lacuna importante em relação a pré-existência de modelos que permitam a redução das altitudes medidas pelo laser scanner ao geoide de referência do SGB. Ainda, na região costeira não há densidade de registros gravimétricos para ajuste de uma solução analítica para o problema.

O uso de uma solução estimativa utilizando o expediente de efetuar medidas GNSS sobre marcos da RRNN também é impactada quando a área de interesse estende-se para algumas centenas de quilômetros: o número e a distribuição dos pontos disponíveis. Pode-se averiguar durante as missões geodésicas o grave cenário de destruição dos marcos da RRNN, produzidas principalmente pelas obras de duplicação de rodovias. De fato, por exemplo, dos 32 marcos sinalizados como existentes na área de interesse, entre os municípios de Torres e Osório, nas margens da BR101, numeradas sequencialmente de 1979R a 1981G, somente 6 foram encontrados. Além disso, justamente em função da morfologia da rede, não são encontrados pontos na linha de costa do RS. Dessa forma, houve a necessidade de produzir longas linhas de nivelamento geométrico de alta precisão para atingir a área de varredura do laser scanner.

Finalmente, importante observar que no Brasil, não há registro sistemático de nível do mar. Especialmente na região de estudo não há sequer um marógrafo registrando esse parâmetro ambiental fundamental, ou mesmo foram encontrados registros de que em algum momento houve tal preocupação no passado. Esse fato conduziu à necessidade de estimar as

condições de elevação a partir da ocorrência de eventos anteriores e a registros testemunhais dos efeitos dessas elevações eventuais do nível do mar.

4. Conclusões

Os resultados apresentados sumariamente nesse documento atestam a validade da metodologia utilizada. As cartas de vulnerabilidade descritas, são o detalhamento em alta resolução de pontos da costa norte do RS que seriam seriamente afetados sob condição de ondas de ressaca e de marés meteorológicas mais intensas, cuja probabilidade de ocorrência é alta, haja visto os históricos recentes registrados na região.

Os dados laser scanner, associados a mosaicos aerofotogramétricos digitais, são a alternativa mais qualificada para produção desse tipo de carta. O processamento desses densos e volumosos conjuntos de dados, porém, exigem a utilização de plataformas computacionais de razoável desempenho e com capacidade de visualização de excelência. No caso aqui descrito foram utilizadas duas estações estereoscópicas baseadas em processadores Intel Xeon® E7, endereçando 32 Gb de memória RAM, dotadas de placas de processamento gráfico da família Nvidia Quadro® com 4Gb de memória dedicada.

Os elementos gráficos compostos pelo processamento acima descrito são estimativas precisas das áreas inundadas em eventos costeiros extremos altamente prováveis no curso das mudanças climáticas que estamos sofrendo. A observação sistematizada desses resultados, podem servir de referência para os gestores municipais e ambientais, e fomentar a tomada de decisão em relação a adoção de técnicas de manejo de zonas costeiras de forma a reduzir o risco das populações consolidadas a partir da redução da probabilidade da intrusão de água marinha nas zonas urbanas limites. Essa redução, evidentemente, vem em função da consolidação natural e/ou assistida da barreira de dunas sem interrupções externas, conforme hoje se verifica.

Referências Bibliográficas

Bruseke, F. J. Risco social, risco ambiental, risco individual. **Ambiente & Sociedade**. Campinas, v. 1, n. 1, p. 117-134, 1997.

Dagnino, R. de S.; Carpi Junior; S. Risco ambiental: conceitos e aplicações. **Climatologia e Estudos da Paisagem**. Vol.2 - n.2 - julho/dezembro/2007, p. 87

DECRETO-LEI No 3.438, DE 17 DE JULHO DE 1941. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/Del3438.htm>. Acessado em 10 de outubro de 2014.

Matos, Ana Cristina Oliveira Cancoro de; Blitzkow, Denizar; Guimarães, Gabriel do Nascimento; Lobianco, Maria Cristina Barbosa; Costa, Sônia Maria Alves. Validação do MAPGEO2010 e comparação com modelos do geopotencial recentes. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Vol.18 no.1 Curitiba Jan./Mar. 2012.

Arana, José Milton e Arana, Daniel.DETERMINAÇÃO DE ALTITUDE ORTOMÉTRICA COM USO DA INTEGRAÇÃO DO GPS/NIVELAMENTO AO MAPGEO2010. **Colloquium Exactarum**, vol. 5, n. Especial, Jul-Dez, 2013, p. 90-98. Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão, Presidente Prudente, 21 a 24 de outubro, 2013. Presidente Prudente, SP.

Santil, Fernando Luiz de Paula e Sluter, Claudia Robbi; AS PESQUISAS EM COGNIÇÃO VISUAL APLICADAS À CARTOGRAFIA; **Revista Brasileira de Cartografia** N.64/3: 367-376, 2012.

Kraus, Karl. **Photogrammetry - Fundamentals and Processes**. Volume 1, 4a Ed. Ferg, Dummmler Verlag. Bonn, Alemanha, 1999.

Santos Jr, Roosevelt de Lara, **Extração Automática de Pontos de Apoio para Integração de Imagens Aéreas Digitais e Dados de Perfilamento LASER Aerotransportado**. Tese de Doutorado, UFPR, Curitiba, 2007.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC - **Climate Change 2014; Impacts, Adaptation, and vulnerability**. Natural and Managed Resources and Systems, and Their Uses. Ch. 5 - Coastal systems and low-lying areas. 2014. (Em <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>, consultado em 10 de outubro de 2014).

Agradecimentos

Apresentamos aqui o necessário e justo agradecimento às instituições e seus colaboradores que, direta ou indiretamente, contribuíram para execução desse projeto:

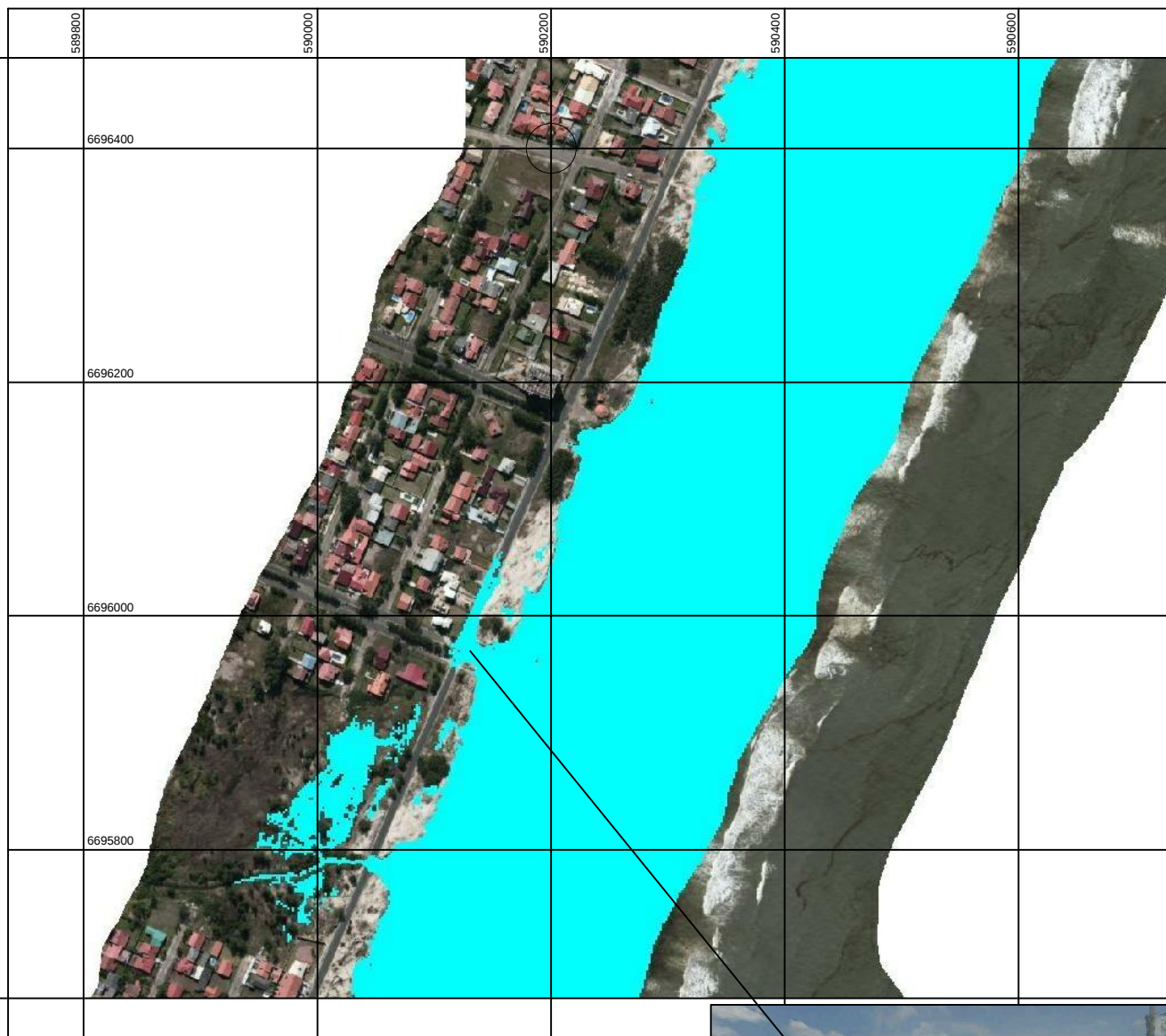
- Ministério do Planejamento e Gestão/Secretaria de Patrimônio da União;
- Hiparc Geotecnologia;
- Universidade Federal do Rio Grande, Centro de Ciências Computacionais;
- Ministério do Meio Ambiente, Fundo Clima;
- Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável, Departamento de Zoneamento Territorial, Gerência Costeira;
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, INCT Mudanças Climáticas.



Universidade Federal do Rio Grande
Centro de Ciências Computacionais
Laboratório de Tecnologia de Geoinformação

PRAIA DE RAINHA DO MAR - XANGRI-LÁ - RS

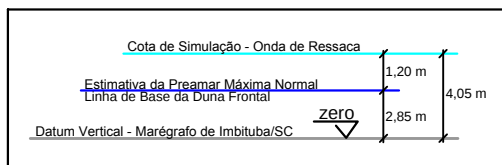
Mapa de Vulnerabilidade à Intrusão de Água Marinha



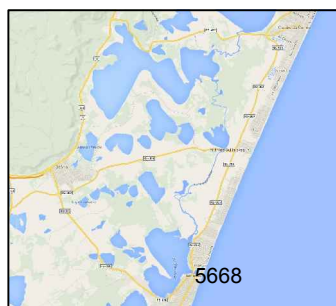
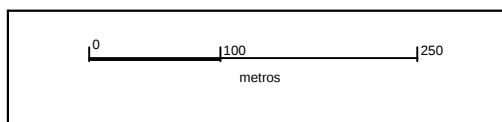
Sistema de Coordenadas UTM Fuso 22 Sul
Escala 0.9996 no Meridiano Central = 51°S
Datum Horizontal: SIRGAS 2000

Imagem: Aerofoto Digital Ortorectificada
Setembro 2010
Modelo Numérico Digital de Terreno
LaserScanner OPTeC by LACTEC - PR

REFERENCIAL GEODÉSICO - ESCALA VERTICAL



ESCALA HORIZONTAL



Responsabilidade Técnica:
Eng. Civil. Glauber Acunha Gonçalves
Dr. em Ciências Geodésicas
LTGEO
Laboratório de Tecnologia de Geoinformação
Centro de Ciências Computacionais
Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande - RS - Brasil

Mapas GoogleMaps, 2013