



# Revista Brasileira de Geografia Física



Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)

## Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial

José Almir Cirilo<sup>1</sup>; Fellipe Henrique Borba Alves<sup>2</sup>; Luiz Augusto Clemente da Silva<sup>3</sup>; João Henrique de Andrade Lima Campos<sup>4</sup>

1 – Professor Titular do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru – PE, Brasil. Secretário Executivo de Coordenação Geral da Secretaria de Infraestrutura de Pernambuco (SEINFRA). E-mail: [almir.cirilo@gmail.com](mailto:almir.cirilo@gmail.com)

2 – Mestrando em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Depto. de Engenharia Civil da UFPE. Gestor de Planejamento de Obras Hídricas da Secretaria de Infraestrutura de Pernambuco (SEINFRA). E-mail: [fellipehba@hotmail.com](mailto:fellipehba@hotmail.com)

3 – Graduado em Geografia pela UFPE. Analista de Geoprocessamento da Agência Pernambucana de Águas e Clima, Secretaria de Infraestrutura de Pernambuco. E-mail: [augusto.clemente@apac.pe.gov.br](mailto:augusto.clemente@apac.pe.gov.br)

4 – Estudante de Graduação em Engenharia Civil no Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. Recife – Brasil. E-mail: [joahalc campos@yahoo.com.br](mailto:joahalc campos@yahoo.com.br)

Artigo recebido em 02/06/2014 e aceite em 21/11/2014.

### RESUMO:

A interiorização do desenvolvimento e o crescimento das cidades requer conhecimento mais aprimorado do terreno para que essa expansão se faça com qualidade, minimizando os impactos sobre os recursos naturais e os custos decorrentes das intervenções. Este artigo avalia o potencial do uso de bases de dados espaciais, particularmente o SRTM e a varredura a laser, como suporte a estudos e projetos destinados à implantação de infraestrutura e ações de previsão e controle de inundações. Também é apresentado o programa Pernambuco Tridimensional, destinado a gerar base de dados espaciais de alta definição para todo o território do estado de Pernambuco, por meio de varredura a laser.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Gestão Pública, Varredura a Laser, LiDAR.

## Support of Georeferenced Information of High Resolution for Implementation of Infrastructure and Territorial Planning

### ABSTRACT:

Internal development and growth of cities require improved knowledge of the terrain to support those expansions with quality, minimizing impacts on natural resources and reducing costs of the interventions. This paper evaluates the potential use of spatial databases, particularly the SRTM and laser scanning, as input for supporting studies and projects for the deployment of infrastructure and actions for forecasting and flood control. The article also presents the Tridimensional Pernambuco Program, to generate spatial database of high definition for the entire territory of the Pernambuco state, by means of laser scanning.

**Keywords:** Remote Sensing, Geoprocessing, Public Management, Laser Scanning, LiDAR.

## Introdução

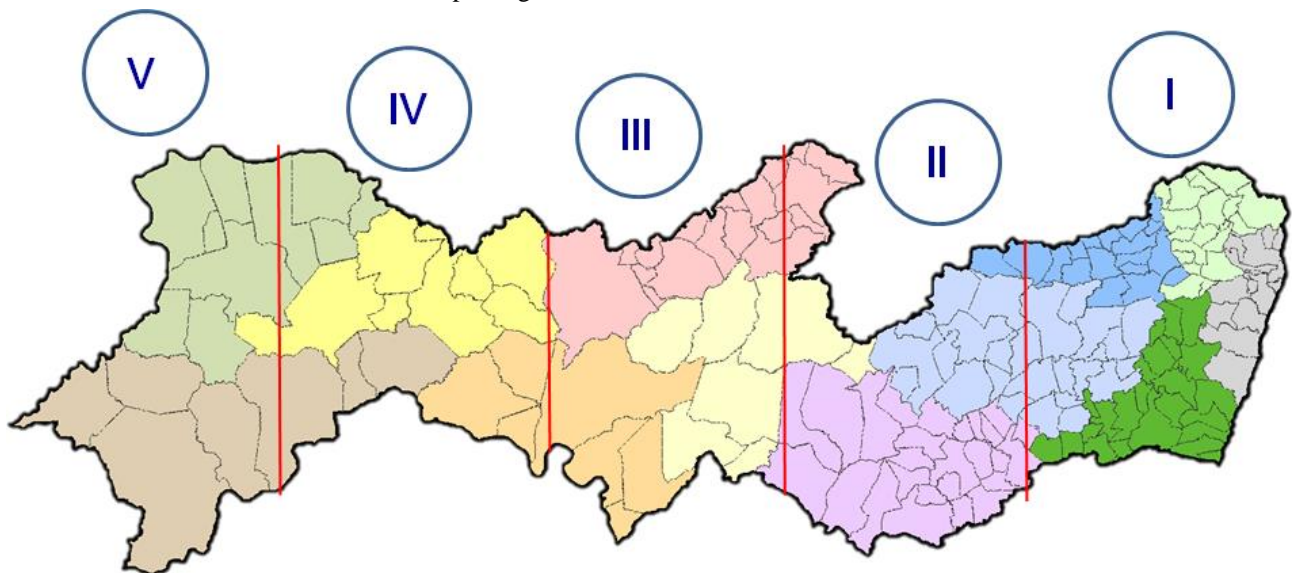
Um dos maiores desafios para o planejamento territorial é a falta de informações adequadas sobre o uso e ocupação do solo e suas características físicas. Considerando tanto o caso dos ambientes urbanos como rurais, a ausência de bases de dados estruturadas, associada à deficiência dos sistemas de fiscalização, se reflete na falta de planejamento da ocupação do espaço, com consequências como proliferação de habitações em áreas de risco e danos aos recursos naturais, degradação e perda dos solos e da vegetação, contaminação das águas superficiais e subterrâneas, degradação de nascentes e áreas de recarga de aquíferos, entre tantos outros impactos. No caso de implantação de infraestruturas que requerem detalhamento preciso do terreno, como estradas, ferrovias, barragens, sistemas de irrigação, redes de água, esgotos, energia, gás, serviços de mineração e toda a gama de empreendimentos públicos e privados de maior porte, torna-se necessário realizar levantamentos da área a ser utilizada, para subsidiar os projetos e estudos ambientais.

A utilização de técnicas avançadas de planejamento do uso do solo urbano e rural pode trazer sensíveis ganhos de qualidade e rapidez para a elaboração de estudos, como planos diretores, e projetos de engenharia de maneira geral. Nesse contexto, a identificação adequada do relevo da área de interesse e a possibilidade de quantificar as transformações a serem nela implantadas são fundamentais para que as intervenções sejam as mais adequadas dos pontos de vista técnico, ambiental, econômico e social. Essa atividade, para grandes

extensões territoriais, pode ser associada à aquisição, processamento e atualização de informações espaciais obtidas através de sensoriamento remoto. A fonte de dados e informações provém de varredura por satélites, levantamentos aerofotogramétricos convencionais ou perfilamentos a laser de superfície terrestre, com correções a partir de marcos georreferenciados em campo, que posteriormente geram os produtos desejados com a utilização de técnicas de geoprocessamento.

Considerando o caso do Brasil, no momento atual em que há necessidade e urgência de ampliação da infraestrutura existente, uma questão importante se resalta: é urgente prover a sociedade de bases de dados e informações do território para compatibilizar as iniciativas de desenvolvimento em tempo e qualidade compatíveis com as demandas prementes e com os padrões de qualidade ambiental exigidos.

O programa Pernambuco Tridimensional (PE 3D), iniciado pela SEINFRA em março de 2014 e com conclusão prevista para junho de 2015, tem o objetivo de realizar varredura a laser e obter ortoimagens de alta resolução de toda a superfície territorial pernambucana, cuja área é de 98.148km<sup>2</sup>. A tecnologia utilizada é a LiDAR (Light Detection And Ranging), com captura de dados realizada por sensores e câmeras instalados em oito aviões, operados pelas empresas contratadas para o serviço. O trabalho está sendo realizado em cinco frentes simultâneas, divididas territorialmente como mostra a Figura 1, cobrindo as 12 regiões de desenvolvimento do estado de Pernambuco.

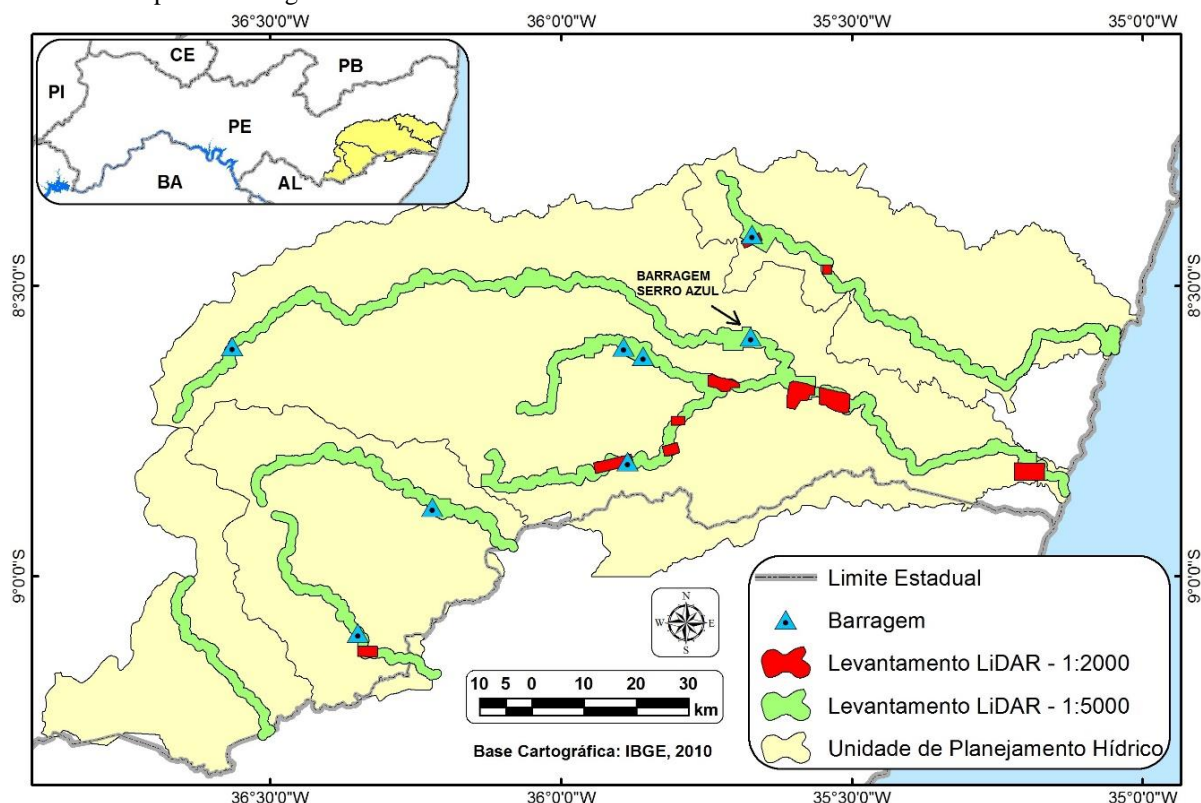


**Figura 1.** Divisão do território de Pernambuco em cinco lotes para cobertura do perfilamento a laser.

O PE 3D é a extensão de trabalho concluído em 2011, pela então Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE), antecessora da SEINFRA, logo após as grandes inundações ocorridas em diversas regiões do estado, principalmente na Mata Sul

(2010/2011) e no Agreste Meridional (2010, provocando inundações catastróficas em Alagoas). Esse levantamento foi restrito aos estirões dos rios e áreas alagáveis adjacentes (compatível com escala 1:5000) e cidades atingidas (escala 1:2000) nas bacias hidrográficas dos rios Una, Mundaú e Sirinhaém,

ilustradas na Figura 2, em área pouco superior a 1100km<sup>2</sup>. Os produtos derivados desse levantamento são discutidos no presente artigo.



**Figura 2.** Representação das áreas atendidas pelo primeiro perfilamento a laser em Pernambuco.

Os produtos contratados são:

- Recobrimento aerofotogramétrico e geração de ortoimagens (1:5000) com GSD de 50 cm
- Recobrimento aerofotogramétrico e geração de ortoimagens (1:1000) com GSD de 12 cm
- Perfilamento laser e geração de modelos digitais de terreno (1:5000) com erro altimétrico menor que 25 cm
- Perfilamento laser e geração de modelos digitais de terreno (1:1000) com erro altimétrico menor que 10 cm
- Implantação de 40 marcos geodésicos.

O perfilamento a laser está levantando 1 ponto cotado para cada 2 m<sup>2</sup>. Considerando a área a ser coberta, a base de dados contará com 50 bilhões de pontos com coordenadas planas e altitudes conhecidas. Os levantamentos compatíveis com a escala 1:1000 estão sendo realizados para as principais sedes municipais de Pernambuco, enquanto que na escala 1:5000 o recobrimento se fará para todo o território.

Embora a tecnologia LiDAR tenha tido as primeiras aplicações no final do século passado, ainda poucas regiões do mundo aproveitaram o potencial da ferramenta para cobrir integralmente o seu território. Destaque-se a Holanda com o território integralmente recoberto (Henn et al., 2013) e os Estados Unidos, que disponibilizam por meio do USGS (United States Geological Survey) dados de levantamento LiDAR relativos a cerca de 1/3 do seu território.

Na medida em que os dados do PE 3D forem consistidos e validados, a SEINFRA os disponibilizará para uso geral pela internet.

### Material e Métodos

Os avanços tecnológicos ocorridos principalmente nas duas últimas décadas, relacionados com a aquisição de dados sobre o terreno, tem proporcionado sensíveis ganhos de qualidade e redução de tempo para o desenvolvimento de estudos e projetos que dependem da caracterização e uso da terra.

O método mais tradicional, a Fotogrametria, concentra-se essencialmente na aquisição e processamento de imagens, obtidas através de câmeras analógicas ou digitais, para obtenção de imagens retificadas, Modelos Digitais de Terreno (MDT) e restituição das principais feições da área de interesse. Segundo Brandalize (2003), na Fotogrametria pode-se obter um MDT, manualmente,

a partir da coleta de pontos com o uso de Estereoscopia em aparelhos restituídos ou estações digitais. Os pontos são obtidos através da leitura de coordenadas em perfis consecutivos ou através da obtenção de uma grade regular de pontos extraídos por curvas de nível, pontos cotados e linhas estruturais, obtidos por captação fotogramétrica.

Os satélites espaciais, por sua vez, possuem diversas finalidades de uso e especificidades que caracterizam as imagens geradas em diferentes resoluções espacial, temporal, espectral ou radiométrica. Um satélite possui sensores que medem a radiação eletromagnética, transformada em um sinal elétrico, proveniente dos objetos imageados (Moraes, 2002). Os intervalos de comprimento de onda captados pelo sensor são chamados de bandas. A partir das informações contidas em cada banda é possível utilizar metodologias aplicadas para geração de produtos em diversas áreas de conhecimento como meteorologia, agricultura e estudos ambientais (Meneses et al., 2012). Como exemplos, segundo Chen et al. (2011), a porcentagem de cobertura vegetal na China foi calculada para diferentes bairros da localidade de Wuhan, utilizando imagens do satélite Landsat 5, e constatou-se a redução de aproximadamente 8% do índice de cobertura vegetal entre os anos de 1988 e 2002. Na bacia do rio Fitzroy, na Austrália, foram utilizadas imagens do satélite QuickBird-2 combinadas aos dados de perfilamento a laser (LiDAR), tecnologia explicada a seguir, para identificação de mata ciliar, terra nua, florestas e pastagens (Arroyo et al., 2008).

A necessidade de se obter uma base altimétrica global confiável fez com que, em fevereiro de 2000, fosse estabelecido um projeto de cooperação entre diversas instituições, entre elas a National Aeronautics and Space Administration (NASA). Essa cooperação realizou uma missão com duração de 10 dias, a bordo da nave Endeavour, que coletou dados topográficos de alta resolução da superfície terrestre entre as latitudes -54° e 60° tanto Norte quanto Sul. Os dados foram coletados usando um método denominado de interferometria radar por única passagem, que é um sistema de imageamento *radar Shuttle* com espaçamento de 60 metros. Esta tecnologia é baseada no Imageamento Radar Espacial (RIVIX, 2000). Para as regiões imageadas, com exceção dos Estados Unidos, a base de dados disponibilizada publicamente é a SRTM-90, com pontos cotados espaçados aproximadamente 90m entre si. Sobre ela o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) realizou trabalho de preenchimento de falhas e interpolação, o que deu origem ao TOPODATA – base de dados espaciais de todo o território nacional equivalente, segundo os autores, à base de dados SRTM com pontos cotados a cada 30m (Valeriano, 2008). Dependendo dos objetivos que se deseja alcançar, um MDT gerado a partir da base de dados SRTM-90 pode ser bastante satisfatório, como mostrado por Liu et al. (2005). Como exemplo pode ser citado um trabalho relevante para o Nordeste, o Atlas Nordeste Abastecimento Urbano de Água, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas – ANA (ANA, 2006). O

Atlas envolveu a avaliação da disponibilidade hídrica de todo o Nordeste. Para isso, foi modelado o relevo, divisores de água e a rede hidrográfica utilizando o SRTM-90, como suporte aos estudos hidrológicos.

A precisão altimétrica da base global SRTM, porém, não atende aos requisitos de precisão demandadas para muitos estudos e projetos. Assim, com o objetivo de complementar e integrar um novo recurso de aquisição de dados surgiu uma técnica propondo aerolevantamentos para obter uma varredura a laser do terreno. Segundo Falat (2005), em 1993 um grupo de pesquisadores da Alemanha, em parceria com uma empresa canadense, desenvolveu o primeiro método de perfilamento a laser do terreno. Usualmente conhecida como tecnologia LiDAR (Light Detection And Ranging), o método consiste na emissão de feixe de laser, emitido com auxílio de espelhos, em direção a objetos. Um sistema é encarregado de captar o tempo entre a emissão e a recepção do pulso para obter a distância entre o receptor e o objeto (Galvanin e Dal Poz, 2013). O emissor e receptor dos pulsos é, normalmente, instalado em aeronaves, havendo também a possibilidade de instalação de câmeras para obtenção de ortoimagens no mesmo aerolevantamento.

O recobrimento laser gera uma nuvem de pontos com distribuição irregular que, após pós-processamento, permite a geração de Modelos Digitais do Terreno e de Elevação, MDT e MDE. A superfície do terreno gerada a partir de perfilamento a laser pode auxiliar nas inúmeras áreas de conhecimento que dependem de informações altimétricas como Cartografia, Geografia e Engenharia.

Algumas aplicações dos levantamentos gerados pela tecnologia LiDAR são descritas neste trabalho, havendo tantas outras não abordadas, como, por exemplo, atualização do cadastro imobiliário de municípios. Cheng et al. (2013) e Henn et al. (2013) destacam a utilização de técnicas de identificação automática de telhados para modelagem tridimensional de edificações e suporte ao planejamento e controle urbano.

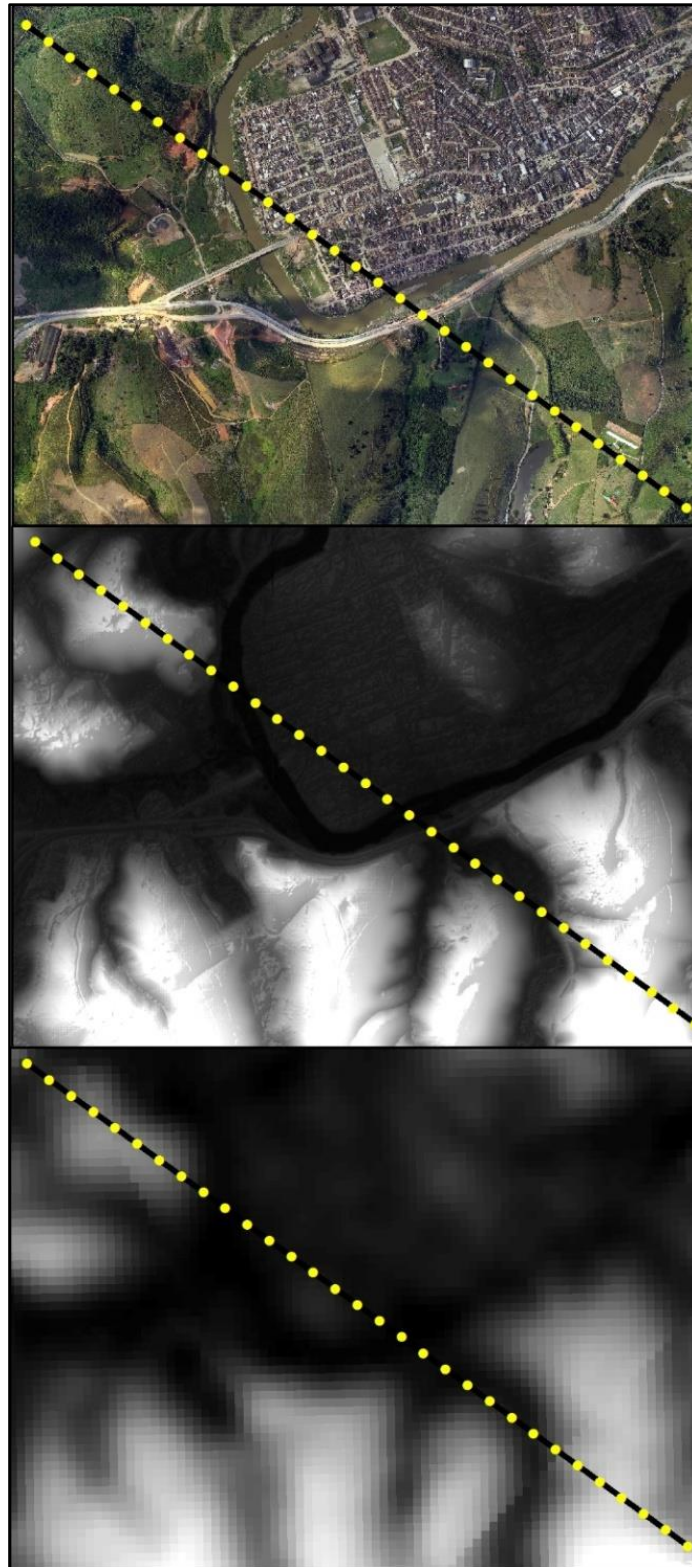
## Resultados e Discussão

Alguns autores têm comparado a precisão de MDT gerado a partir do SRTM-90 em relação ao MDT gerado com levantamentos a laser (Liu et al., 2005, Shi et al., 2012). Identificadas as deficiências, resta avaliar se as mesmas prejudicam o objetivo a ser alcançado.

A aplicação ilustrada na Figura 3 representa área da cidade de Palmares, na região da Mata Sul pernambucana, para a qual são apresentados, de cima para baixo, segmento de ortofoto, MDT gerado a partir de perfilamento a laser e MDT gerado com a base TOPODATA. Em sequência, identificou-se o perfil de elevação de um traçado linear qualquer, como mostrado também na Figura 3. A partir desse traçado, a Figura 4 apresenta o perfil do terreno. Como se pode esperar, o MDT derivado do TOPODATA é mais suavizado, em função da interpolação sobre uma malha de pontos bem menos densa que a gerada com o LiDAR. Na

comparação dos dois perfis, a diferença máxima em valor absoluto foi 16,26m e a média 4,08m. Tais desvios tornam inviável a utilização de dados do

TOPODATA/SRTM para a maioria dos empreendimentos que necessitam de perfil do terreno.



**Figura 3.** Comparativo de perfil longitudinal do terreno sobre diferentes MDT's.

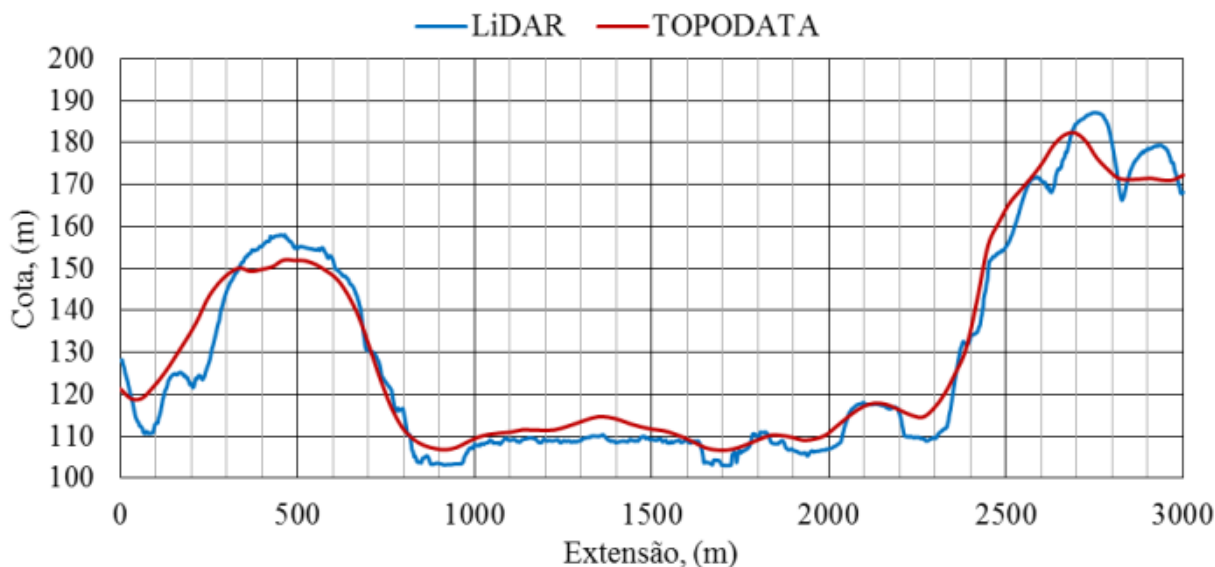


Figura 4. Representação altimétrica da seção amostral analisada.

Uma área de conhecimento que demanda fortemente o uso de geotecnologias é a de recursos hídricos, conforme atestam Mendes e Cirilo (2013). Considerando como exemplo o projeto, construção e operação de reservatórios formados por barragens, torna-se necessário identificar áreas alagáveis e capacidades de armazenamento para diferentes cotas.

Desde 2010, a Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco e agora sua sucessora, a Secretaria de Infraestrutura, tem desenvolvido e/ou contratado estudos e projetos para implantação de oito barragens destinadas a controle de cheias e outros usos, nas regiões da Mata Sul e Agreste do estado. A localização das obras está indicada na Figura 2. Todas as áreas de influência das barragens foram mapeadas por varredura a laser, com erro altimétrico atestado após a execução do levantamento menor que 16cm. Destas barragens, a de maior porte é Serro Azul, cuja localização é destacada na Figura 2. Sua capacidade de acumulação de 303 milhões de m<sup>3</sup> lhe atribui o papel principal entre as quatro barragens da bacia do rio Una no controle de cheias.

Uma análise essencial para definição das dimensões do barramento é a curva cota-área-volume, que define, para diferentes cotas, qual a área do espelho d'água e o volume possível de acumulação. Novamente comparando as bases de dados TOPODATA/SRTM e LiDAR, apresenta-se na Figura 5 a comparação dos resultados obtidos com as duas bases de dados e na Figura 6 os desvios para diferentes alturas da barragem. Esses desvios, elevados para as primeiras cotas, tenderam a se estabilizar em patamares da ordem de 10% para as cotas maiores. Considerando situações onde não se disponha de varredura a laser, os dados obtidos por meio do TOPODATA/SRTM são razoáveis para estudos de concepção e escolha dos eixos barráveis. A Figura 7 mostra a barragem Serro Azul em execução.

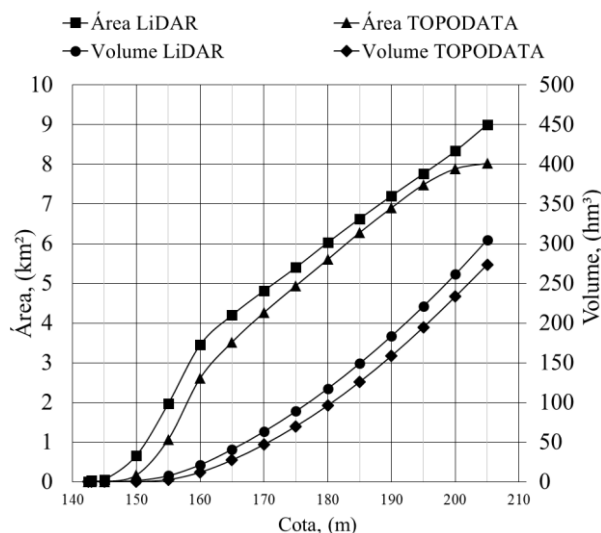


Figura 5. Curvas cota-área-volume correspondentes ao eixo da barragem de Serro Azul utilizando dados TOPODATA e LiDAR.

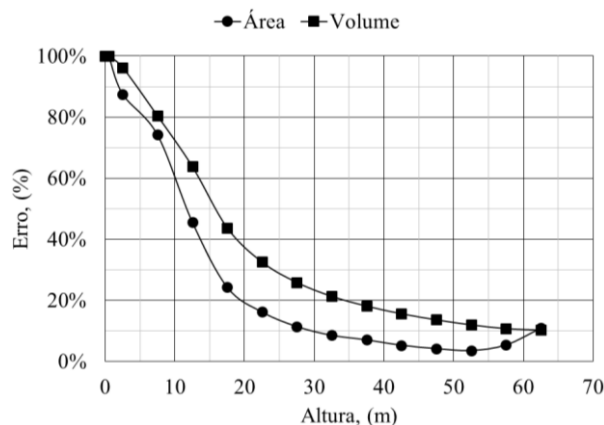


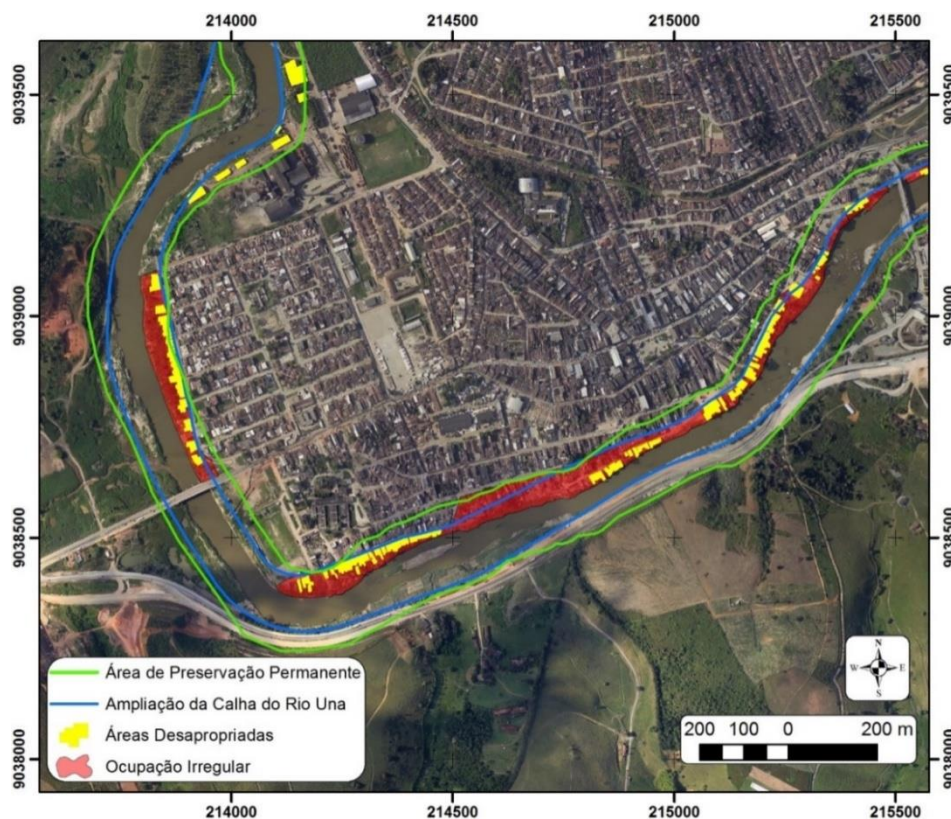
Figura 6. Desvios dos valores de área e volume correspondentes ao reservatório da barragem de Serro

Azul, considerando os dados TOPODATA em relação aos dados LiDAR.



**Figura 7.** Aspectos da construção da barragem de Serro Azul em abril de 2014.

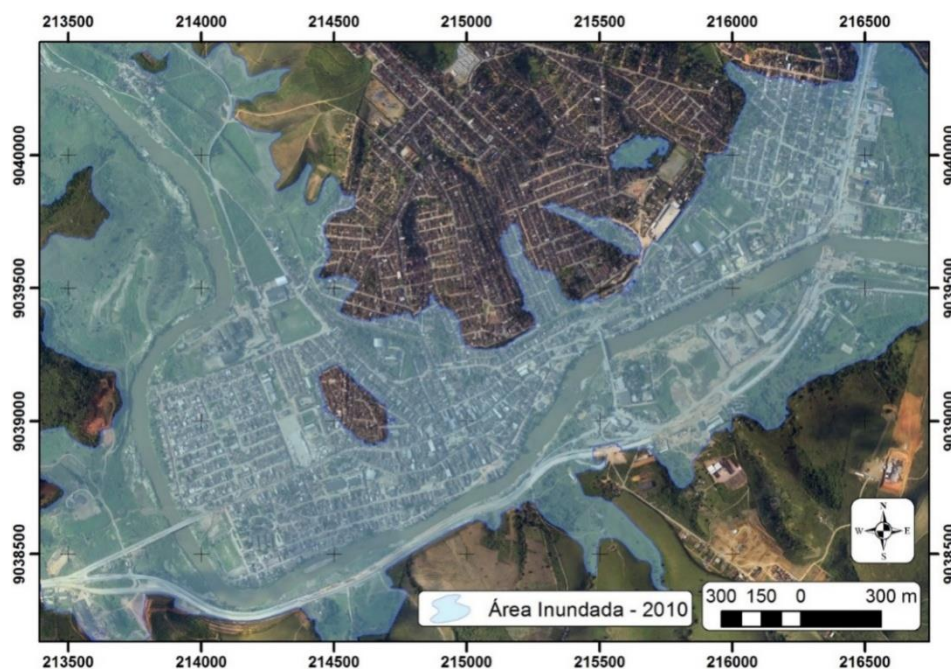
Além da construção das barragens, o perfilamento a laser serviu como base para projeto de ampliação da calha fluvial e retirada de singularidades do curso do rio Una no perímetro urbano de Palmares, bem como para programa de reordenamento da ocupação das margens, como ilustrado na Figura 8. A definição dessas intervenções teve suporte de modelo matemático de simulação hidrológica, para avaliar a formação das enchentes na bacia do rio Una a partir das precipitações, e de modelo matemático para simular os efeitos hidrodinâmicos de propagação das ondas de cheia ao longo dos rios, para eventos ocorridos entre 2000, 2004, 2010 e 2011. Em 2010 a consequência foi inundação devastadora ocorrida principalmente nas cidades de Palmares, Água Preta e Barreiros, ao longo do rio Una, na zona da mata sul pernambucana.



**Figura 8.** Mapeamento de ocupações irregulares e intervenções na calha do rio Una, Palmares-PE.

A Figura 9 mostra simulação de parte da área inundada em Palmares no evento de 2010. A qualidade da simulação, atestada por levantamentos de campo,

deve-se em grande parte ao MDT gerado pela varredura a laser. Detalhes a respeito podem ser obtidos em Dantas (2012), Dantas et al., (2014).



**Figura 9.** Simulação da área inundada em Palmares no evento de cheia ocorrido em 2010.

### Conclusão

Os modelos digitais gerados a partir de varredura a laser proporcionam comprovadamente notável avanço na qualidade dos estudos e projetos que demandam conhecimento detalhado do terreno. No caso de previsão e controle de inundações, o MDT de alta resolução é essencial para se prever adequadamente as áreas que poderão ser alagadas e a adoção de medidas para proteção das pessoas em áreas de risco. O programa Pernambuco Tridimensional, na medida em que os levantamentos sejam disponibilizados, possibilitará o planejamento da ocupação do território e a implantação de infraestruturas com muito mais rapidez, economia e sustentabilidade.

### Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições envolvidas neste trabalho: Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos/Secretaria de Infraestrutura de Pernambuco, Agência Pernambucana de Águas e Clima, Universidade Federal de Pernambuco, ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, CNPq, Banco Mundial. Igualmente agradecem às pessoas que representam esses órgãos no desenvolvimento dos produtos aqui descritos, especialmente aos Engenheiros Carlos Eduardo Dantas e Keyla Almeida, da CPRM, Prof. Alfredo Ribeiro Neto e doutorando Edilson R. Silva, da UFPE, e ao Eng. Ivan Dornelas, Diretor do ITEP.

### Referências

ANA. 2006. Atlas Nordeste: abastecimento urbano de água: alternativas de oferta de água para as sedes municipais da Região Nordeste do Brasil e do norte de Minas Gerais. Agência Nacional de Águas (ANA), Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, SPR, 80p.

- Arroyo, L. A.; Johansen, K.; Armston, J.; Phinn, S.; Pascual, C. 2008. Integration of LiDAR and QuickBird imagery for mapping riparian zones in Australian tropical savannas. *SilviLaser*, p. 113-122.
- Brandalize, A.A. 2003. Perfilamento a laser: Comparação com Métodos Fotogramétricos. Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S/A. Curitiba/PR. Disponível em: <[www.lidar.com.br/arquivos/brandalizeperf.pdf](http://www.lidar.com.br/arquivos/brandalizeperf.pdf)>. Acesso em: 20/05/2014.
- Chen, T.; Niu, R.; Wang, Y.; Zhang, L.; Du, B. 2011. Percentage of Vegetation Cover Change Monitoring in Wuhan Region Based on Remote Sensing. In: 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT 2011), p. 1466-1472.
- Cheng, L.; Tong, L.; Chen, Y.; Zhang, W.; Shan, J.; Liu, Y.; Li, M. 2013. Integration of LiDAR data and optical multi-view images for 3D Reconstruction of building roofs. *Optics and Lasers in Engineering*, v. 55, p. 493-502.
- Dantas, C.E.O. 2012. Previsão e Controle de Inundações em Meio Urbano com Suporte de Informações Espaciais de Alta Resolução. Tese de Doutorado, UFPE, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife. 221p.
- Dantas, C.E.O.; Cirilo, J. A.; Ribeiro Neto, A.; Silva, E. R. 2014. Caracterização da Formação de Cheias na Bacia do Rio Una em Pernambuco – II: Análise Estatística Regional. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, (aceito para publicação).
- Falat, D. R. 2005. Perfilamento a laser para a detecção de construções clandestinas e determinação de altura das edificações. Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S/A. Curitiba/PR. Disponível em: <[http://www.esteio.com.br/downloads/2005/edificacoes\\_clandestinas-GeoBR2005\\_artigo.pdf](http://www.esteio.com.br/downloads/2005/edificacoes_clandestinas-GeoBR2005_artigo.pdf)> Acesso em: 20/05/2014.

- Galvanin, E. A. S.; Poz, A. P. D. 2013. Sistema Lidar e Métodos de Interpolação de Dados. Revista de Geografia (UFPE), v. 30, n. 1, p. 91-102.
- Henn, A.; Gröger, G.; Stroh, V.; Plümer, L. 2013. Model driven reconstruction of roofs from sparse LIDAR point clouds. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 76, p. 17-29.
- Huang, X.; Lu, Q.; Zhang, L. 2014. A multi-index learning approach for classification of high-resolution remotely sensed images over urban areas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 90, p. 36-48.
- Liu, X.; Peterson, J.; Zhang, Z. High-Resolution DEM Generated from LiDAR Data for Water Resource Management. Centre for GIS, School of Geography and Environment Science Monash University. Disponível em: <[http://eprints.usq.edu.au/7943/3/Liu\\_Peterson\\_Zhang\\_MODSIM05\\_2005\\_PV.pdf](http://eprints.usq.edu.au/7943/3/Liu_Peterson_Zhang_MODSIM05_2005_PV.pdf)> Acesso em: 20/05/2014.
- Mendes, C.A.B.; Cirilo, J.A. 2013. Geoprocessamento em Recursos Hídricos Princípios, Integração e Aplicação. 2ª. Edição Revista e Ampliada. Porto Alegre: ABRH, 533p.
- Meneses, P. R.; Almeida, T.; Santa Rosa, A. N. C.; Sano, E. E.; Souza, E. B.; Baptista, G. M. M.; Brites, R. S. 2012. Introdução ao Processamento de Imagens e Sensoriamento Remoto. Brasília: CNPq, 276p.
- Moraes, E. C. 2002. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 23p. Disponível em: <[http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1\\_ECMoraes.pdf](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf)> Acesso em: 20/05/2014.
- RIVIX, 2000. RiverTools User Guide. Rivix Co. UsGuide.pdf. 486 p.
- Shi, X.; Girod, L.; Long, R.; DeKett, R.; Philippe, J.; Burke, T. 2012. A comparison of LiDAR-based DEMs and USGS-sourced DEMs in terrain analysis for knowledge-based digital soil mapping. Geoderma, v. 170, p. 217-226.
- Valeriano, M. M. 2008. TOPODATA: Guia para utilização dos dados geomorfológicos locais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 75p. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>> Acesso em: 20/05/2014.