

# Avaliação de Modelos Digitais de Elevação SRTM e LIDAR e suas aplicações em análises morfométricas

Frederico José Basilio do Nascimento\*, Leonardo Castro de Oliveira

Instituto Militar de Engenharia (IME)  
Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha,  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 222290-290  
frednascimento.geo@gmail.com

**RESUMO:** O levantamento de parâmetros morfométricos contribui para o entendimento da paisagem, quanto a dinâmica de circulação de energia dentro de uma bacia hidrográfica. A partir da popularização e evolução de geotecnologias como: fotografias área, imagens de satélite, Modelos Digitais do Terreno (MDT) e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), análises morfométricas tornaram-se menos onerosas em tempo de duração e mais produtivas em quantidade de resultados obtidos. O objetivo do presente artigo é avaliar o modelo SRTM comparado ao modelo LIDAR (de maior resolução espacial) para verificação de perdas e ganhos, potencialidades e limitações em representações morfométricas para o Parque Big Sky, localizado em Montana nos Estados Unidos. Os resultados apontaram que o modelo SRTM, comparado ao modelo LIDAR, possui certa limitação quanto à representação de feições geomorfológicas, formas e extensões de canais de drenagens e as maiores discrepâncias entre ambos os modelos ocorreram em localidades com maiores altitudes e declividades.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geomorfologia, Sensoriamento Remoto, Associação de MDEs, Representação do Relevo.

**ABSTRACT:** MORPHometric parameters surveys contribute to the understanding of the landscape, about a energy circulation dynamic within a hydrographic basin. With the development and increase in usage of geotechnologies, such as aerial photography, satellite images, Digital Elevation Models (DEM) and Geographic Information Systems (GIS), morphometric analysis has become less time consuming and more efficient in terms of achieved quantitative outcomes. The objective of this paper is to evaluate SRTM models in comparison to LIDAR models (with higher spatial resolution) in order to verify the losses, gains potentialities and limitations in morphometric representations to the Big Sky Park, located in Montana, United States. The results showed that, in comparison to the LIDAR model, SRTM model has some limitations in terms of the representation of geomorphological features, forms and lengths of drainage channels and the larger discrepancies between the two models occur in higher altitude and higher slope areas.

**KEYWORDS:** Geomorphology, Remote Sensing, Association of DEMs, Relief Representation.

## 1. INTRODUÇÃO

A Geomorfologia é a ciência que estuda o relevo quanto à sua gênese, forma, composição e seus processos modeladores (CHRISTOFOLETTI, 1999). Dentre as suas linhas de pesquisas a morfometria surgiu no início do século XX, como o estudo quantitativo de feições geomorfológicas presentes na superfície terrestre. Estudos ambientais relacionados a essa temática visam ao monitoramento do equilíbrio e da sensibilidade ambiental frente às mudanças ocasionadas, ou não, pela sociedade. (CHORLEY, 1969; CHRISTOFOLETTI, 1999; FLORENZANO, 2008).

Para a realização de estudos morfométricos é essencial a obtenção de dados altimétricos da superfície a ser analisada. No Brasil, os dados altimétricos digitais são disponibilizados por meio de aquisição de licenças pagas junto às empresas de aerolevantamentos, ou gratuitamente através de portais digitais como, por exemplo: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) localizado em ([http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)) e pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), disponível em (<http://www.geoportal.eb.mil.br/mediador/>).

Ambas as instituições realizam o Mapeamento Sistemático Nacional, que possui a finalidade de representar o espaço territorial brasileiro por meio de cartas gerais contínuas e articuladas, elaboradas seletiva e progressivamente, seguindo as escalas padrão que variam de 1:1.000.000 até 1:25.000 (BRASIL, 1967).

De acordo com Nogueira (2009), as cartas do Mapeamento Sistemático Nacional encontram-se desatualizadas devido à pouca renovação do quadro técnico de profissionais qualificados para exercerem as funções necessárias, às diferentes demandas e oportunidades de financiamentos de projetos, dentre outros fatores. Em contraponto, empresas de aerolevantamentos apresentam acervos cartográficos atualizados a

partir de diversas metodologias, que vão desde levantamentos de campo até a utilização de sensores aerotransportados e/ou imagens de satélite georreferenciadas para levantamentos de informações do terreno em localidades definidas por seus clientes.

Atualmente devido à grande disponibilização de geotecnologias como: Modelos Digitais do Terreno (MDTs), imagens de satélite, Sistemas de Posicionamento Globais; Sistemas de Informação Geográfica, dentre outras, foram ampliadas as metodologias para coleta de amostras do terreno e, conseqüente, diversificação de produtos a serem extraídos delas (LONGLEY *et.al*, 2013; MENEZES & FERNANDES, 2013).

Dentre as geotecnologias disponibilizadas gratuitamente encontra-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que originalmente fora disponibilizado com resoluções espaciais de 30m e 90m para o território norte americano e demais continentes do mundo, respectivamente.

De acordo com Jensen (2009), o MDE SRTM (coletado em 2000) foi elaborado por meio de interferometria de radar. A partir de duas antenas, equidistantes em 60m, que continham receptores da banda-C (resolução espacial 90m) e banda-X (resolução espacial 30m), foram coletados dados altimétricos a partir de dois ângulos de visada distintos.

Atualmente os MDEs SRTM, com resolução espacial de 30m, encontram-se disponibilizados gratuitamente para todos os continentes. Entretanto durante a confecção do presente trabalho apenas o continente norte americano possuía MDEs SRTM com resolução espacial de 30m, para os demais continentes o modelo era disponibilizado com resolução espacial padrão de 90m. Deste modo, para aproximação da realidade nacional, optou-se pela utilização de MDE com resolução espacial de 90m.

A inovação das tecnologias de levantamento da superfície

terrestre possibilitou a geração de MDEs de alta resolução espacial, como é o caso da tecnologia *Light Detection And Ranging* (LIDAR). A tecnologia consiste na coleta de milhões de pontos tridimensionais da superfície do alvo, a partir de um sensor ativo *laser*. (CENTENO & MITISHITA, 2007)

Levantamentos LIDAR, em território nacional, são realizados por empresas de aerolevantamentos e compreendem áreas de obras em estradas, obras em represas ou para fins de cadastro de imóveis rurais ou urbanos. Sua disponibilidade é justamente por meio da compra de licenças de utilização junto às empresas de aerolevantamento. Por ser um produto novo no mercado nacional, sua aquisição para pesquisas torna-se onerosa quando comparado a outras metodologias de levantamentos altimétricos já disponíveis no mercado.

Os sobrevoos existentes não comportam bacias hidrográficas completas ou unidades de relevo em escala que permitam diferenciações de ambientes geomorfológicos. Logo, os dados gerados acabam não favorecendo a realização de mapeamentos de feições geomorfológicas ou análises morfométricas em bacias hidrográficas completas, que compreendem das cabeceiras de drenagem até sua desembocadura.

Já nos EUA existe a NCALM (*National Center for Airbone Laser Mapping - <http://ncalm.cive.uh.edu/>*), que é operacionalizado pela Universidade de Houston (UH) e pela Universidade da Califórnia-Berkeley (UCB). Neste centro de pesquisas os dados do sensor LIDAR são disponibilizados de maneira gratuita correspondendo, em sua maioria, à localidades específicas do território norte americano.

No Brasil, a aplicabilidade de modelos LIDAR vem aumentando em diversas áreas do conhecimento, como alguns exemplos a seguir:

Para FERREIRA (2014) o modelo LIDAR fora utilizado para segmentação e classificação de edificações em espaços urbanos, no intuito de qualificar dados altimétricos coletados pelo sensor.

No caso de PEREIRA (2017) o modelo LIDAR foi utilizado para estimar a biomassa acima do solo em ambiente de manguezal, com distintos graus de alteração, em comparação ao modelo WorldView-2, de alta resolução espacial.

A pesquisa realizada por VIANNA & CALLIARI (2019), utilizou modelo LIDAR para a delimitação de parâmetros morfológicos de um sistema praia-duna, com objetivo de identificar variáveis responsáveis pela diversidade do ambiente.

## 2. OBJETIVO

Dada a diversidade de aplicações e metodologias de análises de modelos LIDAR, o presente trabalho tem como objetivo analisar a morfometria de uma bacia hidrográfica utilizando como insumos os MDEs SRTM e LIDAR, para verificar suas potencialidades e possíveis limitações na representação de feições presentes em superfícies de relevo acidentado.

## 3. Área Teste

Os testes foram realizados a partir do reconhecimento de áreas que possuam levantamentos SRTM e LIDAR no Parque Big Sky, localizado no estado de Montana, Estados Unidos da América, que possui uma abrangência de aproximadamente 249 km<sup>2</sup> (FIG. 1).

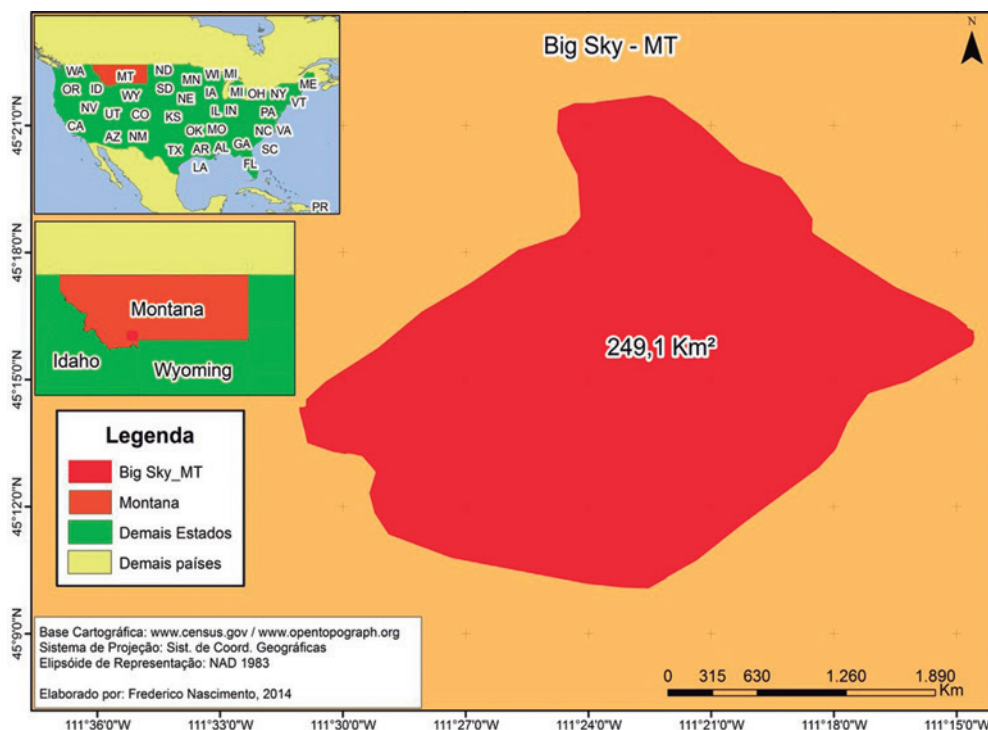


Fig.1: Mapa de Localização Parque Big Sky, Montana – EUA

A escolha da área teste não possibilitou a realização de visitas de campo. Durante a elaboração do presente trabalho, no ano de 2014, o Brasil não possuía aerolevantamentos em bacias hidrográficas, utilizando a tecnologia de laser scanner. Tal cenário demandou a busca por diretórios internacionais que possuíssem tal insumo.

#### 4. DADOS E RECURSOS UTILIZADOS

Para realização do presente trabalho foram utilizados os seguintes MDEs:

a) SRTM - disponível no diretório <http://earthexplorer.usgs.gov/>, com resolução espacial de aproximadamente 90m;

b) LIDAR - disponível no diretório <http://opentopo.sdsc.edu/gridsphere/gridsphere?cid=datasets>, com resolução espacial de 1m.

O MDE LIDAR fora disponibilizado em formato matricial .GRID, segmentado num total de 79 arquivos.

Durante a elaboração do presente trabalho, no ano de 2014, o MDE SRTM fora disponibilizado com resoluções espaciais de 30m e 90m para os Estados Unidos e resolução espacial de 90m para demais países. Para verificação da representação de feições geomorfológicas em relevo acidentado, comum em áreas do Sudeste brasileiro, optou-se pela utilização do modelo SRTM 90m, no intuito de aproximar à realidade nacional as análises confeccionadas em território estadunidense. Uma vez que, durante a confecção do presente artigo, não existia modelo LIDAR que contemplasse uma bacia hidrográfica, localizada em relevo acidentado no Brasil.

#### 5. METODOLOGIA

Para as análises morfométricas foram elaborados mapas altimétricos, mapas de declividade e mapas de drenagens a partir dos modelos: **LIDAR\_1m** (representa MDE LIDAR em sua resolução espacial original de 1m) e **SRTM\_90m** (MDE SRTM em sua resolução espacial original de 90m).

Para elaboração dos **mapas altimétricos** os modelos foram inseridos separadamente no software QGIS, classificados com intervalos altimétricos de 300m e foram obtidos os valores máximos e mínimos representados para a área teste.

Para cálculos de **declividade** é utilizada a fórmula contida em (1) e para cálculos percentuais de declividade é utilizada a fórmula contida em (2):

$$\tan \alpha = \frac{\Delta h}{Dp} \quad (1)$$

$$\tan \alpha \times 100 = \frac{\Delta h}{Dp} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$\Delta h$  Diferença de altura entre dois pontos

$Dp$  Distância horizontal entre dois pontos

Os modelos foram inseridos no software ArcGIS 9.3 e foram extraídas as declividades em unidade percentual. A partir do cálculo que considera a variação de valores de elevação de cada célula em relação a 8 células vizinhas, quanto maior for a variação maior será a declividade e quanto menor for a

variação mais plano será o terreno.

Utilizou-se a classificação da EMBRAPA (1979), representado na TAB.1, e a partir daí foram elaborados os **mapas de declividades**.

Classe Percentual	Tipo de Relevo
0% - 3%	Plano
3,1% - 8%	Suave Ondulado
8,1% - 20%	Ondulado
20,1% - 45%	Fone Ondulado
45,1% - 75%	Montanhoso
> 75%	Escarpado

**Tab.1:** Classificação de declividade EMBAPA (1979)

A **rede de drenagem** foi extraída utilizando o algoritmo **D8**, contido no software SAGA GIS, criado por O'CALLAGHAN & MARK (1984) e nele o escoamento da drenagem dá-se de maneira mais simples por considerar, para cada célula, os valores altimétricos das 8 células vizinhas. Dessa forma aquela que apresentar maior declividade em relação à célula central será a célula por onde o fluxo se direcionará, posteriormente, classificada de acordo com o método de Strahler (1952).

Além disso, foi realizada a associação por meio de sobreposição de ambos os modelos, de modo a verificar o comportamento do modelo LIDAR\_1m dentro de cada pixel SRTM, que possui área de aproximadamente 8.100m<sup>2</sup>.

A partir da sobreposição de registros pontuais LIDAR, para cada pixel SRTM foram obtidos valores como: a média LIDAR e a amplitude altimétrica LIDAR para cada pixel SRTM. Nesse sentido, tornou-se possível a elaboração de mapas que associassem ambos os modelos e permitissem a análise espacial em áreas onde ocorreram discrepância entre eles.

As análises morfométricas dão-se pelas associações de altimetria, declividades e drenagens, configurando um diagnóstico do relevo e drenagem da área levantada.

#### 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

##### 6.1 Análises Morfométricas

###### 6.1.1 Altimetria

A FIG.2 contém o mapa altimétrico realizado a partir do produto **LIDAR\_1m**. Nela observa-se que a diferença entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo é em torno de 1.586m. As altitudes mais elevadas encontram-se em locais mais próximos às bordas da área teste FIG.4A e FIG.4B e, em algumas delas, ocorre a formação de cristais, denotando o forte controle estrutural presente na área teste.

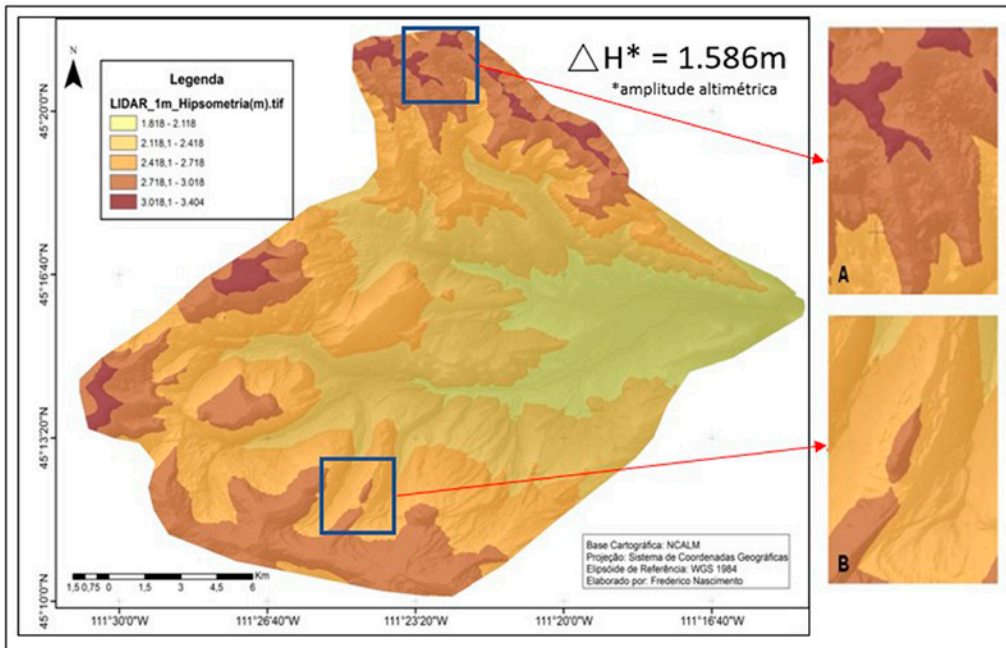


Fig.2: Mapa Altimétrico do modelo LIDAR\_1m.

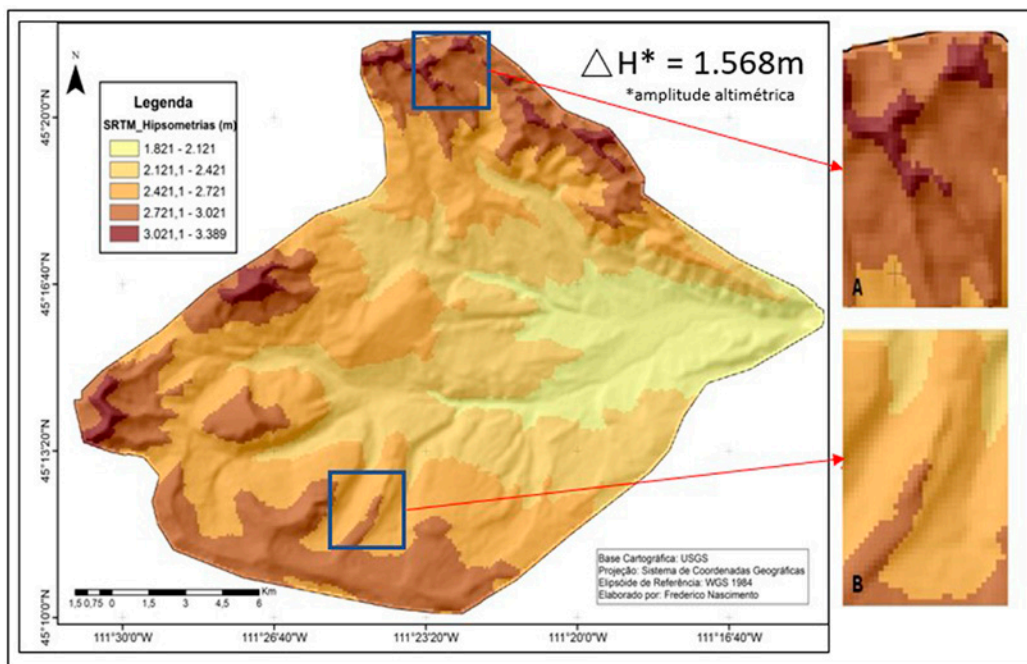


Fig.3 Mapa Altimétrico do modelo SRTM\_90m.

A FIG.3 contém o mapa altimétrico realizado a partir do produto **SRTM\_90m**. Observa-se que a amplitude altimétrica registrada encontra-se em torno de 1568m e que a partir dos detalhes das FIG.4A, FIG.4B os pixels apresentam deformidade quanto ao delineamento de cristas encontradas na superfície alvo.

A diferença entre as amplitudes altimétricas obtidas a partir dos modelos **LIDAR\_1m** e **SRTM\_90m** ocorrem em torno de 18m, observa-se ainda a perda de detalhamento de cristas e cumeadas no modelo **SRTM\_90**.

### 6.1.2 Declividade

Na FIG.4 encontra-se o mapa de declividade para área

teste. Observa-se que para o produto **LIDAR\_1m** a área teste possui declividades mais elevadas em áreas que coincidem com os mais elevados registros altimétricos, observados nos alta, resolução do produto contribui para a percepção do forte controle geológico estrutural a partir da formação de alinhamentos cristais, nas áreas mais elevadas. Tais áreas estão associadas às altas declividades, denotando a formação de relevo bastante escarpado, com presença de planícies em alguma áreas mais rebaixadas topograficamente, de acordo com a classificação da EMBRAPA (1979).

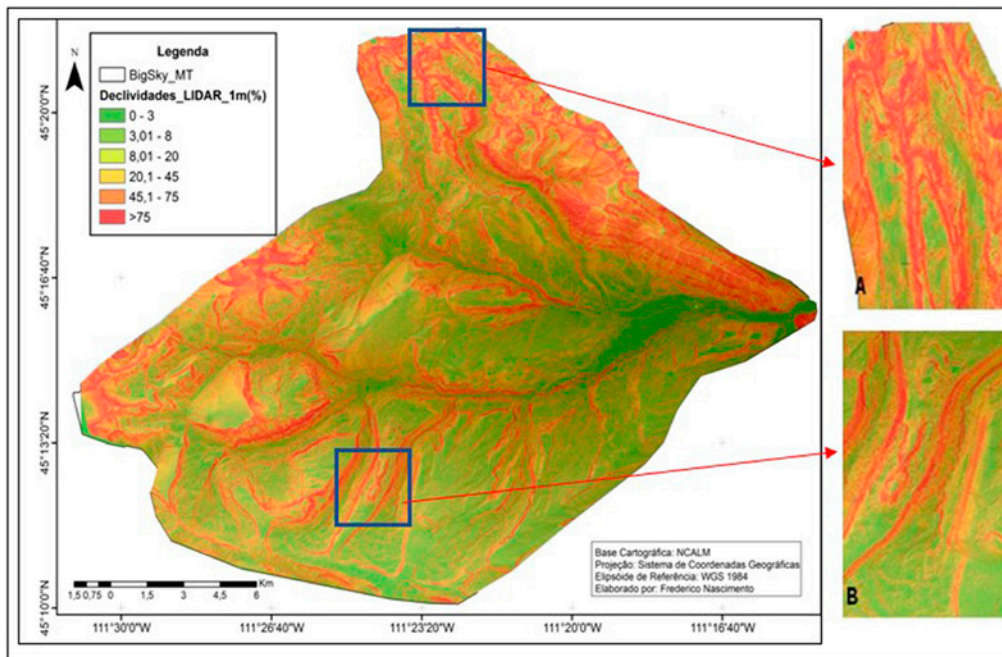


FIG.4: Mapa de declividade do modelo LIDAR\_1m.

Na FIG.5 encontra-se o mapa de declividade para o modelo **SRTM\_90m** e nele observa-se também as cristas, encostas e cumes delineados, porém percebe-se a perda de detalhamento das informações devido a característica contida em cada pixel do modelo SRTM.

O modelo **LIDAR\_1m** representa um relevo com inúmeras cristas bem delineadas, com altas declividades, associadas a topos de morros que possuem as mesmas características e presença de topografia mais ondulada e

suave em áreas mais rebaixadas.

Já o modelo **SRTM\_90m** representa um relevo mais generalista que não contribuiu para melhor análise das cristas e suas declividades, gerando análises incompletas em relação ao detalhamento da informação representada. Em áreas de baixas altitudes, o modelo **SRTM\_90** apresentou uma topografia mais homogênea em comparação ao modelo **LIDAR\_1m**.

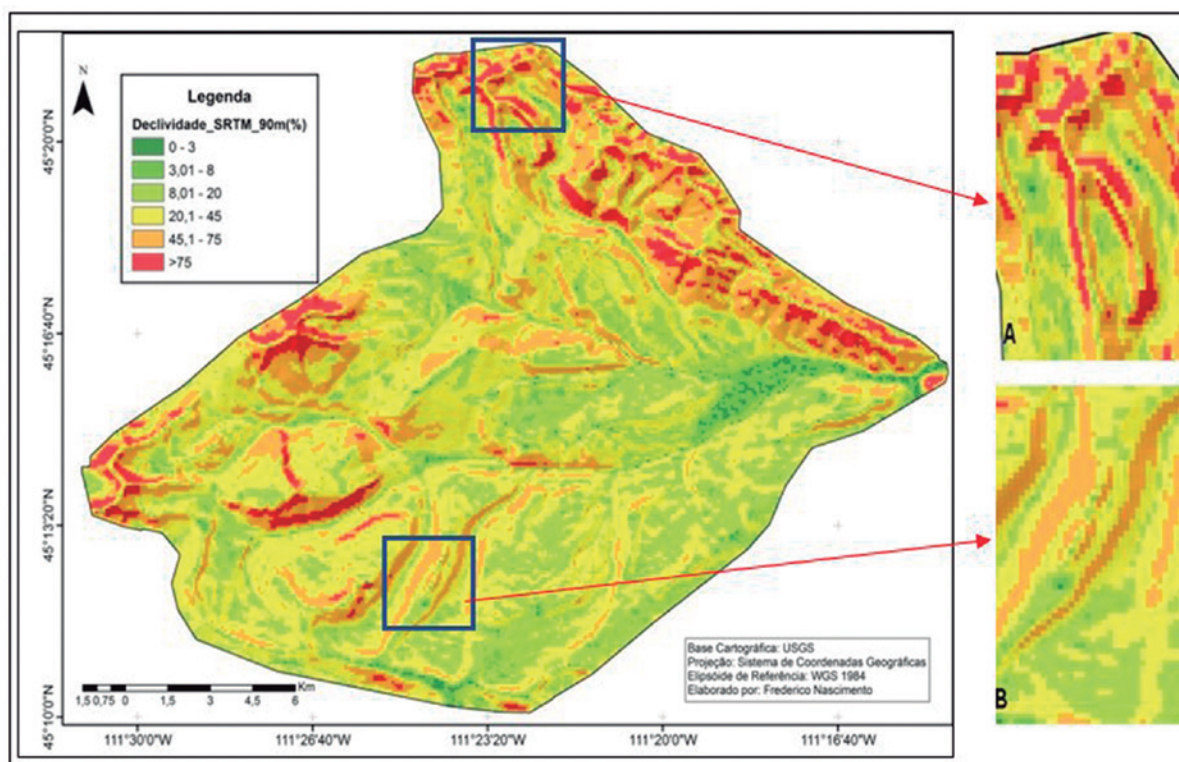


FIG.5: Mapa de declividade do modelo SRTM\_90m

### 6.1.3 Rede de Drenagem

Na FIG.6 encontra-se o mapa de drenagens extraídas a partir do produto **LIDAR\_1m** e a tabela dos canais de drenagem. Para a área teste o padrão de drenagem pode ser classificado como dendrítico, e a partir da hierarquização pelo método

de Strahler (1952) encontra-se uma bacia hidrográfica de 7ª Ordem na qual existem cerca de 2.239 canais.

Na FIG.7 encontra-se o mapa de drenagens do MDE **SRTM\_90m**, nele a bacia hidrográfica é caracterizada como de 6ª Ordem e possui padrão de drenagem dendrítico, compondo um total de 577 canais de drenagens.

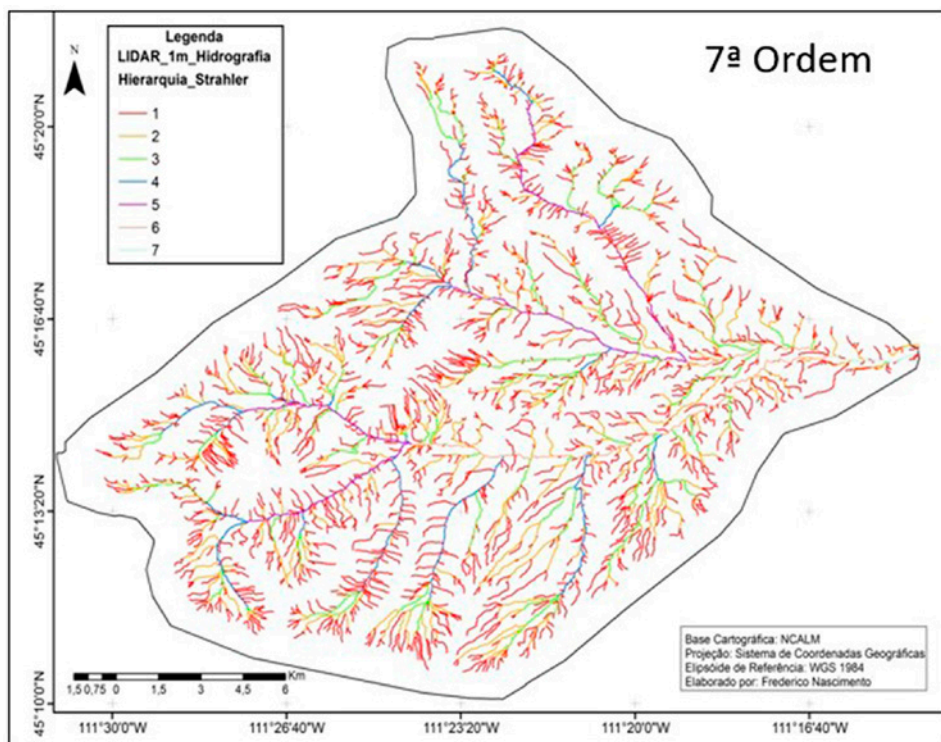


Fig. 6: Mapa de Rede de Drenagem para o MDE LIDAR\_1m.

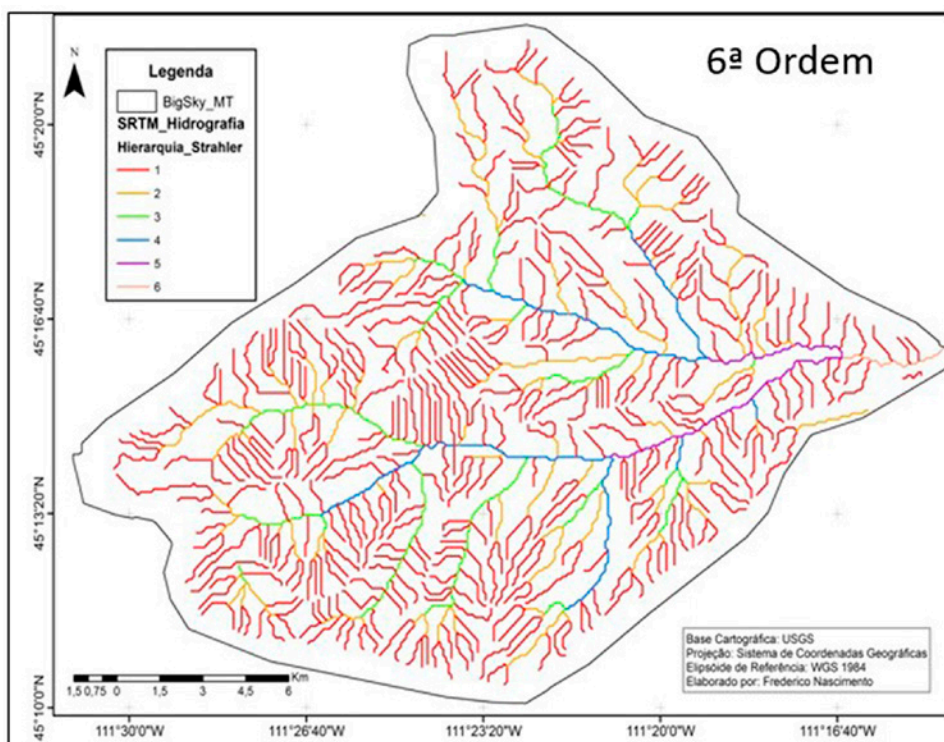


Fig. 7: Mapa de Rede de Drenagem para o MDE SRTM\_90m.

Na TAB.2 encontram-se os comparativos das redes de drenagens extraídas para os modelos **LIDAR\_1m** e **SRTM\_90m**.

A comparação entre os totais de canais de drenagem nos modelos **LIDAR\_1m** e **SRTM\_90m**, denota uma diferença em torno de 3,8 vezes mais canais, detectados no modelo **LIDAR\_1m**. Destaca-se ainda que esta diferença é superior em canais de 1ª e que ela vai reduzindo sua grandeza conforme o aumento da ordem dos canais de drenagem. Esta diferença de resultados permitiu que o modelo **LIDAR\_1m** representasse uma bacia hidrográfica de 7ª ordem, devido ao maior quantitativo de cruzamentos de canais de ordens distintas. Tal informação constatou-se como nula na representação dos canais de drenagem extraídos do modelo **SRTM\_90m** que está caracterizada como uma bacia hidrográfica de 6ª ordem.

Hierarquia Strahler	LIDAR 1m	SRTM_90m
1	1681	399
2	418	149
3	93	20
4	20	6
5	4	2
6	2	1
7	1	
	2.239 canais	577 canais

Tab.2: Quantitativo de canais de drenagens

Na TAB.3 encontram-se valores referentes às extensões dos canais de drenagem. Assim como observado anteriormente, o modelo **LIDAR\_1m** representou maior extensão de canais de drenagens em comparação aos canais de drenagem extraídos do modelo **SRTM\_90m**.

Entende-se que quanto maior a quantidade de canais de 1ª ordem presentes em uma bacia hidrográfica, maior será seu potencial erosivo e maiores serão as probabilidades de inundações em áreas mais rebaixadas, durante eventos de maior

concentração de chuvas.

Hierarquia Strahler	LIDAR 1m	SRTM_90m
1	552,3	491,8
2	220,3	91
3	103,1	43,6
4	43,7	27,8
5	29,9	12,4
6	18,2	3,2
7	2,5	
	970,3 Km	669,8 Km

Tab.3: Extensões de canais de drenagens.

Em seguida foram realizadas análises espaciais entre a associação LIDAR e SRTM e o mapa de declividades gerado a partir do modelo SRTM\_90m.

A FIG.8 representa as amplitudes altimétricas **LIDAR\_1m** registradas para cada pixel SRTM e nota-se que os registros mais elevados coincidem com as áreas em que o modelo **SRTM\_90m** apresenta suas declividades mais elevadas. Em contrapartida, observa-se que em localidades de relevo mais suave e rebaixado, os valores da amplitude altimétrica **LIDAR\_1m** para cada pixel SRTM são consideravelmente mais reduzidos.

Já a FIG.9 representa a diferença entre respectivo valor altimétrico de cada pixel **SRTM\_90** e o valor médio **LIDAR\_1m** em cada pixel SRTM. Nesta diferença, verificou-se que as áreas de maiores discrepâncias entre os valores, tanto negativos (quando os registros altimétricos médios **LIDAR\_1m** são mais elevados que os registros altimétricos **SRTM\_90m**), quanto positivos (quando os registros **SRTM\_90m** superam os registros altimétricos da média **LIDAR\_1m**) ocorrem em áreas de terrenos mais elevados e com maiores declividades. Já em áreas de relevo mais suave as diferenças entre ambos os modelos são reduzidas.

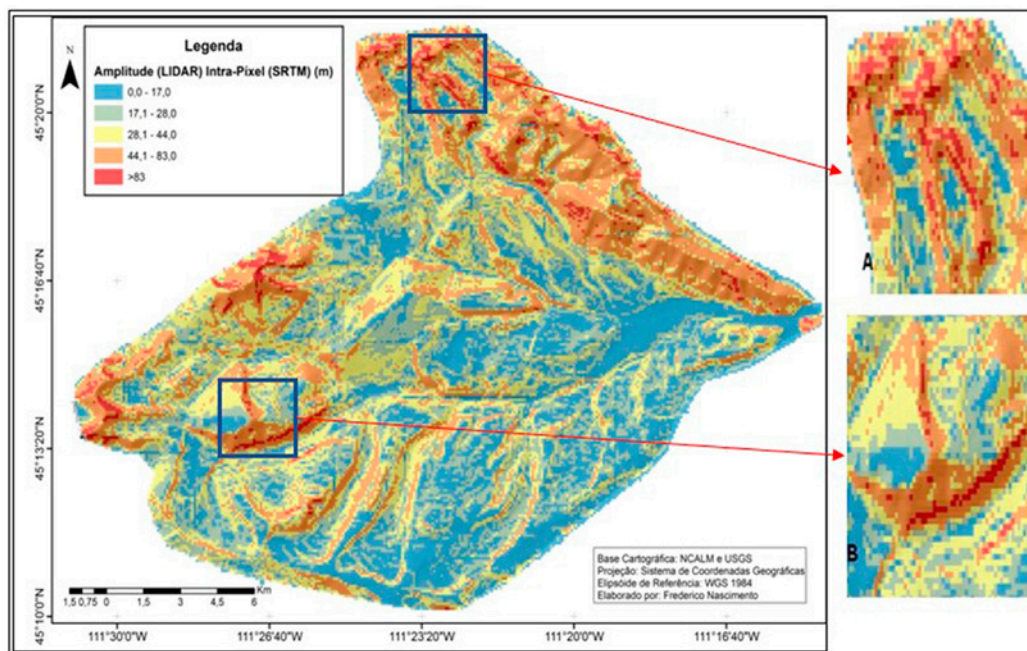


Fig. 8: Mapa de Amplitude Altimétrica LIDAR para cada pixel SRTM.

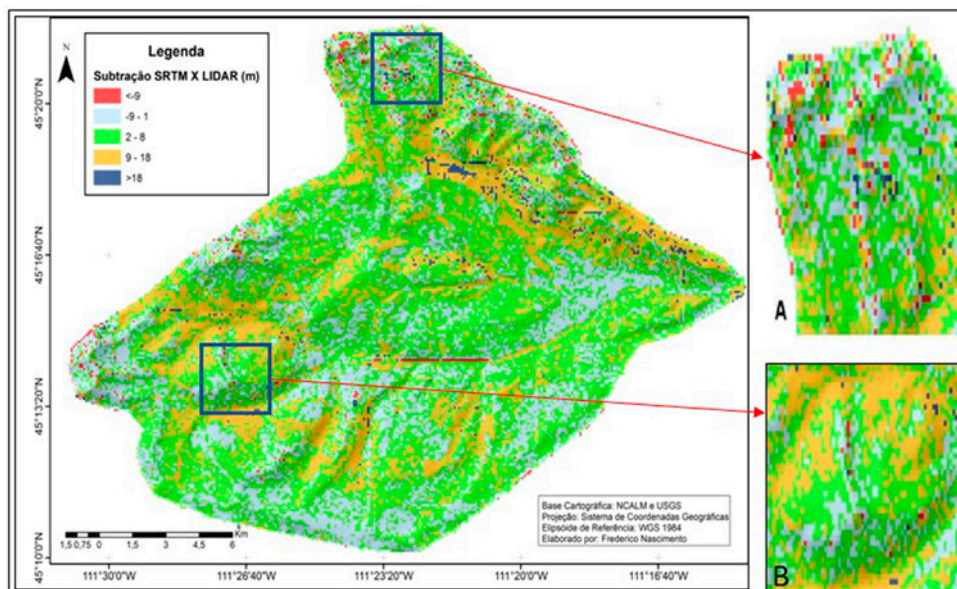


Fig. 9: Mapa de Subtração SRTM X LIDAR (média).

## 7. CONCLUSÕES

O modelo **LIDAR\_1m** por conter amostras em grande quantidade demanda uma avançada infraestrutura para seu armazenamento, processamento, manipulação e análise de seus dados.

A comparação entre variáveis morfométricas extraídas a partir de um modelo mais generalista (**SRTM\_90m**) e de um modelo mais robusto (**LIDAR\_1m**) gerou resultados discrepantes. Tais resultados influenciam diretamente às distintas tomadas de decisão, muito embora representem a mesma bacia hidrográfica.

Com relação às comparações dos modelos **LIDAR\_1m** e **SRTM\_90m** entre as análises altimétricas e declividades, as distinções ficaram restritas à visualização do terreno e suas classificações perante a metodologia utilizada pela EMBRAPA.

De acordo com análises das feições lineares, o modelo **LIDAR\_1m** apresentou maior detalhamento do delineamento, do quantitativo de canais de drenagem e extensão dos mesmos. Já o modelo **SRTM\_90m** apresentou um conjunto de informações em menor quantidade e distribuição, distorcendo a realidade da bacia hidrográfica analisada.

Os registros altimétricos conferiram maiores discrepâncias em áreas mais elevadas e com maiores declividades, ou seja, áreas escarpadas. Tal fato ocorreu tanto para análises de amplitudes altimétricas do modelo **LIDAR\_1m** inseridas em cada pixel SRTM, quanto para a diferença entre o valor médio **LIDAR\_1m** para cada pixel SRTM e cada valor altimétrico do pixel **SRTM\_90m**.

Insumos cartográficos são ferramentas essenciais para elaboração de planos de manejo e gestão de recursos naturais, nesse sentido quanto maior for a fidedignidade entre o modelo digital de elevação utilizado e o terreno a ser analisado, melhor será o planejamento ambiental.

A área teste possui relevo característico às localidades de relevo bastante acidentado, com alta influência de fatores geológicos e, nesse sentido, é possível dizer que tal comportamento do sensor LIDAR possa ocorrer em áreas como Serra do Mar, dentre outros Maciços Costeiros presentes em território brasileiro.

Recomenda-se avaliar modelos LIDAR analisando suas

distorções ao longo de diversas reamostragens, no intuito de compreender a partir de qual grandeza a imagem passa a apresentar distorções significativas de seu original.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL, Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967.
- [2] CENTENO, J. A. S., MITISHITA, E. A. Laser Scanner Aerotransportado no Estudo de Áreas Urbanas. In: **Geoinformação em urbanismo: Cidade Real X Cidade Virtual**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 191-208p.
- [3] CHORLEY, R.J. **Introduction to Physical Hydrology**. Methuen. London. 1969. 211p.
- [4] CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda e EDUSP, 1999, 236p.
- [5] EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: **Reunião técnica de levantamentos de solos**, n. 10. 1979, Rio de Janeiro. Súmula. Rio de Janeiro, 1979. p 83. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).
- [6] FERREIRA, F. R. **Segmentação do espaço urbano por meio da tecnologia Lidar aerotransportado**. São Paulo, SP. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes, 2014, 129p.
- [7] FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais** (org.). São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- [8] JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009, 598p.
- [9] LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013. 540p.
- [10]
- [11] MENEZES, P. M. L., FERNANDES, M. C. **Roteiro de Cartografia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. v. 1. 288p
- [12]
- [13] NOGUEIRA, R. **Cartografia Representação, Comunicação e Visualização de dados espaciais**, 2009. 3ed. 327p.
- [14] PEREIRA, F. R. S. **Sensoriamento remoto LIDAR e óptico aplicados à estimativa de biomassa aérea de manguezais: estudo de caso na APA de Guapimirim, RJ**. São José dos Campos, SP. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2017, 189 p.
- [15] O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D.M. **The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data**. Computer vision, Graphic and Image Processing. v 28. 323 – 344 p. 1984
- [16] STRAHLER, A. N. **Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography**. Geological Society of America Bulletin, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.
- [17] VIANNA, H. D. & CALLIARI, L. J. **Diversidade morfológica das dunas frontais no Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.20, n.02, 2019