

Análise comparativa das cartas hipsométricas SRTM e do projeto Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá - BCDCA

Herondino dos Santos Filho¹
Marcelo José de Oliveira¹
Darren Norris¹

¹ Universidade Federal do Amapá - UNIFAP
Caixa Postal 261 – 68902-280 – Macapá – AP, Brasil
herondino7@yahoo.com.br, geomarclooliveira@gmail.com, dnorris75@gmail.com

Abstract. The National Institute for Space Research - INPE through the TOPODATA initiative, has generated a significant amount of local variables derived from SRTM data for Brazil. To fill an existing cartographic void, the state of Amapá in partnership with the Armed Forces Geographical Service has generated a large volume of information using an airborne SAR interferometric sensor system. Both institutions provide a Digital Terrain Model (DTM), which, among other uses, enables further study of the topographic and hydrographic dynamics of the state. The aim of this study was to evaluate the DTM altimetry data generated from the Amapá Continuous Cartographic Base project (BCDAC) using hypsometric curves generated from these data and compare with the hypsometric curves generated from the TOPODATA SRTM. The focus of the study area is the urban area of Macapá. The results show the classification for the SRTM data in 1: 10,000 scale and class A for BCDAC data to the scale 1: 5,000. The BCDAC results were more precise at the studied scales compared with results from the SRTM data. The newly obtained BCDAC results show increased environmental fragility of the low lying and more densely populated regions to the south of Macapá.

Keywords: BCDCA, hypsometric, TOPODATA, DTM, altimetry, PEC.

1. Introdução

Através da iniciativa TOPODATA, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE apresentou uma grande quantidade de variáveis morfométricas locais derivadas dos dados SRTM para todo o Brasil e que estão disponíveis gratuitamente no site <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> (INPE, 2015). A Missão Topográfica por Radar ou *Shuttle Radar Topographic Mission* - SRTM foi uma missão espacial liderada pela agência espacial americana - *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e envolveu as agências espaciais da Alemanha (*Deutschen Zentrum für Luft - und Raumfahrt* - DLR) e Itália (*Agenzia Spaziale Italiana* - ASI) (ARAÚJO, 2006 apud VALERIANO, 2005).

Por outro lado, um produto cartográfico regional notável recente é o projeto Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá (BCDCA), a qual gerou banco de dados geográficos georeferenciados adquiridos através de sistemas de Radar de Abertura Sintética (*Synthetic Aperture Radar* – SAR) aerotransportados interferométricos. Com a primeira fase concluída o projeto teve por escopo retirar o estado do Amapá da condição de “vazio cartográfico” e foi executado via parceria entre o Governo do Estado do Amapá, por intermédio da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA) e da Secretaria de Estado do Planejamento (SEPLAN), e o Exército Brasileiro através de sua Diretoria de Serviço Geográfico, além do Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército (CIGEx) e a 4ª Divisão de Levantamento (4ª DL) (GEOPORTAL E. B., 2016).

Dentre as diversas utilizações para os insumos gerados a partir dos dados SRTM e do projeto BCDCA distribuídos está à representação da elevação altimétrica através de cartas hipsométricas. A hipsometria é reportada há muito tempo e se relaciona a história da arte, pois, em 1502, Leonardo da Vinci elaborou um mapa da região central da Itália, em que introduziu a conversão cartográfica do uso da cor para indicar mudança na elevação (COLLECTION, 2012).

Variáveis hipsométricas são usadas para a representação cartográfica do relevo de uma região em altitude acima do nível do mar, delimitada pelas curvas de nível (LIU, 2006).

Segundo Simm (2011), o mapa hipsométrico é um fatiamento em cores da superfície gerada pelo modelo numérico de terreno, ou MDE. Para Santos (2015) ela é a diferenciação da altitude em relação ao nível do mar via cor, melhorando a visibilidade das curvas de nível.

Considerando a atual disponibilidade no Estado do Amapá de dados espaciais para geração de variáveis morfométricas importantes para auxiliar no conhecimento e planejamento do uso da terra, todavia, que devem ter certo grau de confiabilidade em diversas escalas, o objetivo deste estudo está centrado na classificação, avaliação e comparação de Cartas hipsométricas do perímetro urbano da cidade de Macapá (capital do Amapá), geradas a partir de dados SRTM disponibilizados pelo TOPODATA e da Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá - BCDCA.

2. Material e Métodos

De maneira sistemática a elaboração e validação das cartas hipsométricas de Macapá, seguiu os seguintes procedimentos metodológicos: delimitação da área de estudo, aquisição de imagem, processamento de imagem, avaliação dos insumos gerados e geração de modelos de elevação.

2.1 Delimitação da área de estudo

O perímetro urbano da cidade de Macapá, capital do estado do Amapá, foi objeto de estudo deste trabalho. A área investigada se insere no retângulo envolvente definido pelos paralelos $0^{\circ} 3' 27''$ e $0^{\circ} 6' 45''$ Latitude sul e norte respectivamente, e meridianos $51^{\circ} 12' 17''$ e $51^{\circ} 0' 15''$ Longitude oeste (Figura 1). A delimitação desta área foi o primeiro passo para a elaboração do modelo hipsométrico.

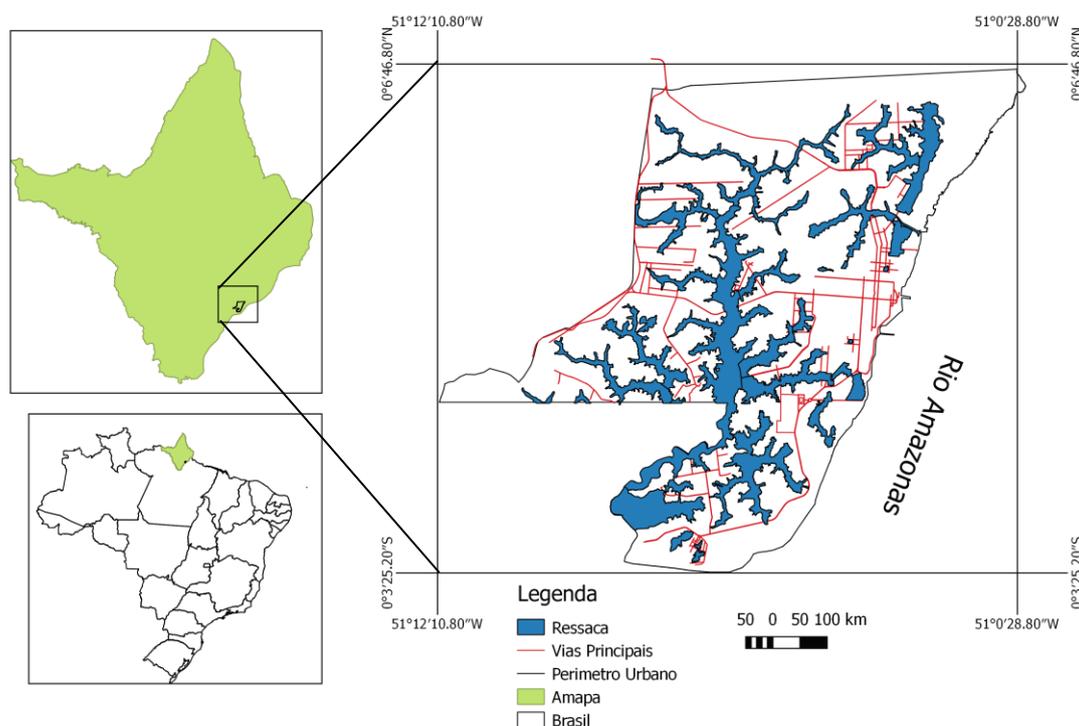


Figura 1 – Localização da área de estudo – Macapá-AP

2.2 Aquisição da imagem

O Modelo Digital de Terreno (MDT) foi obtido proveniente da distribuição gratuita realizada pela Secretaria de Meio Ambiente – SEMA/AP através de imagem digital, cedida em HD externo portátil.

A aquisição da imagem do Projeto TOPODATA do INPE em seu formato Geotiff, foi feita da base TOPODATA disponível no link <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>.

2.3 Processamento da Imagem

Após aquisição da imagem na SEMA/AP, e para que a sua leitura fosse feita no SPRING, foi criado um projeto contendo os paralelos 0° 7' 36'' e 0° 7' 36'' Latitude S e N, respectivamente, e meridianos 51° 15' 06'' e 50° 59' 53'' Longitude W. O sistema de projeção adotado foi o UTM e o modelo da terra DATUM SIRGAS 2000. Em seguida, foi construído o mosaico com o interpolador vizinho mais próximo e também o seu recorte com o *shapefile* do perímetro urbano da cidade, fornecido por Santos Filho (2011).

Do MDT obtido e dos algoritmos implementados no SPRING, foi possível a visualização do Modelo Numérico de Terreno (MNT), das isolinhas das Curvas de Níveis e dos modelos de dados para avaliação e elaboração das cartas hipsométricas.

2.4 Avaliação da carta altimétrica

O estudo da confiabilidade do MDT da Base Cartográfica foi submetido à comparação com os dados reais ou da verdade terrestre resultante oriundo da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC dos sistemas Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System – GNSS*) gerando modelos de regressão linear simples e outros parâmetros estatísticos, apresentado por Santos Filho e Oliveira (2016).

A avaliação do mapeamento teve a análise estatística através dos seguintes parâmetros: Coeficiente de *Pearson* [R], Coeficiente de Determinação [R²], Erro médio (*Mean Error*), o Erro Médio Quadrático (EMQ), o Erro Padrão (EP) e o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC.

O Padrão de Exatidão Cartográfica foi instituído pelo Decreto de 89.817 de 20 de Junho de 1984. De acordo com esta lei o Padrão de Exatidão Cartográfica é um “indicador estatístico de dispersão”, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão (EP), ou seja, de acordo com a Equação 1:

$$PEC_{Encontrado} = 1,6449 \cdot EP \quad (1)$$

Os valores devem ser comparados com dados tabelados conforme o caso, levando em consideração que o PEC encontrado deve ser menor que o PEC tabelado, ou seja, em conformidade com a Equação 2:

$$PEC_{Encontrado} < PEC_{Tabela} \quad (2)$$

2.5 Modelos Hipsométrico

Verificado o seu PEC, foram produzidas as cartas hipsométricas dos dados SRTM e BCDCA, levando em conta a sua equidistância na geração das classes hipsométricas.

2.5.1 SRTM

A metodologia empregada para o tratamento dos dados obtidos junto ao TOPODATA teve inicialmente a criação do modelo de dados temático e os atributos das suas classes. A seguir, procedeu-se o fatiamento, onde se definiu os limites: o valor da cota mínima (0) e máxima (30 m), baseados em valores próximos dos mínimo e máximo registrado nos dados fornecidos pela própria imagem do TOPODATA. A seguir definiu-se o intervalo de

fatiamento em 3 metros, a partir do PEC encontrado (item 3.1), gerando uma representação de dez classes entre 0 e 30 metros.

2.5.2 BCDCA

Os procedimentos adotados no tratamento dos dados adquiridos da BCDCA foram iniciados com a elaboração do modelo de dados temático e dos atributos das suas classes. Em seguida, fez-se o fatiamento, com a definição dos limites de valor da cota mínima (0) e máxima (25,74 m). Também fundamentados em valores do mínimo e máximo encontrado nos dados fornecidos pela própria imagem da BCDCA. Considerou-se o intervalo de fatiamento em 1,98 metros, em consonância com o PEC encontrado (item 3.1) na representação de treze classes entre 0 e 25,74 metros em respectivo intervalo.

3. Resultados e Discussão

3.1 Avaliação do mapeamento

Para o mapeamento foram utilizadas 58 cotas altimétricas com suas coordenadas geodésicas fornecidas pela Empresa topográfica CONSTRUTORA AMACOL LTDA e avaliada por Santos Filho e Oliveira (2016).

Os valores da Base Cartográfica Digital e Contínua do Amapá – BCDCA quando comparados com os dados DGNSS apresentaram resultados de correlação atingindo 0,9934 e coeficiente de determinação de 0,987, mostrando alta correlação, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros comparativos entre os dados BCDCA e TOPODATA

Parâmetros	BCDCA	TOPODATA
Erro Médio	0,005553	0,007714
EQM	0,199253	0,917822
Erro Médio Percentual	2,601376	2,933335
Coefficiente de Peason	0,993479	0,973653
Coefficiente de Determinação	0,987000	0,948000
Desvio (EP)	0,446377	0,958030

As classes de elevação altimétricas com referência as curvas de nível de cada modelo estão em destaque (cinza) na Tabela 2. A BCDCA encontra-se na classe A, em dois metros de equidistância, escala 1:5.000. A um metro de equidistância cai para a classe C.

O modelo TOPODATA está na classe A em cinco metros de equidistância, mais vai para a classe D a dois metros de equidistância.

Tabela 2 – Classes encontradas em cada modelo de elevação para altimetria (curvas de nível)

Classe	BCDCA		TOPODATA	
	PEC = 0,73425; EP = 0,44638		PEC = 1,57586; EP = 0,9580	
	1:1.000 ou 1:2.000 (Eqd = 1m)	1:5.000 (Eq = 2m)	1:5.000 (Eqd = 2m)	1:10.000 (Eqd = 5m)
A	0,50	1,00	1,00	2,50
B	0,60	1,20	1,20	3,00
C	0,75	1,50	1,50	3,75
D	1,0	1,0	2,0	5,0

Pela definição de Liu(2006), Simm(2011) e Santos(2015) e dada a representação computacional, podemos também dizer que uma carta hipsométrica é uma reprodução temática (matricial) onde suas classes são dados agrupados de isolinhas (vetorial)

representativas das curvas de nível. Sendo assim, uma representação de classes temática com diferença cerca de 2m de equidistância é inteiramente justificada para os dados BCDCA com classe A. Para dados SRTM, essa representação pode ser de 3m de equidistância visto que na Tabela 2 o PEC classe A encontra-se entre 2m e 5m de equidistância.

3.2 Cartas Hipsométricas

Os resultados contam com duas cartas hipsométricas da área do perímetro urbano da cidade de Macapá em escala de 1:100.000, sendo a primeira com 10 classes altimétricas, com uma variação mínima de 0(zero) metros até uma elevação máxima de 30 (trinta) metros de altura conforme mostra a Figura 2. A segunda descreve 13 classes altimétricas, com uma variação mínima de 0(zero) metros até uma elevação máxima de 25,74 metros de altura de acordo com a Figura 3.

Na primeira carta, representação dos dados SRTM (Figura 2), é possível observar a abrangência de áreas com altitudes entre 12 e 30 metros em tonalidades avermelhadas. Aparentemente são terrenos de terra firme e de maior altitude. Representam 52,4% da zona urbana de Macapá, ocorrendo nas porções norte, noroeste e oeste da mesma, e mais raramente na zona sul da capital. A seguir, observa-se o predomínio de áreas úmidas, localmente/regionalmente denominadas de áreas de “ressacas”, e que são os locais de maior sensibilidade e importância ambiental. Morfometricamente abrange duas classes altimétricas, entre 0 a 6 metros e aparecem em tonalidade de azul nas porções centrais, nordeste e sul do perímetro urbano de Macapá, representando aproximadamente 17,9% deste polígono. Entre as áreas de ressaca e as porções mais altas, destaca-se uma zona em tons verdes com altitudes, entre 6 e 12m, que representam 29,6% da área urbana (ver Tabela 3).

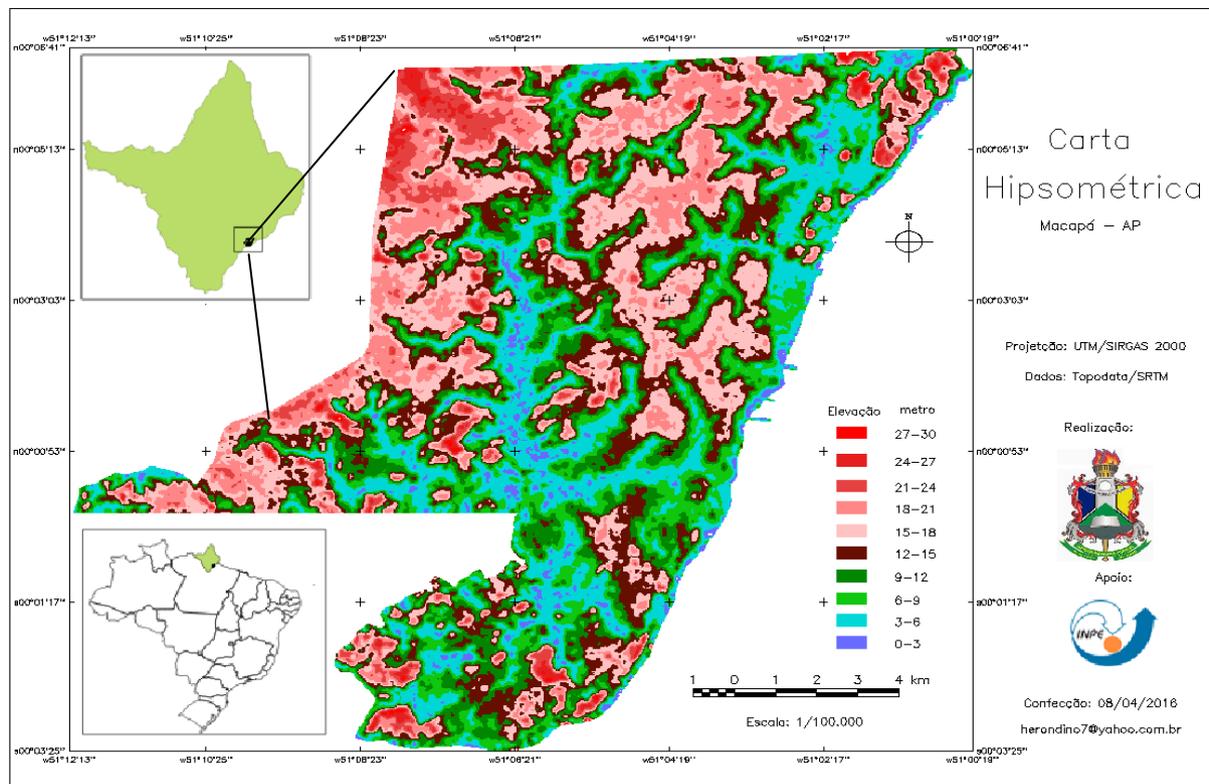


Figura 2- Carta Hipsométrica SRTM com intervalo entre as classes de 3m de Macapá-AP

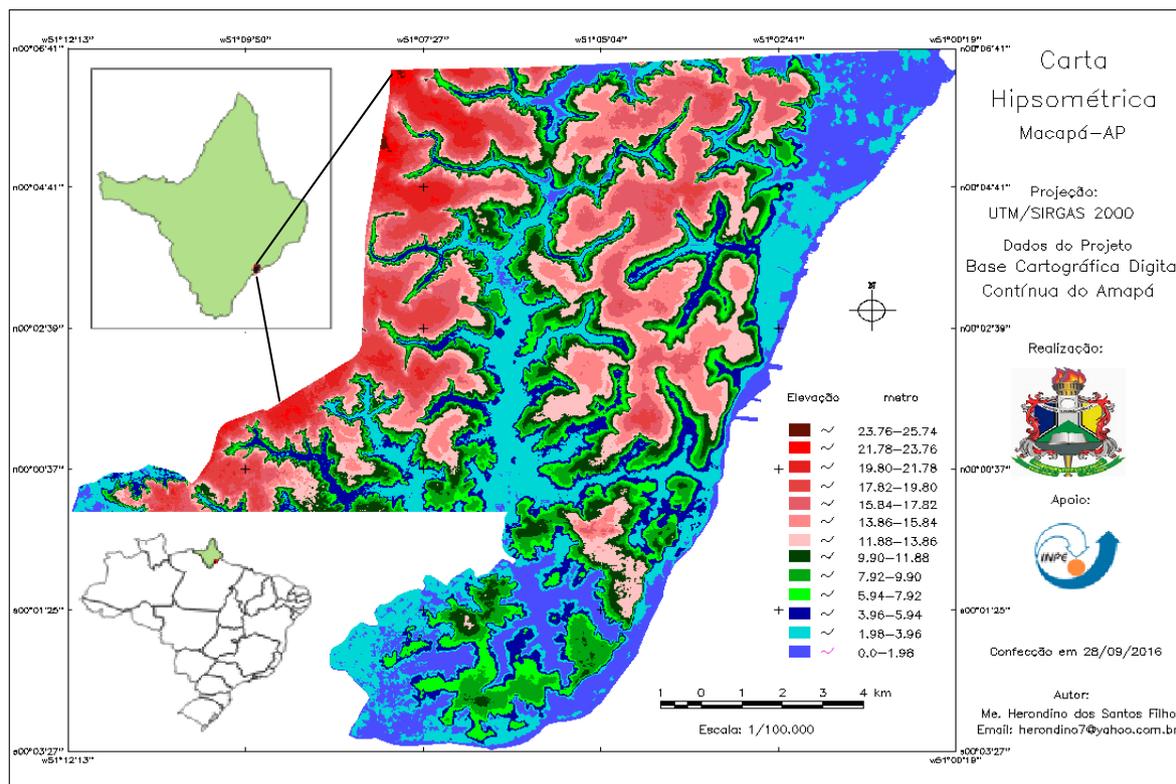


Figura 3 – Carta Hipsométrica BCDCA com intervalo entre as classes de 1,98m de Macapá/AP

Na segunda carta, representação dos dados MDT da BCDCA (Figura 3), é notório a presença de áreas com altitudes entre 11,88 e 25,74 metros em tonalidade avermelhada. Aparentemente são terrenos de terra firme e de maior elevação. Nessa perspectiva, representam 35,09 % da zona urbana da cidade, ocorrendo nas porções norte, noroeste, e oeste da mesma, e mais raramente na zona sul da capital. Em seguida, observa-se um predomínio mais alargado das áreas úmidas que são mostradas na tonalidade azul, onde estão inseridas as áreas de “ressacas”. Sua morfologia apresenta três classes altimétricas, entre 0 e 5,94m, aparecem nas porções centrais, nordeste, norte do perímetro urbano e possuindo forte presença na zona sul, representando 39,41% da área total do perímetro urbano, em que revela de modo mais preciso o tamanho das áreas úmidas. Entre as áreas de ressacas e as porções mais elevadas, destaca-se uma zona em tons verdes com altitudes entre 5,94 e 11,88 que representam 25,5 % do perímetro urbano. É possível que seja a porção responsável pela proteção verde das áreas de ressaca, abrangendo a sua mata ciliar e também área de escoamento das águas da chuva para as áreas de ressaca.

Ao analisar as duas cartas verifica-se que a diferença é explicada pelo tamanho do pixel utilizado no registro e a frequência empregada em cada sensor. O SRTM possui comprimento de onda de 5,6 cm e resolução de 90 metros, cujo sinal de retorno do radar em áreas de densa cobertura vegetal, como na APA da Fazendinha ou no Parque Zoobotânico de Macapá, é controlado pelo dossel das árvores. Sendo assim, os valores de elevação obtidos nessas regiões, correspondem à altitude média da porção do dossel das árvores contido no elemento de resolução do sistema (ALMEIDA-FILHO, 2010). Em contrapartida a resolução da BDCA é de 2,5m num comprimento de onda de 62 cm para a banda P, que ultrapassa o dossel das árvores, obtendo informações de maior precisão do terreno (AMAPÁ, 2014), mostrando com maior nitidez o que há solo.

Na carta resultante da BCDCA (Figura 3), a ressaca do Tacacá juntamente com a ressaca da Fazendinha, Jandiá, e do Igarapé da Fortaleza são as de mais baixa elevação do perímetro

urbano atingindo uma altitude predominante máxima de 1,98 metros de elevação em relação ao nível do mar. Destas a de maior densidade humana são as de Fazendinha e do Tacacá. A carta oriunda dos dados SRTM (Figura 2) não faz essa diferenciação.

A Figura 3 apresenta ainda uma fragilidade singular na ressaca denominada Tacacá, pois ela está sujeita a desastre ambiental caso seja removida a estreita faixa de vegetação que separa a Reserva Particular do Patrimônio Natural Aldeia Ekinox do rio Amazonas, pois se encontra no mesmo nível de elevação.

Outro fator relevante a ser observado pela carta hipsométrica (Figura 2), é verificar que a altitude da zona sul da cidade de Macapá é visivelmente mais baixa que a altitude da zona norte. Na zona sul a elevação predominante vai até 12 metros e na zona norte essa é mais equilibrada entre os outros valores das classes altimétricas. Também a segunda carta hipsométrica (Figura 3), confirma que a altitude da zona sul da cidade de Macapá é visivelmente mais baixa que a altitude da zona norte. Para este modelo, na zona sul a elevação vai até 17,82m, entretanto a de maior predominância é de até 5,94 metros de elevação. Neste modelo a zona norte apresenta uma maior distribuição entre os outros valores das classes altimétricas.

Os dados SRTM apresentam uma medida bastante diferenciada quando confrontados com os da BCDCA em áreas que apresentam um dossel de árvores. Como exemplo desta diferença tem na Figura 2 a Área de Proteção ambiental (APA) da Fazendinha onde apresenta uma altura de até 27m (extremo sul da carta). Para os dados BCDCA essa elevação é de 0 até 3,96. Essa diferença de 23 a 27 metros entre os modelos, poderia ser confrontado com o modelo de superfície (MDS) da BCDCA para maiores esclarecimentos.

A Tabela 3 mostra que 98,5% da elevação da cidade de Macapá encontram-se entre 0 e 24 metros de altitude e 83,0% é de 0 a 18 metros. Para os dados da Base Cartográfica a Tabela 4 mostra que 99,59% da elevação da cidade de Macapá encontram-se entre 0 e 21,78 metros de altitude e 92,32% é de 0 a 17,82 metros.

Tabela 3 – Áreas das classes hipsométricas - SRTM

Nº ordem	Altitude(m)	Área (Km ²)	%	Fa (%)
01	0-3	3,56	1,9	1,9
02	3-6	29,42	16,0	17,9
03	6-9	27,05	14,7	32,6
04	9-12	27,37	14,9	47,5
05	12-15	31,68	17,2	64,7
06	15-18	33,64	18,3	83,0
07	18-21	21,21	11,5	94,6
08	21-24	7,21	3,9	98,5
09	24-27	2,40	1,3	99,8
10	27-30	0,37	0,2	100,0
Total		183,91	99,9	

Tabela 4 – Áreas das classes hipsométricas - BCDCA

Nº Ordem	Altitude(m)	Área (km)	%	Fa (%)
01	0,0-1,98	22,12	12,03	12,03
02	1,98-3,96	32,14	17,48	29,51
03	3,96-5,94	18,21	9,90	39,41
04	5,94-7,92	15,24	8,29	47,70
05	7,92-9,90	15,72	8,55	56,25
06	9,90-11,88	15,93	8,66	64,91
07	11,88-13,86	17,96	9,77	74,68
08	13,86-15,84	18,17	9,88	84,56
09	15,84-17,82	14,27	7,76	92,32
10	17,82-19,80	8,93	4,86	97,18
11	19,80-21,78	4,44	2,41	99,59
12	21,78-23,76	0,66	0,36	99,95
13	23,76-25,74	0,09	0,05	100,00
Total		183,88	100,00	

4. Conclusões

O insumos MDT da Base Cartográfica Digital e Contínua do Amapá, podem gerar elaboração de Cartas Topográficas altimétricas (curvas de nível) para uso com dado de referência em grande escalas compatíveis com a representação do espaço geográfico municipal, neste caso, para o mapeamento topográfico do município de Macapá, nas escalas 1:1.000 ou 1:2.000 na classe C e 1:5.000 na Classe A.

O modelo TOPODATA atingiu a classe D (1:5.000) a dois metros de equidistância e classe A(1:10.000) em cinco metros.

A carta hipsométrica da Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá é sem dúvidas de maior precisão que os dados apresentados pelos dados SRTM, ressaltada as suas escalas altimétricas.

A precisão da Banda P da Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá ressalta ainda que os dados SRTM sejam dados de superfície, onde este mostra as copas das árvores revelando uma estimativa cerca de 18% do perímetro urbano estando provavelmente sobre áreas úmidas, enquanto na BCDCA, este valor, para uma mesma altitude aproximada de 6 metros, se estende a cerca de 40% do perímetro urbano.

Outro fator inegável apontado pelas cartas é a fragilidade altimétrica apresentada pela baixa elevação da zona sul de Macapá, em especial as área sujeitas às inundações e de maior densidade humana: Fazendinha e do Tacacá.

5. Agradecimento

Ao Laboratório de Geoprocessamento de Ciência Ambientais – LABGEO/CA pela disponibilidade de seus computadores e conexão, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela disponibilização dos diversos recursos, ambientes e software que tornaram possível a elaboração do presente estudo e ao Governo do Estado do Amapá através de suas secretarias de meio ambiente e planejamento pelas imagens cedidas.

6. Referências

- Araujo, E. P. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 2006.
- Collection, Royal. **A map of central Italy**. 2012. Disponível em: <<https://www.royalcollection.org.uk/eGallery/object.asp?maker=12196&object=912277&row=436>>. Acesso em: 01 jul. 2016.
- Exercito Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia, Diretoria de Serviço Geográfico – **Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)** Editoração e impressão pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2ª Edição, 2011.
- INPE. Ministério da Ciência e Tecnologia. /www.dsr.inpe.br, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 24 Novembro 2015.
- Liu, William Tse Horng. **Aplicações de Sensoriamento Remoto / William Tse Horng Liu**. Campo Grande. Ed. Uniderp, 2006.
- Santos Filho, H. ; Almeida, M. G. ; Rios, R. O . **Mapeamento e análise da carta imagem da cidade de Macapá-AP obtida através dafusão das imagens do satélite CBERS-2B multisensor CCD e HRC**. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011. p. 2614-2619.
- Santos Filho, H.; Oliveira, M . **Avaliação do Modelo Digital de Terreno (MDT) do projeto Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá: estudo de caso do perímetro urbano de Macapá**. In: Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2016, Cuiabá. 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2016.
- Santos, Clézio dos (Org.). **Cartografia Geográfica e Representação Gráfica/Clézio Santos** – Nova Iguauçu, Agbook, 2015.
- Simm, A. P. R .L. **Mapeamento do potencial de instabilização de taludes rodoviários: usando SIG e seções geológico – geotécnicas de campo com aplicação da rodovia SP-310**. 1ª Ed. Biblioteca24horas, São Paulo , 2011. p. ISBN978-85-7893-925-0.
- Amapá. Cláudia Funi. Secretaria de Estado e Meio Ambiente (Org.). **Rede Cartográfica e Redes Geodésicas do Estado do Amapá**. Macapá, 2014. 52 p
- Almeida-Filho, R.; Ibanez, D. M.; Miranda, F. P. de. **Interpretação morfoestrutural com dados SRTM no auxílio à exploração petrolífera: um exemplo na bacia sedimentar do Amazonas**. Rev. Bras. Geof., [s.l.], v. 28, n. 1, p.89-98, mar. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-261x2010000100007>