



## XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **ESTIMATIVA DE PARÂMETROS MORFOLÓGICOS OBTIDOS A PARTIR DE DADOS DE SATÉLITE: ANÁLISE INTER-COMPARATIVA DAS BASES DE DADOS TOPODATA E ASTER**

*Carlos Hugo Campos Camacho*<sup>1</sup>; *Thaís Regina Benevides Trigueiro Aranha*<sup>2</sup>; *Ticiano Marinho de Carvalho Studart*<sup>3</sup>

**RESUMO** – O estudo hidrológico de uma bacia hidrográfica começa com a determinação de seus parâmetros morfológicos. Dentre eles estão à área, o comprimento e a inclinação do canal principal, além do tempo de concentração. Para a perfeita determinação destes parâmetros, é necessário o detalhado levantamento acerca das características topográficas. Desta forma, o uso de Modelos Digitais de Elevação (MDE) por meio de técnicas de sensoriamento remoto juntamente com as técnicas de delimitação automática de bacias hidrográficas, através de Sistemas de Informações Geográficas, tem se apresentado como uma solução eficaz pela rapidez e maior precisão nos processos. Este estudo comparou os dados de MDE dos programas Topodata e ASTER GDEM, usados para obtenção dos parâmetros necessários para determinar o tempo de concentração das bacias hidrográficas do estado do Ceará. Como resultado, tem-se que o uso do ASTER GDEM é mais apropriado em bacias de até 5.000km<sup>2</sup>, uma vez que os resultados não diferem em mais de 6,63% dos obtidos com Topodata, e seu tempo de processamento é menor a 1%. Em bacias pequenas é recomendado o uso do Topodata devido a resolução do pixel ser mais alta.

**ABSTRACT**– The hydrologic study of a watershed is based on the determination of its morphological parameters, such as the area, the length, the slope of the main channel, and the time of concentration. To perfect determine these parameters, it is required a detailed survey about the topographical. Thus, the use of Digital Elevation Models (MDE) using remote sensing techniques along with the automatic delineation techniques watershed through Geographic Information Systems has emerged as an effective solution for achieving results quickly and more accurately. This study compares the DEM built from Topodata and ASTER GDEM programs to obtain the necessary parameters to determine the time of concentration of watersheds in the state of Ceará. As a result, it follows that the use of ASTER GDEM is more appropriate in basins up to 5,000 km<sup>2</sup>, since the results do not differ by more than 6.63% of those with Topodata, and processing time is less than 1%. In small basins it is recommended to use the Topodata because the pixel resolution is higher.

**Palavras-Chave** – Bacia hidrográfica, tempo de concentração, Modelo Digital de Elevação.

1) Mestrando em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, (85) 99811-1837, carlosciv374@gmail.com

2) Doutoranda em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, thaís\_benevides@hotmail.com

3) Professora Doutora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE, ticiano@ufc.br

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo hidrológico de uma bacia hidrográfica começa com a determinação de seus parâmetros morfológicos. Dentre os principais parâmetros estão à área, o comprimento e a inclinação do canal principal, além do tempo de concentração, que é definido como o tempo necessário para a precipitação atingir as regiões mais periféricas da bacia até chegar ao exutório (Mulvany, 1895 *apud* Mota & Kobiyama, 2015). O tempo de concentração é um parâmetro com certa importância científica por estar ligado a diversos fatores da bacia hidrográfica, como precipitações, eventos climáticos e mecanismos de vazão (Mota & Kobiyama, 2015).

Para a perfeita determinação destes parâmetros, é necessário o detalhado levantamento acerca das características topográficas da bacia hidrográfica estudada, pelo fato dos canais de escoamentos superficiais serem controlados pela topografia. Desta forma, as mudanças no relevo, em decorrência das modificações em nível de paisagem, podem afetar de maneira significativa os modelos hidrológicos.

No Brasil, a maioria dos estudos hidrológicos, seguem as informações topográficas existentes nas cartas planialtimétricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entretanto, editadas em 1977, estas cartas não representam a paisagem atual (Costa *et al.*, 2007). Além de mapas topográficos feitos manualmente a partir de fotografias aéreas, podendo conter uma série de erros devido à utilização de técnicas ultrapassadas, comprometendo sua confiabilidade (Jarvis *et al.*, 2004). Diante desta problemática, o uso de Modelos Digitais de Elevação (MDE) por meio de técnicas de sensoriamento remoto, tem se configurado a forma mais prática, rápida e possível para delimitar as bacias hidrográficas com maior precisão. Além de suprir a carência de informações relativas ao relevo.

O sensoriamento remoto pode ser definido como a arte, ciência e tecnologia de obter informação confiável sobre objetos físicos e o ambiente por meio do processo de registro, medição, e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados de sistemas sensores sem contato físico (Colwell, 1997).

Existem vários satélites que utilizam técnicas de sensoriamento remoto para disponibilizar dados de MDE, como, por exemplo, SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), ASTER GDEM, ALOS PALSAR, dentre outros. Estes dados podem ser entendidos como a representação espacial de um terreno através de elementos de uma matriz. A estrutura matricial é dividida em células (componente básico), que são pixels que contêm um número ou código chave ligado aos seus atributos. Este modelo é compatível com atributos contínuos (exibe mudanças contínuas através do espaço – qualquer localização no espaço receberá um valor diferente). No caso do MDE, cada célula fornece a cota altimétrica de sua devida localização (Delaney & Van Niel, 2007).

O desenvolvimento e o aperfeiçoamento de técnicas de delimitação automática de bacias hidrográficas por meio de informações de relevo, que podem ser representadas pelo MDEs, têm sido objeto de estudo em várias partes do mundo. Tais técnicas são implementadas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), promovendo resultados relevantes (Alves Sobrinho *et al.*, 2010).

Os SIGs existem desde a década de 60, e seu uso cresceu bastante na década de 80, continuando a se expandir nos dias de hoje (Delaney & Van Niel, 2007). Esses sistemas agrupam ferramentas utilizadas para coleta, armazenamento, transformação e visualização de informações espaciais para um ou mais objetivos. Estas informações descrevem a localização de quaisquer objetos no mundo real, acompanhados de seus respectivos atributos (Burrough, 1986). Em síntese, SIG são sistemas computacionais que utilizam referências geográficas e auxiliam o geoprocessamento (Medeiros, 2014).

O objetivo deste estudo é comparar os dados de Modelo Digital de Elevação dos programas Topodata e ASTER GDEM, para obtenção dos parâmetros necessários para determinar o tempo de concentração das bacias hidrográficas do estado do Ceará.

## 2. METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia proposta para as etapas da comparação dos parâmetros morfológicos.



Figura 1 – Fluxograma de trabalho. Fonte: Os autores.

Como demonstrado no fluxograma, à metodologia segue os procedimentos a seguir.

- Coleta de dados para modelagem: Os dados de entrada na modelagem podem ser adquiridos de formas distintas. No presente trabalho os dados foram obtidos em formato matricial nos respectivos servidores web dos projetos Topodata e ASTER GDEM.

O Projeto Topodata oferece o MDE e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS (*United States Geological Survey*) na rede mundial de computadores. Por padrão, os modelos de elevação Topodata são fornecidos em coordenadas geográficas, Datum WGS 1984. O tamanho da célula raster fornecida pela Topodata é de 30x30m. O projeto é desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), com arquivos de imagens raster disponíveis na página <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>.

O Projeto ASTER GDEM foi desenvolvido pelo Ministério da Economia, Comércio e Indústria (METI-Japão) e pela NASA (*Aeronautics and Space Administration*), a fim de construir um MDE em torno da superfície da terra. Os modelos de elevação ASTER GDEM são fornecidos em coordenadas geográficas, Datum WGS 1984. O tamanho da célula raster fornecida é de 450x450m, e as imagens estão disponíveis na página <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>.

- Delimitação de área de trabalho no ArcGIS: Usando o mapa do estado do Ceará, localizado no norte da Região Nordeste do Brasil com área total de 148.887,632 km<sup>2</sup> (IBGE, 2016), foi delimitado o área do trabalho do artigo.

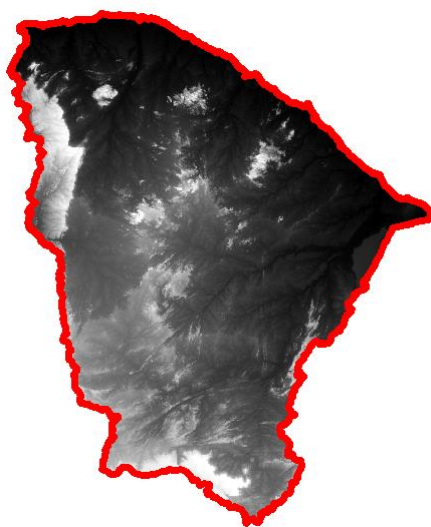


Figura 2 – Delimitação do Estado do Ceará. Fonte: Os autores.

- Processamento de dados no ArcGIS: Para o processamento de dados foi utilizado o software ArcGIS 10.2.2 versão de teste. O trabalho no ArcGIS teve três etapas, a determinação dos rios principais, das bacias hidrográficas e do tempo de concentração.

A determinação dos rios principais foi feita a partir das imagens raster Topodata e ASTER GDEM, delimitada pelo mapa do Ceará, e foi utilizado o seguinte processo a partir dos comandos do ArcGIS: Fill » Flow Direction » Flow Accumulation » Map Algebra » Stream Link » Stream Order » Stream to Features » Feature Vertices to Points. O processo é apresentado na Figura 3.

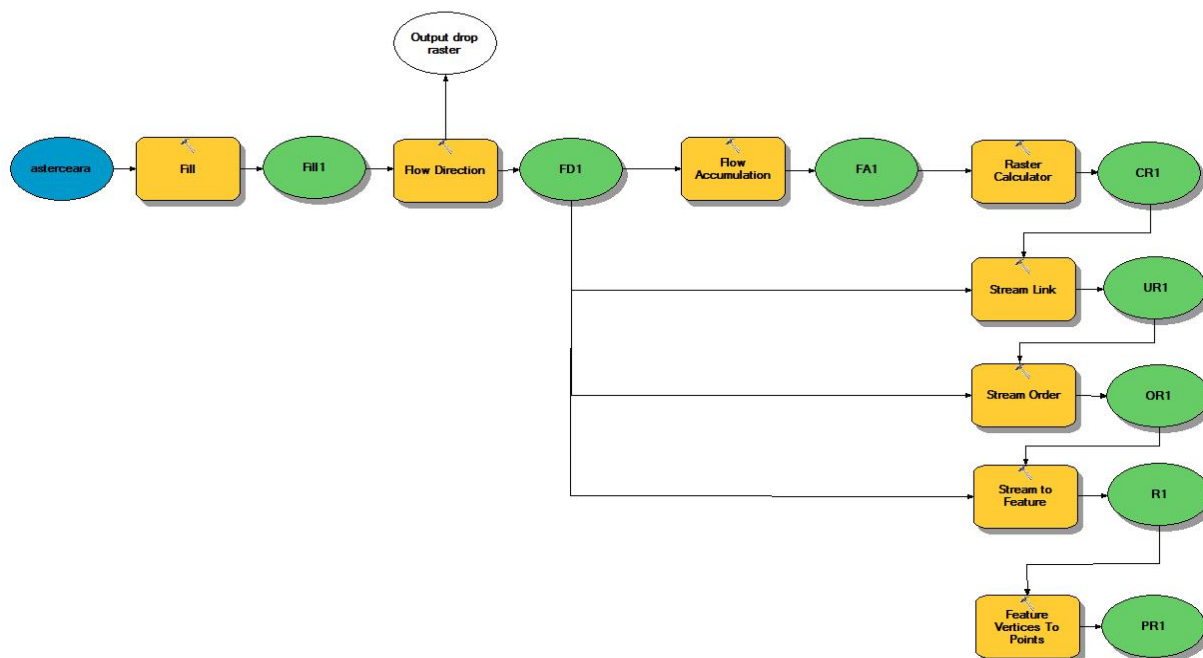


Figura 3 – Diagrama de processos Model Builder no ArcGIS. Fonte: Os autores.

Para a determinação das bacias hidrográficas, foram selecionados aleatoriamente 20 pontos de vértices de rios, e foi determinado para os 20 pontos seus respectivos valores de área da bacia, comprimento e declividade do rio principal. O seguinte processo foi feito pelos comandos do ArcGIS: Watershed » Raster to Polygon.

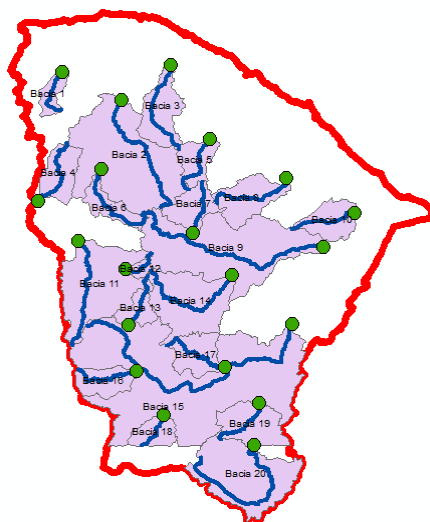


Figura 4 – Resultado do processo no ArcGIS contendo os pontos aleatórios e as bacias.. Fonte: Os autores.

Os cálculos hidrológicos para bacias hidrográficas normalmente requerem a estimativa do tempo de concentração ( $t_c$ ). Na literatura existem muitas fórmulas para estimar o valor de  $t_c$ . Para este estudo, foi utilizado a fórmula desenvolvida por Hathaway, em 1945, apresentada na Equação (1).

$$t_c = \frac{36,36(L * n)^{0,467}}{S^{0,234}} \quad (1)$$

Em que:

$t_c$  = tempo de concentração em minutos;

L = comprimento do rio principal desde o divisor ao exutório, em quilômetros;

S = declividade média da bacia em m/m;

n = coeficiente de rugosidade.

A Tabela 1 apresenta os valores da rugosidade “n” a ser usado na Equação (1), de acordo com a realidade do estudo.

Tabela 1 – Valores da rugosidade “n” da fórmula de Hathaway

<b>Tipo de Superfície</b>	<b>Valor de n</b>
Suave e lisa (asfalto)	0,02
Suave e rugosa (pedra tosca)	0,10
Gramma esparsa, cultivos em fila ou solo nu moderadamente rugoso	0,20
Pastagem	0,40
Floresta com cobertura vegetal decíduos	0,60
Vegetação de coníferas, ou vegetação decíduos com camada sobreposta de resíduos	0,80

### 3. RESULTADOS

Seguindo a metodologia proposta, foram obtidos os seguintes resultados expressos na Tabela 2. Os resultados foram alcançados utilizando a modelagem no ArcGIS e a fórmula do Hathaway para o cálculo do tempo de concentração.

A Figura 5 apresenta o gráfico de comparação dos resultados do tempo de concentração, utilizando os dados do Topodata e do ASTER GDEM.

Tabela 2 – Resultados do tempo de concentração pela fórmula de Hathaway.

BACIA	ASTER			TOPODATA			Erro %
	L (km)	S (m/m)	t <sub>c</sub> (min)	L (km)	S (m/m)	t <sub>c</sub> (min)	
1	66,7640	0,011096	483,37	71,7320	0,011330	497,41	2,82
2	176,9661	0,003248	1015,83	197,3530	0,003420	1056,12	3,82
3	125,2860	0,002546	915,26	140,7436	0,003952	871,86	4,98
4	97,1972	0,006237	659,17	107,0540	0,005641	705,98	6,63
5	76,7490	0,006734	579,83	101,1165	0,006967	654,27	11,38
6	119,7637	0,006141	729,32	135,4486	0,005759	784,17	6,99
7	72,9160	0,003403	664,16	82,4086	0,003448	701,06	5,26
8	116,3103	0,002759	867,53	134,6154	0,002573	944,13	8,11
9	276,6181	0,002443	1337,79	293,4564	0,003051	1305,47	2,48
10	84,1876	0,001373	878,34	98,6468	0,001959	870,38	0,92
11	146,4382	0,002566	982,64	168,6774	0,002431	1063,06	7,56
12	47,3029	0,003347	544,72	55,2118	0,003264	588,97	7,51
13	60,8597	0,002355	665,34	82,6141	0,003128	718,04	7,34
14	158,6613	0,002596	1017,37	183,6791	0,002959	1056,44	3,70
15	205,1623	0,001046	1418,82	391,1565	0,001112	1890,66	24,96
16	91,6081	0,002618	785,60	111,0133	0,003915	782,12	0,45
17	103,0475	0,003299	786,26	120,2760	0,002836	875,57	10,20
18	45,4076	0,005385	478,14	57,6084	0,005478	532,22	10,16
19	77,8712	0,005695	607,13	96,6956	0,004767	700,25	13,30
20	212,6797	0,003072	1121,44	246,1250	0,002674	1240,26	9,58
<b>Erro Médio</b>							7,41

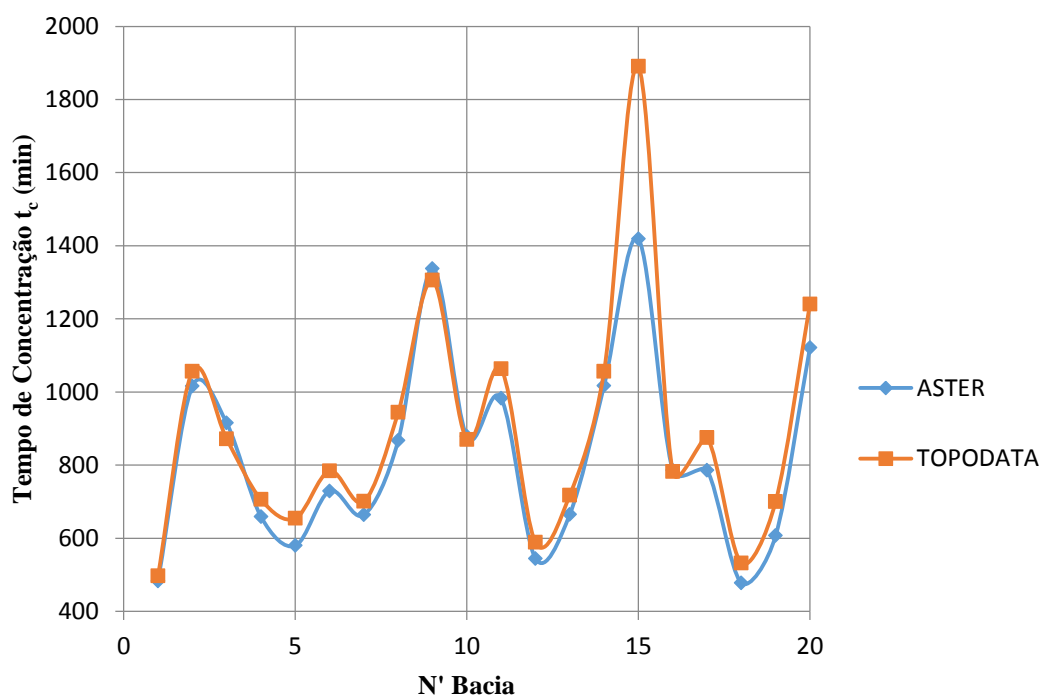


Figura 5 – Comparação dos resultados do tempo de concentração com o uso dos dados Topodata e ASTER.

Ao limitar o escopo do trabalho para bacias hidrográficas menores de 5000 km<sup>2</sup> de área, obtém-se um erro menor. A Tabela 3 mostra os resultados do tempo de concentração para bacias menores de 5000 km<sup>2</sup> de área, e a Figura 6 apresenta o gráfico de comparação para a mesma bacia, utilizando os dados do Topodata e do ASTER GDEM.

Tabela 3 – Resultados do tempo de concentração para bacias menores de 5000 km<sup>2</sup> de área.

BACIA	ASTER		TOPODATA		Erro %
	Área (km <sup>2</sup> )	t <sub>c</sub> (min)	Área (km <sup>2</sup> )	t <sub>c</sub> (min)	
1	924,08	483,37	934,15	497,41	2,82
3	2782,03	915,26	2773,34	871,86	4,98
4	2084,44	659,17	2240,72	705,98	6,63
5	1521,95	579,83	1591,22	654,27	11,38
6	1588,88	729,32	1566,67	784,17	6,99
7	1919,19	664,16	1928,06	701,06	5,26
8	2728,68	867,53	2718,24	944,13	8,11
9	10614,8	1337,79	10568,04	1305,47	2,48
10	2067,51	878,34	2085,1	870,38	0,92
11	6583,4	982,64	6547,33	1063,06	7,56
12	446,84	544,72	481,96	588,97	7,51
13	1208,99	665,34	1247,83	718,04	7,34
16	1778,82	785,60	1764,96	782,12	0,45
17	2129,21	786,26	2095,5	875,57	10,20
18	1352,23	478,14	1363,91	532,22	10,16
19	2895,89	607,13	2907,15	700,25	13,30
<b>Erro Médio</b>					6,63

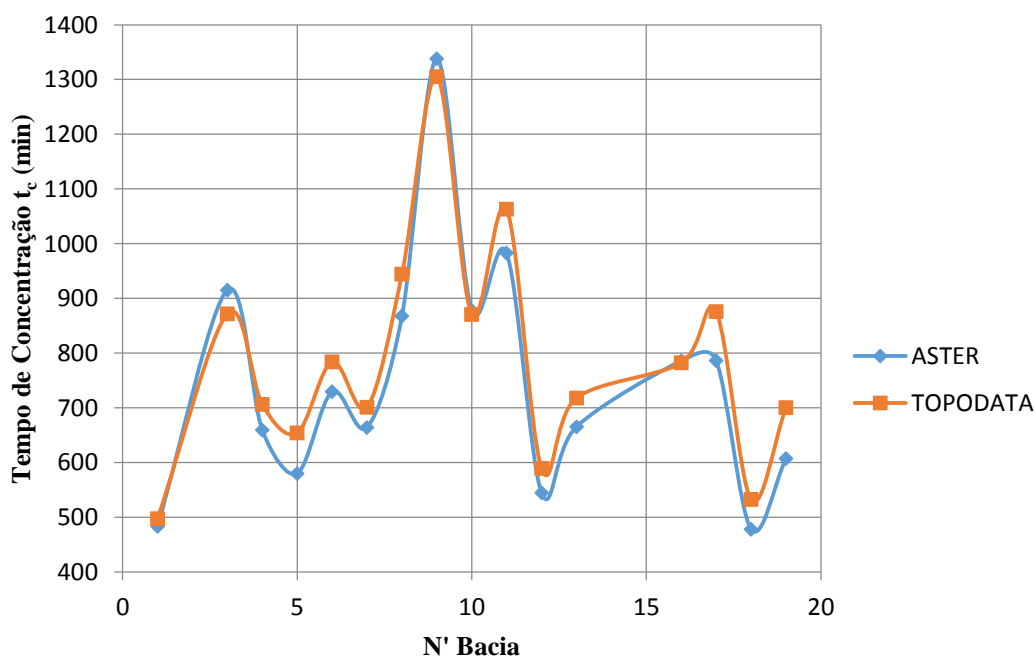


Figura 6 – Comparação dos resultados do tempo de concentração para bacias menores a 5000 km<sup>2</sup> com o uso dos dados Topodata e ASTER.



Outro resultado fundamental, quando se trabalha com modelagem em SIG, é o tempo que se leva para realizar o processo. Isto porque o trabalho tem de ser feito várias vezes no mesmo processo. O presente trabalho foi realizado utilizando um computador Toshiba Satellite processador i7, memória RAM 4 GB, e o software utilizado foi ArcGIS 10.2.2 versão teste. A Tabela 4 apresenta os tempos de processo para as bases de dados Topodata e ASTER GDEM, em que é possível observar que o tempo de processamento foi bem menor com o uso dos dados ASTER. Só foi considerado o processamento de modelação final.

Tabela 4 – Resultados do tempo de processo para cada base de dados utilizada.

<b>Base de Dados</b>	<b>Início</b>	<b>Final</b>	<b>Tempo</b>
ASTER	20:48:47	20:49:18	00:00:31
TOPODATA	08:41:50	11:07:52	02:26:02

#### **4. CONCLUSÃO**

O presente trabalho propôs uma metodologia para a comparação das bases de dados ASTER GDEM e Topodata, e seu uso na determinação dos parâmetros morfológicos de uma bacia hidrográfica.

A diferença entre as áreas, obtidas utilizando ambas as bases de dados, é menos do que 2%. O que resulta na utilização de qualquer uma das bases de dados para determinar a área de uma bacia hidrográfica. Já no tempo de concentração, ocorreu uma maior diferença nos resultados das bacias maiores do que 5000 km<sup>2</sup> de área. Limitando o estudo a bacias menores a esta área, em que se obteve uma diferença menor do que 7%. Desta forma, conclui-se que pode ser utilizado qualquer das bases de dados para a determinação do tempo de concentração nas bacias menores a 5000 km<sup>2</sup>.

Recomenda-se que, em bacias menores a 5000 km<sup>2</sup>, o uso do banco de dados ASTER GDEM, uma vez que os resultados não diferem em mais de 6,63% dos obtidos com o Topodata, e seu tempo de processo é menor a 1% da necessidade de processamento do banco de dados Topodata.

Em bacias pequenas é recomendado o uso do banco de dados Topodata, por ter este, uma maior resolução de pixels.

## BIBLIOGRAFIA

- ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. *Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM*. Engenharia Agrícola, v.30, p.46-57, 2010.
- BURROUGH, P. A. (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessments*. Oxford: Clarendon Press. 193p.
- COLWELL, R. N. (1997). History and Place of Photographic Interpretation. In *Manual of Photographic Interpretation*. 2nd, Ed. W. R. Phillipson, Bethesda: ASPRS, 33 – 48.
- COSTA, C. A. G; COSTA, A. C.; TEIXEIRA, A. dos S.; ALVES, N. N. de L.; ANDRADE, E. M. de; SOUSA, B. F. S.; LEÃO, A. de O. *Comparação do uso do SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma micro-bacia hidrográfica*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4833-4840.
- DELANEY, J.; VAN NIEL, K. (2007). *Geographic Information Systems: An Introduction*. 2. ed. Melbourne: Oxford University Press, 2007. 234p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=ce>>. Acessado em: 01 de jul. 2016.
- JARVIS, A., RUBIANO, J., NELSON, A., FARROW, A., MULLIGAN, M. (2004). *Practical use of SRTM data in the tropics: comparisons with digital elevation models generated from cartographic data*. Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- MEDEIROS, C. B. (2014). *Vulnerabilidade Socioambiental do Município de Caucaia (CE): Subsídios ao Ordenamento Territorial*. Tese (Doutorado em Geografia). Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- MOTA, A. A.; KOBAYAMA, M. (2015). *Reconsiderações sobre a formula de Kirpich para o cálculo do tempo de concentração*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, n. 1, vol. 20, p. 55-59.