

## ESTUDO COMPARATIVO DE REDE DE DRENAGEM NA SABESP OESTE COM AUXÍLIO DE PROVIDORES SIG

**Bruno Pereira Toniolo**<sup>1</sup>

Universidade Estadual Paulista – Campus de Sorocaba

**Darllan Collins da Cunha e Silva**<sup>2</sup>

Universidade Estadual Paulista – Campus de Sorocaba

**Roberto Wagner Lourenço**<sup>3</sup>

Universidade Estadual Paulista – Campus de Sorocaba

### Resumo

Como citar:

TONIOLO, B. P.; SILVA, D. C. C.; LOURENÇO, R. W. Estudo comparativo de rede de drenagem na SABESP Oeste com auxílio de provedores SIG. **Revista Geografia em Atos** (Online), v. 5, ano 2021, p. 1-20.  
DOI: <https://doi.org/10.35416/geoatos.2021.8081>

**Recebido em:** 2020-09-02

**Devolvido para correções:** 2021-04-06

**Aceito em:** 2021-05-08

As propriedades geomorfométricas de uma bacia hidrográfica servem como parâmetros para planejamento ambiental e ordenamento territorial, em especial o manejo de recursos hídricos. Esta pesquisa objetiva comparar as variáveis morfométricas da rede de córregos e microbacias extraídas do Modelo Digital de Elevação (MDE) da Unidade de Negócio Oeste (MO) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), por meio de quatro Sistemas de Informação Geográfica: SAGA, TauDem, GRASS e ArcGIS. Foi usado como base o MDE Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os resultados obtidos mostraram que as quatro redes de drenagem extraídas possuem relativa similaridade geométrica, apesar dos indicadores morfométricos apresentarem valores diferentes, como por exemplo a Densidade de Drenagem (Dd) e Ordem Hídrica (Strahler) que foram maiores para o provedor TauDem. Os algoritmos TauDem e GRASS delimitaram as microbacias com maior detalhamento, já os provedores ArcGIS e o SAGA mapearam as áreas de contribuição de forma mais generalizada.

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica; Geoprocessamento; Morfometria

<sup>1</sup> Mestre em Ciências Ambientais na UNESP. Projetista cadista na SABESP. Professor do Centro Paula Souza (CEETEPS).  
E-mail: [bruperton.cad@gmail.com](mailto:bruperton.cad@gmail.com)  
Orcid iD: <http://orcid.org/0000-0002-6602-0181>

<sup>2</sup> Professor Assistente Doutor da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Sorocaba.  
E-mail: [darllan.collins@unesp.br](mailto:darllan.collins@unesp.br)  
Orcid iD: <http://orcid.org/0000-0003-3280-0478>

<sup>3</sup> Professor Adjunto da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) Campus de Sorocaba. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba (ICT-UNESP) e no Programa da Faculdade de Ciências Médicas de Campinas (UNICAMP) - Área de Concentração em Saúde Coletiva e Preventiva Social.  
E-mail: [roberto.lourenco@unesp.br](mailto:roberto.lourenco@unesp.br)  
Orcid iD: <http://orcid.org/0000-0002-5234-8944>

## COMPARATIVE STUDY OF THE DRAINAGE NETWORK AT SABESP OESTE WITH THE AID OF SIG PROVIDERS

### Abstract

The geomorphometric properties of a watershed serve as parameters for environmental planning and land use planning, especially water resources management. This research aims to compare the stream and watershed network morphometric variables from the Digital Elevation Model (DEM) of the Western Business Unit (MO) of the São Paulo State Basic Sanitation Company (SABESP), by means of four Geographic Information Systems: SAGA, TauDem, GRASS and ArcGIS. The Topodata DEM of the National Institute for Space Research (INPE) was used as the a base. The results obtained showed that the four extracted drainage networks have relative geometric similarity, although the morphometric indicators presented different values, such as Drainage Density (Dd) and Hydric Order (Strahler), that were higher for the TauDem provider. The TauDem and GRASS algorithms defined the watersheds in more detail, while the ArcGIS and SAGA providers mapped the contribution areas in a more generalized way.

**Keywords:** Watershed; Geoprocessing; Morphometry

## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RED DE DRENAJE EN SABESP OESTE CON AYUDA DE LOS PROVEEDORES DE SIG

### Resumen

Las propiedades geomorfométricas de una cuenca hidrográfica sirven de parámetros para la planificación medioambiental y la ordenación de territorio, especialmente la gestión de los recursos hídricos. Esta investigación tiene como objetivo comparar las variables morfométricas de la red de arroyos y cuencas hidrográficas extraídas del Modelo de Elevación Digital (MED) de la Unidad de Negocio Oeste (MO) de la Compañía de Saneamiento Básico del Estado de São Paulo (SABESP), por medio de cuatro Sistemas de Información Geográfica: SAGA, TauDem, GRASS y ArcGIS. Se utilizó como base el Topodata MED del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE). Los resultados obtenidos mostraron que las cuatro redes de drenaje extraídas tienen una relativa similitud geométrica, aunque los indicadores morfométricos presentaron valores diferentes, como Densidad de Drenaje (Dd) y Orden Hídrico (Strahler), que fueron mayores para el proveedor TauDem. Los algoritmos TauDem y GRASS delimitaron las cuencas hidrográficas con más detalle, mientras que los proveedores de ArcGIS y SAGA cartografiaron las áreas de contribución de forma más generalizada.

**Palabras clave:** Cuenca Hidrográfica; Geoprocésamiento; Morfometría

## Introdução

O planejamento hídrico usa como requisito o mapeamento dos corpos hídricos para embasar os termos de sustentabilidade de cada bacia hidrográfica. Segundo Sobrinho et al. (2010), a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) define a bacia hidrográfica como unidade territorial, assim abrangendo alguns elementos de ordenação como, por exemplo, outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos e enquadramento de corpos de água. Logo, padronizar e automatizar a extração de redes hidrográficas é essencial para a implantação do PNRH, impedindo conflitos ambientais.

Segundo Almeida Júnior et al. (2017), cada vez mais a cartografia digital é usada nos programas de geotecnologias para se caracterizar os aspectos fisiográficos de uma bacia hidrográfica, como geomorfologia, geologia, pedologia hidrologia etc., para estudos ambientais. O modelo digital de elevação (MDE) é um exemplo de cartografia digital que representa a altitude da bacia em formato matricial sendo que cada pixel da imagem possui um valor altitudinal, além de poder se extrair informações morfométricas do MDE.

O estudo morfométrico da bacia é um instrumento importante para a interpretação da dinâmica hídrica e ao planejamento ambiental da mesma, servindo também como base para diagnóstico da vulnerabilidade à degradação do meio ambiente. A morfometria mostra a forma, a disposição e o tamanho do percurso de cada trecho de córrego, a densidade hídrica e a distribuição da rede de drenagem do relevo (MOREIRA; DIAS, 2016).

A rede de drenagem é delineada pela interferência das águas superficiais, condicionadas pelas características predominantes no terreno como as litológicas e geomorfológicas. Os corpos hídricos podem ser extraídos de um MDE por geotecnologias e de acordo com Jenson e Domingues (1988) suas propriedades hidrológicas mostram-se precisas e compatíveis com a metodologia manual, só que esta despense maior tempo e menor detalhamento na apresentação do mapa final.

Um MDE bem apurado mostra correlação forte entre a área drenante e a inclinação do terreno, a demarcar o começo da captação fluvial pelos pontos de inflexão, pois de acordo com Almeida Filho et al. (2017) em relevos planos o padrão de drenagem mais frequente é o do tipo meândrico coberto por mata ciliar, o qual apresenta curvas sinuosas e similares entre si..

Neste contexto, a extração automática de cursos d'água a partir de MDE torna-se uma contribuição estratégica à gestão e ao manejo de recursos hídricos, principalmente em

bacias hidrográficas que possuem baixa cobertura topográfica mapeada em grande e média escalas, e carência de monitoramento de dados hidrológicos (VALERIANO; ROSSETTI, 2012). Seu uso também diminui o tempo de análise espacial do pesquisador, servindo como subsídio para o reconhecimento de outras características físicas e ambientais da área de estudo (MORAIS; SALES, 2016).

Assim, este trabalho objetiva fazer uma comparação da rede de drenagem extraída do MDE da Unidade de Negócio Oeste (MO) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), por meio de diferentes provedores de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), apoiando-se em parâmetros morfométricos e análise visual.

## Material e Métodos

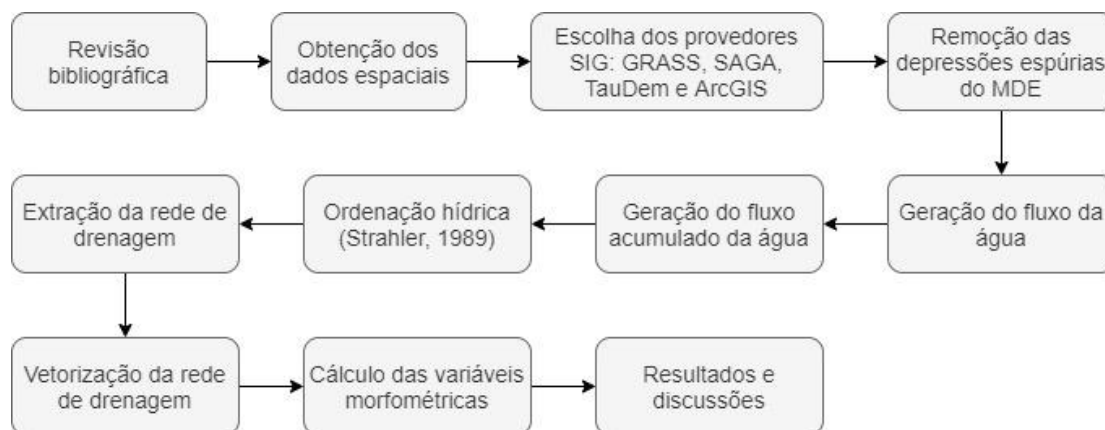
### Área de Estudo

A área de estudo (Figura 1) corresponde a Unidade de Negócio Oeste (MO) e está localizada na zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Trata-se de uma das 16 Unidades de Negócio da Sabesp que integra a Diretoria Metropolitana, respondendo pela operação dos serviços de saneamento básico dos municípios de Barueri, Santana de Parnaíba, Pirapora do Bom Jesus, Cotia, Vargem Grande Paulista, Itapeví, Carapicuíba, Jandira, Osasco, Taboão da Serra e parte de São Paulo (bairros do Morumbi, Jaguaré, Campo Limpo, Pirajussara e Butantã).

Esta unidade foi criada em 1996, possui uma área de 1035,84 km<sup>2</sup>, e atende atualmente a uma população de 3,5 milhões de clientes, operando os sistemas de distribuição de água e coleta de esgotos. Caracterizada pela expansão e crescimento contínuo, a região oeste conta com um sistema composto por 11,7 mil km de redes de distribuição e ramais de água, 7,1 mil km de rede de coleta e ramais de esgoto, cerca de 916 mil ligações de água e 611 mil ligações de esgotos (SABESP, 2018).

Os municípios situados na face oeste da RMSP são os que possuem maior crescimento populacional em razão de suas vastas áreas verdes que fomentam a especulação imobiliária, facilitando a implantação de novas construções em detrimento da cobertura vegetal, a qual contribui aos efeitos negativos da ação antrópica na região como, por exemplo,



**Figura 2.** Fluxograma da metodologia.

Fonte: Autoria própria.

O QGIS é um programa SIG livre e de código aberto, criado em 2002, o qual foi estabelecido no *Source Forge* em junho do mesmo ano (Almeida Júnior et al., 2017), este possui como diferencial, diversos complementos específicos para atividades correlatas e atualmente encontra-se na versão 3. O GRASS (*Geographic Resources Analysis System*) é igual ao QGIS, usado para gerenciamento e análise de dados espaciais com mais de 350 recursos avançados e sua versão mais estável a longo prazo é a 7.4, criada em 2015. O SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*), também gratuito, é um provedor instalado no QGIS que possui mais de 160 algoritmos semelhantes ao GRASS. O TauDem (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*) é um provedor que pode ser instalado tanto no ArcGIS quanto no QGIS, com ferramentas exclusivas para hidrografia e hidrologia (QGIS, s/d). E por fim, o ArcGIS é um software que executa qualquer atividade de SIG, tanto simples como complexa, a incluir mapeamento, edição de dados, compilação, gestão de dados, visualização e geoprocessamento (ESRI, s/d).

A primeira etapa consistiu na remoção das depressões espúrias do MDE que são áreas baixas, circundadas por áreas com elevação maior, parecidas a uma depressão. Essas depressões são preenchidas por serem consideradas um empecilho para escoamento superficial. O resultado é um MDE hidrológicamente consistente (MDEHC) com os valores altimétricos corrigidos (MENDES; CIRILO, 2001).

A segunda etapa foi a geração da direção do fluxo da água por meio do comando Flow Direction, de forma que cada pixel do raster é circundado pelos oito pixels vizinhos

(método D8), sendo que a orientação do escoamento se dá pela maior amplitude altimétrica entre os pixels circundantes e o pixel central (OLIVEIRA et al., 2007).

A terceira etapa fundamentou-se no fluxo acumulado, que é um critério que mostra o nível de convergência do escoamento relacionado à conexão com os divisores de água a montante, isto é, quando a área de captação delimitada pelos corpos hídricos mostram-se visíveis, pois a quantidade de células vai se somando na direção do fluxo da água (SOBRINHO et al., 2010).

A quarta etapa consistiu na extração da rede de drenagem e delimitação microbacias hidrográficas baseadas num limiar de fluxo acumulado, em pixels, de forma que quanto menor este limiar, mais densa será a hidrografia e conseqüentemente menores serão as áreas de contribuição de cada curso d'água, conforme Oliveira et al. (2007). Foram testados diversos limiares entre 100 e 700 pixels, baseando-se por comparação visual da rede hidrográfica da Agência Nacional das Águas (ANA, 2008). A extração da rede de drenagem também contempla a ordenação fluvial proposta por Strahler (1989), sendo que a confluência de dois canais de ordem 1 originam um canal de ordem 2, a convergência de dois canais de ordem 2 originam um canal de ordem 3 e assim sucessivamente.

O Quadro 1 apresenta os comandos utilizados em cada provedor SIG para a execução da primeira à quarta etapa.

**Quadro 1.** Comandos utilizados por provedor SIG.

Etapa	Provedor			
	GRASS	SAGA	TauDem	ArcGIS
1º	<i>r.fill.dir</i>	<i>Fill sinks (wang e liu)</i>	<i>Pit remove</i>	<i>Fill</i>
2º	<i>r.flow</i>	<i>Channel network and drainage basins</i>	<i>D8 flow directions</i>	<i>Flow Direction</i>
3º			<i>D8 contributing area</i>	<i>Flow Accumulation</i>
4º	<i>r.watershed</i> <i>r.thin</i>		<i>Stream definition by threshold</i> <i>Stream reach and watershed</i>	<i>Con</i> <i>Stream Order</i> <i>Stream to Feature</i>

Fonte: Autoria própria.

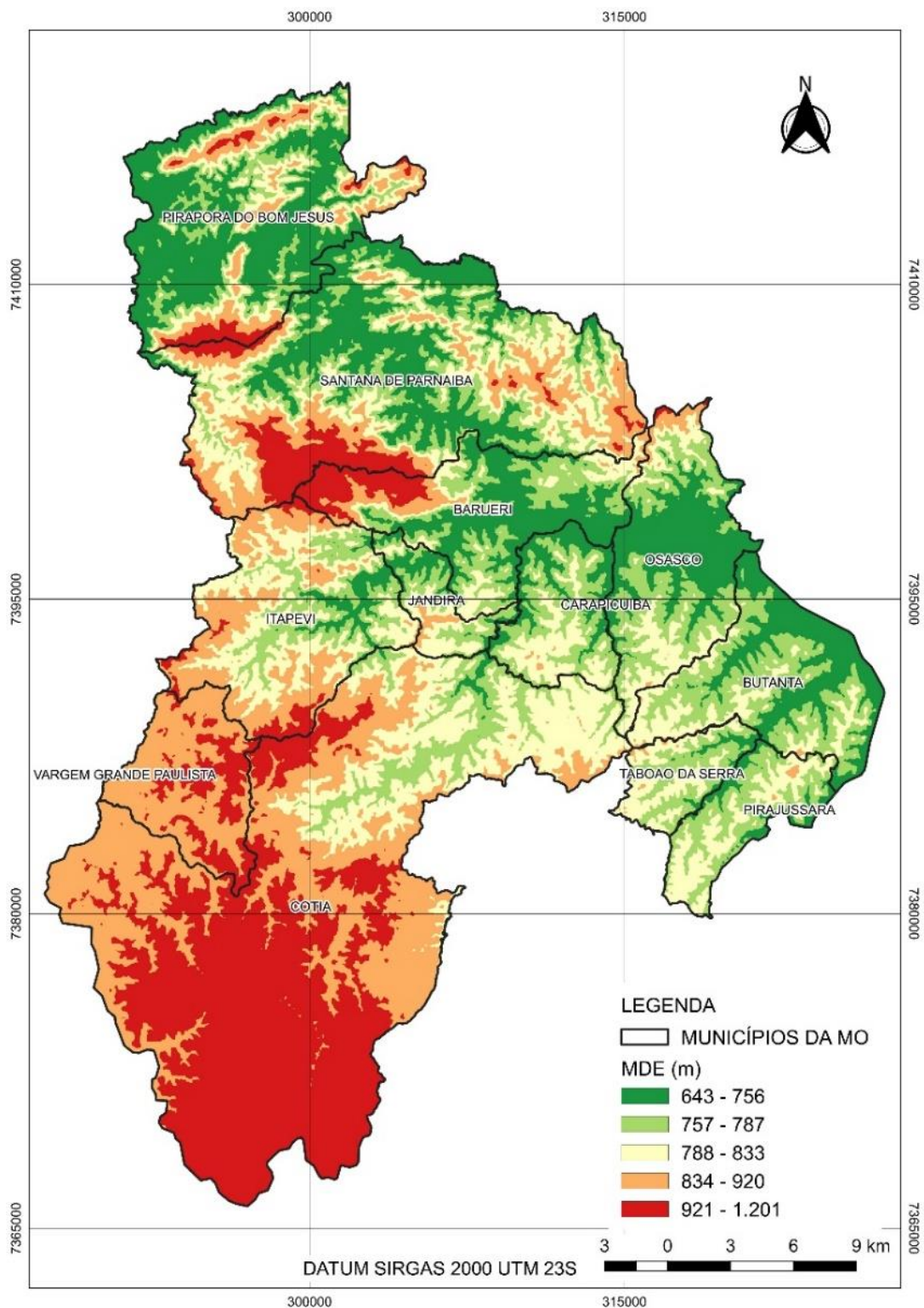
A quinta etapa foi o cálculo das variáveis morfométricas para cada algoritmo SIG: Área Total (At), Perímetro Total (Pt), Coeficiente de Compacidade (Kc), Fator de Forma (Kf), Índice de Conformação (Ic), Comprimento do curso de água principal (C), Comprimento total dos cursos de água (Ct), Densidade da drenagem (Dd), Frequência de rios (Fr) e Ordem dos cursos de água (h) (SILVEIRA, 2005). As unidades de medidas – área e comprimento – foram exportadas do SIG para uma planilha eletrônica e, então, foi calculado as variáveis morfométricas.

## Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta o Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC) da MO. A hipsometria mostra que a altitude da MO varia de 643 a 1.201 metros, tendo uma amplitude altimétrica de 558 m. A região mais elevada se localiza entre os municípios de Santana de Parnaíba e Pirapora do Bom Jesus, bairro do Suru. Outra zona alta é o bairro de Aldeia da Serra que está na altitude 1.030 metros, situado também em Santana de Parnaíba. Com exceção de Cotia, Vargem Grande Paulista e distritos pontuais, a maioria dos municípios da MO se encontram entre altitudes de 645 e 783 metros.



Figura 3. Mapa do MDEHC.

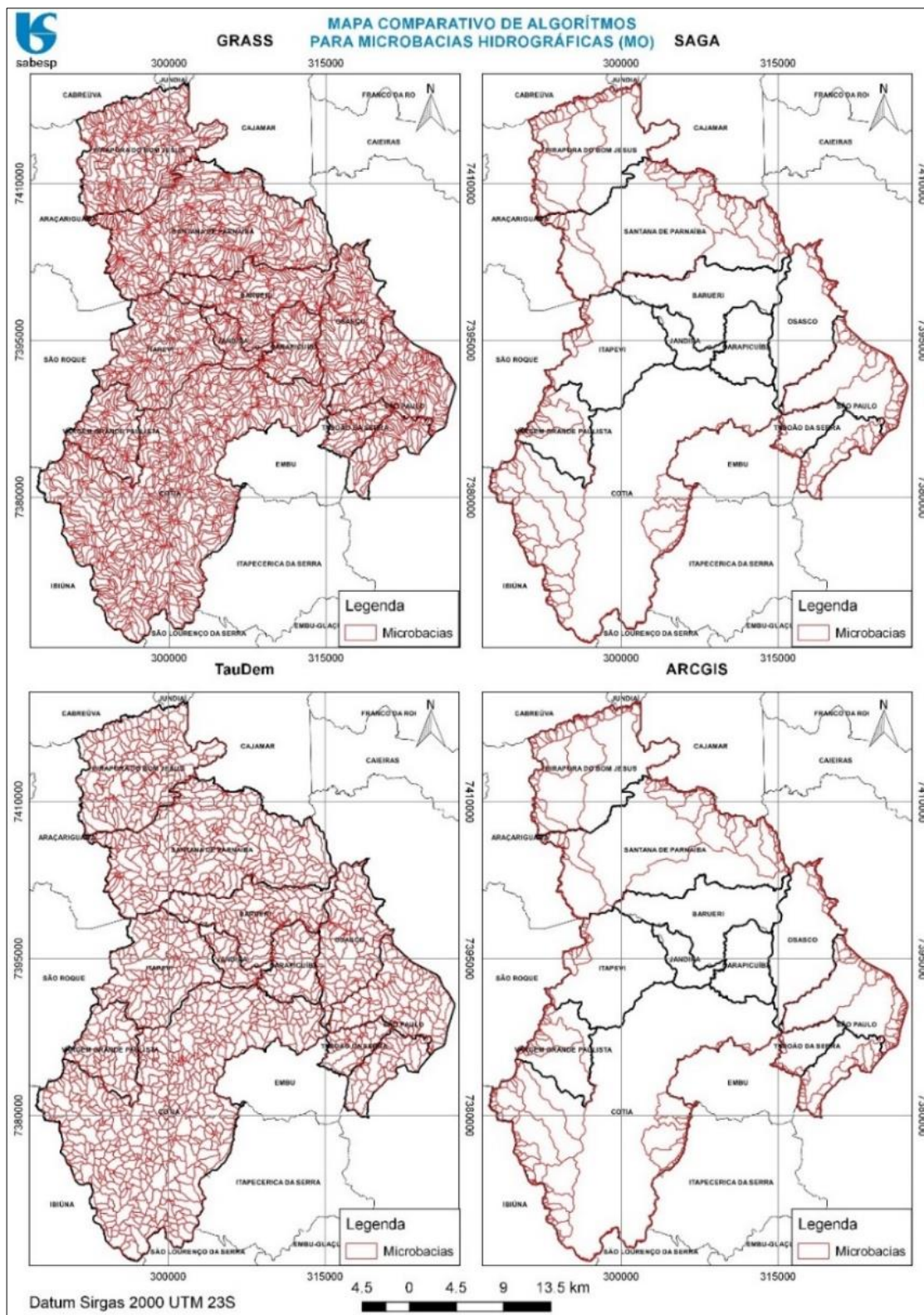


Fonte: Autoria própria.

Os algoritmos GRASS e TauDem geraram um total de 2.709 e 2.060 subáreas para microbacias e 1.064 e 1.541 linhas para a rede de drenagem respectivamente. Já os algoritmos SAGA e ArcGIS criaram uma quantidade de 957 e 619 segmentos fluviais e 1.261 e 975 microbacias, respectivamente. Embora os valores dos critérios não tenham resultados perfeitamente coincidentes para os quatro algoritmos, os valores morfométricos são próximos, apresentando poucas diferenças significativas, conforme visto na Tabela 1.

A Figura 4 mostra as microbacias delimitadas automaticamente pelos provedores SIG. Percebe-se que um grau maior de detalhamento para os algoritmos GRASS e TauDem, uma vez que foi gerada uma área de contribuição para curso de água. Sobre o fluxo acumulado, o limiar de 500 pixels foi que mais se aproximou graficamente da hidrografia da ANA, para os quatros provedores SIG.

Figura 4. Mapa das microbacias hidrográficas delimitadas.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 5 apresenta que as redes de drenagem extraídas automaticamente apresentaram similaridade geométrica notável, porém a semelhança é mais forte entre os pares GRASS-TauDem e SAGA-ArcGIS. Ao comparar os dois pares, percebe-se uma diferença de quantidade de variáveis geradas, sendo que o par GRASS-TauDem gerou uma divisão maior de microbacias assim como uma rede mais densa de drenagem. Observou-se também que o provedor GRASS delimitou as áreas de contribuição de cada canal duplamente, isto é, duas áreas de contribuição para cada margem do canal (direita e esquerda).



Analisando a Figura 5, percebe um padrão de drenagem do tipo dendrítico, com afluentes irregulares em orientações aleatórias. Segundo Lima (2006), este padrão é mais comum em rochas geologicamente homogêneas das classes ígnea e sedimentar, derrames basálticos e terrenos dominados por granitóides não deformados.

Notou-se que também que as microbacias delimitadas (Figura 4) se conformavam de forma justa nos divisores topográficos, quando sobrepostas no MDHEC. Este efeito foi mais perceptível nas áreas de contribuição de maior tamanho, em especial nos provedores ArcGIS e SAGA.

Dentre os quatro algoritmos o TauDem, o SAGA e o ArcGis possuem comandos semelhantes, não possuindo diferenças operacionais, enquanto o algoritmo GRASS apresentou algumas distinções durante o procedimento de extração de microbacias e rede de drenagem.

A primeira diferença foi referente à quarta etapa no provedor GRASS, sobre a ausência da ordenação hídrica, isto é, o algoritmo não tem a opção nativa de hierarquia fluvial e como visto na Figura 5 a rede de drenagem inteira da MO foi classificada como ordem 1. Foi testado um comando chamado *Strabler*, porém o resultado se mostrou insatisfatório pois muitas feições ficaram sem ordenação.

A segunda diferença, ainda no GRASS, foi a dificuldade de vetorizar os corpos hídricos em formato de linhas – comando *r.to.vector* –; sendo possível vetorizá-los somente em formato de polígono, o que é inviável para o cálculo do comprimento dos cursos d'água. Assim a solução encontrada foi usar o comando *r.thin* que vetoriza o curso d'água por um eixo interpolado dos pixels agrupados.

Ao executar o algoritmo do ArcGIS, o único cuidado a ser tomado foi o cálculo do comprimento, pois neste software ao se vetorizar os corpos hídricos, pode-se gerar segmentos fluviais a mais. Logo o cálculo do comprimento foi feito em formato matricial mesmo, usando o campo *COUNT* da tabela de atributos raster, o qual quantifica o número de pixels alinhados, multiplicado por 30m, que é a resolução espacial.

Já a aplicação pelo par SAGA-TauDem ocorreu de modo satisfatório para a metodologia, sem contrapontos, de forma que para este provedor a vetorização dos corpos hídricos foi automatizada, isto é, o algoritmo gerou os córregos tanto na forma matricial quanto na vetorial. Este provedor gera também pontos de três tipos: *Spring* que são as

nascentes ou olhos d'água, *Junction* que são as confluências dos cursos d'água e *Outlet* que são as fozes.

Resultados similares como os apresentados foram obtidos por Almeida Júnior et al. (2017) para a Bacia do Arroio Taquarembo, município de Santiago (RS), que comparou as redes de drenagem extraída por dois provedores SIG, ArcGIS e SAGA, apontando uma semelhança geométrica muito grande os cursos d'água, de forma que houve pouca diferença entre o comprimento do rio principal da bacia, cerca de 1.300 metros.

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros morfométricos obtidos para cada provedor SIG em planilha eletrônica.

**Tabela 1.** Parâmetros morfométricos.

Parâmetro Morfométrico	GRASS	SAGA	TauDem	ArcGIS
Área Total (At) (he)	99.929,37	103.585,42	98.792,50	103.577,57
Perímetro Total (Pt) (km)	295,82	258,56	288,98	247,32
Coefficiente de Compacidade (Kc)	2,62	2,25	2,57	2,15
Fator de Forma (Kf)	0,35	0,36	0,35	0,36
Índice de Conformação (Ic)	0,73	0,74	0,73	0,07
Comprimento do curso de água principal (C) (m)	58.875,34	48.197,73	51.925,95	48.031,46
Comprimento total dos cursos de água (Ct) (m)	1.036.750,00	956.217,00	1.175.990,00	749.882,00
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km <sup>2</sup> )	1,0375	0,9231	1,1904	0,724
Frequência de Rios (Fr) (km <sup>-2</sup> )	1,61	0,92	1,56	0,94
Ordem dos Cursos de Água (h)	-	5	6	5

**Fonte:** Autoria própria.

Analisando a Tabela 1, observa-se que o TauDem apresentou a maior densidade de drenagem assim como a maior ordenação (6) frente aos outros algoritmos. O GRASS não fez a ordenação de Strahler por não ter este recurso como nativo. No geral as diferenças dos índices morfométricos foram pequenas devido aos valores dos limiares usados e visualmente a distorção também é pequena.

O coeficiente de compacidade (Kc) é a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo com a mesma área que a bacia. Sempre maior que 1, quanto maior

o Kc menos circular é a bacia e menor a tendência a ter ocorrências de inundações. O Kc médio da MO é 2,40, possuindo um formato mais retangular e não sujeita a grandes enchentes (SILVEIRA, 2005).

O fator de forma (Kf) se dá pela divisão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da mesma. Quanto menor o Kf, mais delgada é a bacia e logo menos sujeita à inundação pois seu tempo de concentração é maior. A MO apresenta um Kf médio de 0,36 e, portanto, segundo a classificação de Silveira (2005), é pouco suscetível a enchentes.

O índice de concentração (Ic) diz que quanto mais próximo de 1, isto é, mais a forma da bacia se assemelha a forma de um quadrado, maior a probabilidade de picos de inundações. O Ic da MO foi calculado como 0,57.

O rio principal da MO é o rio Tietê que a corta com uma extensão média de quase 51 km, sendo que o valor mais destoante dos quatro algoritmos foi o GRASS com uma extensão de quase 59 km, ou seja, uma diferença aproximada de 8 km.

A média das somas dos comprimentos dos cursos d'água foi de 979.709,75 m, compatível também com a Densidade de drenagem média (Dd) que foi de 0,97 km/km<sup>2</sup> sendo uma bacia com drenagem regular (SILVEIRA, 2005).

A variável Dd é influenciada diretamente pelo valor do limiar do fluxo acumulado, de forma o método aplicado à MO é corroborado pela pesquisa de Correa et al. (2017) que fez a extração automática da rede de drenagem do município de Niterói (RJ) testando limiares diferentes a partir de MDE gerado por perfilamento a laser e curvas de nível obtidas do IBGE em escala 1:25.000. Estes autores obtiveram valores de Dd igual a 2,32 km/km<sup>2</sup> para um limiar igual 60.000 (classificado uma rede de drenagem boa) até uma Dd igual a 16,96 km/km<sup>2</sup> para um limiar igual a 2.000, classificado como uma Dd excepcional (OLIVEIRA et al., 2007).

E quanto a frequência da drenagem (Fr), a média da MO foi de 1,26. A frequência da drenagem está relacionada com a capacidade de uma bacia produzir maior ou menor volume de água. Não mensura a eficiência da vazão, pois desconsidera o comprimento total dos rios contidos na área, somente a quantidade.

Pela área, perímetro, comprimento dos rios, comprimento do rio principal – no caso o Rio Tietê – e ordenamento dos córregos é possível calcular os índices encontrados na Tabela 1. Os resultados apontam a consistência hidrológica dos modelos.



É importante ressaltar que a ordenação do rio principal não ficou bem definida, possuindo classificações diferentes, segmentadas ao longo do seu caminhamento, e nenhum algoritmo determinou o Rio Tietê como derradeiro, uma vez que a MO contém diversas bacias hidrográficas, como por exemplo do Rio Cotia, Rio Barueri-Mirim e Ribeirão do Sapiantã (SABESP, 2018).

Foram observadas inconsistências nas microbacias delimitadas nas extremidades da área de estudo (Figura 4), como por exemplo, áreas de contribuição com tamanho inferior ao limiar do fluxo acumulado (500 pixels) ou sem a presença de canais de drenagem. Esta ocorrência pode ser explicada pelo fato que o contorno da MO é um limite administrativo e, portanto, não acompanha espacialmente os interflúvios, isto é, os divisores de água que delimitam uma bacia hidrográfica.

Entre os valores obtidos pelos algoritmos não foram encontradas distinções significativas, porém usando a média aritmética dos dados dos quatro provedores com os dados da Bacia Hidrográfica Ottocodificada da Agência Nacional de Águas (ANA, 2008), encontra-se valores diferentes conforme na Tabela 2.

**Tabela 2.** Validação das variáveis morfométricas.

Parâmetro Morfométrico	Média	ANA	Diferença (%)
Área Total (At) (he)	101.471,22	103.535,99	2,03
Perímetro Total (Pt) (km)	272,67	289,05	6,01
Coefficiente de Compacidade (Kc)	2,40	2,52	5,00
Fator de Forma (Kf)	0,35	0,36	2,86
Índice de Conformação (Ic)	0,57	0,74	29,82
Comprimento do curso de água principal (C) (m)	51.757,62	53.749,39	3,85
Comprimento total dos cursos de água (Ct) (m)	979.709,75	2.541.337,18	159,40
Densidade de Drenagem (Dd) (km/km <sup>2</sup> )	0,97	2,45	152,58
Frequência de Rios (Fr) (km <sup>-2</sup> )	1,26	5,26	37,46
Ordem dos Cursos de Água (h)	4	- *	-

\* Atributo não disponível no arquivo vetorial.

**Fonte:** Autoria própria.

A quantificação da extensão dos canais ordenados pelo método de Strahler (1989) pode ser observada na Tabela 3. A diferença se apresentou pouco significativa, sendo que Dd é inversamente proporcional a h, conforme observado na Tabela 1, uma vez que as

distinções de forma, posição e confluência da hidrografia tendem a se concentrar nos cursos d'água de primeira ordem por serem geralmente os mais numerosos.

**Tabela 3.** Extensão das redes de drenagem pelo método Strahler.

Número da Ordem Hídrica	Extensão (km)			
	GRASS	SAGA	TauDem	ArcGIS
1	-	527,35	633,16	415,74
2	-	222,28	282,12	187,26
3	-	124,22	157,51	76,84
4	-	65,24	60,87	57,42
5	-	17,14	30,45	12,58
6	-	-	11,88	-

**Fonte:** Autoria própria.

Ressalta-se que a baixa diferença obtida pelos indicadores morfométricos pode ser influenciada pelo fato que os quatro provedores utilizam o mesmo modelo de direção de fluxo da água, chamado D8, o qual considera o sentido de escoamento dos oito pixels circundantes ao pixel processado. Isto pode ser confirmado pelos resultados encontrados por Bosquilia et al. (2015) que comparou o modelo de direção D8 com o modelo D-Infinity na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (SP), obtendo canais de drenagem semelhantes visualmente, a despeito destes dois métodos serem estatisticamente distintos.

## Conclusões

Os algoritmos analisados apresentaram resultados satisfatórios, uma vez que os modelos gerados resguardaram a coerência hidrológica dos dados, entretanto algumas diferenças entre eles foram verificadas como maior densidade e ordem dos rios do algoritmo TauDem em relação aos demais. O formato dendrítico das redes de drenagem extraídas apresentaram relativa similaridade visual, porém muitos trechos de drenagem exibiram distinções quanto à ordem hídrica de Strahler e ao comprimento.

A concordância geométrica das redes de drenagem deriva do MDEHC e dos parâmetros morfométricos, entretanto se deve levar em consideração outros fatores como a influência antrópica pelo uso e ocupação da terra e a demarcação de áreas de preservação permanentes (APPs). As informações geomorfométricas da MO mostraram resultados

parecidos entre os algoritmos, pois mesmo as distinções visuais são toleráveis uma vez que os algoritmos aplicados usam diferentes métricas computacionais.

Salienta-se que há necessidade de abranger o estudo sobre os modelos matemáticos de cada algoritmo para indicar qual é mais eficiente, além da necessidade de uma verificação topológica e análise geoestatística dos critérios empregados na modelagem. Contudo a metodologia apresentada serve como complemento para outros estudos ambientais como, por exemplo, delimitação de APPs, fragilidade ambiental, vulnerabilidade social, Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e balanço hídrico.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos técnicos da SABESP pelo transporte com a viatura às visitas de campo e aos analistas do gabinete pelo esclarecimento das dúvidas.

### Referências

ALMEIDA JÚNIOR, V. H.; SOUZA, F. R. M.; SILVA, R. V.; SANTOS, O. M.; MONGUILHOTT, M. **Análise Comparativa dos produtos derivados das variáveis geomorfológicas dos algoritmos SAGA/GIS e ArcGIS**. XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. Anais. ISBN: 978-85-17-00088-1. INPE Santos – SP, Brasil. 28 a 31 de maio de 2017.

ANA. Agência Nacional das Águas. Brasil, 2008. **Bacias Hidrográficas Ottocodificadas (Nível 2)**. Disponível em: <[http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/93d6c46c6a4e47fbb5bb281b7cbc8847\\_0](http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/93d6c46c6a4e47fbb5bb281b7cbc8847_0)>. Acesso em: 18 de mar. de 2020.

BOSQUILIA, R. W. D.; FIORIO, P. R.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R. Comparação entre métodos de mapeamento automático de rede de drenagem utilizando SIG. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 445-457, Botucatu – SP, 2015.

CORREA, M. A.; FRANCISCO, C. N.; FERREIRA, L. C. M. Extração automática de rede de drenagem gerada a partir de dados obtidos por perfilamento laser. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada** / I Congresso Nacional de Geografia Física. Anais. ISBN: 978-85-85369-16-3. Unicamp – SP, Brasil, 28 a 02 de julho de 2017.

ESRI. ESRI Developer Documentation: **What is ArcGIS Desktop?** ESRI. S/d. Disponível em: <[http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/cpp\\_vb6\\_vba\\_vcphp\\_doc/shared/desktop/get\\_started/what\\_is\\_dtop.htm](http://edndoc.esri.com/arcobjects/9.2/cpp_vb6_vba_vcphp_doc/shared/desktop/get_started/what_is_dtop.htm)>. Acesso em: 19 fev. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Portal de Mapas**. IBGE. 2019. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em 19 fev. 2020.

IPT. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Plano Diretor Regional da Subregião do rio Cotia: caracterização regional. Relatório Técnico nº 79.907-205.** São Paulo, 2005.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda**, v.54, n.11, p.1.593-1.600, 1988.

LIMA, M. I. C. **Análise de Drenagem e seu Significado Geológico-Geomorfológico.** Apostila, ed. 3., 222 f., Belém – PA, 2006.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação.** Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. Draining automatic extraction: a comparative analysis of different from the tools and databases. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p. 1849-1860, 2016.

MOREIRA, L. L. DIAS, R. R. Análise Morfométrica da Micro Bacia Hidrográfica do Córrego Manoel João, Porto Nacional (TO). **Revista Eletrônica do Curso de Geografia**, nº 27 – UFG/REJ. Jataí – GO, 2016.

OLIVEIRA, S. N.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SILVA, T. M.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F.; SILVA, N. C. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 8, n. 1, p. 11, 2007.

QGIS. **Documentation QGIS 2.8: SAGA GIS algorithm provider.** QGIS. S/d. Disponível em: <[http://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user\\_manual/processing\\_algs/saga/index.html?highlight=saga](http://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user_manual/processing_algs/saga/index.html?highlight=saga)>. Acesso em: 18 fev. 2020.

SABESP. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Perfil da MO. Características Gerais** [Intranet]. São Paulo, 2018.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Perfil dos Municípios Paulistas.** 2019. Disponível em: <<https://perfil.seade.gov.br>>. Acessado em 24 de mai. 2020.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 01, p. 05, 2005.

SOBRINHO, T A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYERS, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Jaboticabal**, v.30, n.1, p. 46-57, 2010.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física.** Barcelona. Ediciones Omega, 1989. 636 p.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography** 32, 300-309., 2012.