

ESTUDO DA LINEARIDADE DA SUB-BACIA 63 NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO PARANÁ

RICARDO DE F. PINTO FILHO¹; MURILO R. D. CARDOSO²; VANESSA ROMERO³;
FRANCISCO F. N. MARCUZZO⁴

¹ Geógrafo, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO. pintofilho.rf@gmail.com

² Acadêmico de Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO. muriloshinobi@gmail.com

³ Acadêmica em Tecnólogo de Saneamento Ambiental, Instituto Federal de Educação e Tecnologia de Goiás. Goiânia - GO.
vromero.fe@gmail.com

⁴ Engenheiro, Dr., Pesquisador em Geociências, CPRM/SGB - Goiânia-GO. fmarcuzzo@gmail.com

Apresentado no
XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2011
24 a 28 de julho de 2011 – Cuiabá – MT, Brasil

RESUMO: O entendimento da linearidade de uma bacia hidrográfica versa em uma melhor compreensão da sua forma física, visando um correto gerenciamento dos recursos hídricos. O presente trabalho teve o objetivo de analisar a linearidade morfométrica da sub-bacia 63. Os dados para o estudo de linearidade da sub-bacia 63 foram obtidos através de um Modelo Digital de Elevação de Terreno feito a partir de imagens de radar ASTER obtidas gratuitamente no sítio da NASA. Foi analisado também a Relação de Bifurcação, o Índice de Sinuosidade, a Relação entre o Comprimento Médio dos Canais de cada ordem, o Comprimento do Canal Principal, o Equivalente Vetorial do Canal Principal e o Gradiente dos Canais. Na sub-bacia 63 foram encontrados rios até de sexta ordem, como o rio Paraná, cujo canal principal apresentou 674,645 km de comprimento. A Relação de Bifurcação da bacia variou de 2,25 e 6,4. A Relação de Comprimento Médio variou de 95,272 km para rios de quarta ordem e 12,067 km para rios de primeira ordem. A análise do Gradiente dos Canais apresentou o resultado de 439 m e o Índice de Sinuosidade foi de 43,515, classificando-os como rios sinuosos.

PALAVRAS-CHAVE: morfometria, bacia hidrográfica, sensoriamento remoto

LINEARITY STUDY OF THE WATERSHED NUMBER 63 IN REGION OF PARANA RIVER

ABSTRACT: The importance of studying the linearity of a watershed is a better understanding of its physical form in order to correct management of water resources. This study aimed to analyze the morphometric linearity of the 63 sub-basin. Data for the 63 sub-basin linearity study were obtained from a Digital Elevation Model made from radar ASTER images obtained free from NASA. We also analyzed the Bifurcation Relation, the Sinuosity Index, the Relation between the Average Length of each order channels, the Main Channel Length, the Main Channel Equivalent Vector and the Channels Gradient. In 63 sub-basin rivers were found rivers up to sixth order, as the Parana river, whose main channel had 674.645 km in length. The Bifurcation Relation basin ranged from 2.25 to 6.4. The Medium Length Relation ranged from 95.272 km to fourth order rivers and 12.067 km to first order rivers. The analysis of Gradient Channels presented the result of 439 m and the Sinuosity index was 43.515, classifying them as meandering rivers.

KEYWORDS: morphometry, watershed, remote sensing

INTRODUÇÃO

O Brasil tem a maior disponibilidade hídrica do planeta e diversas leis para a proteção e conservação desse bem mineral. A primeira lei a tratar de recursos hídricos no país foi o Código das Águas datado de 1954. Dessa data em diante, até o presente, diversas leis e instituições foram criadas para gerenciar e regular as águas do país. Uma dessas instituições, fundada em 2000, é a ANA (Agência Nacional das Águas) que hoje é a maior responsável de gerir os recursos hídricos do país (MMA, 2006).

A ANA divide as regiões hidrográficas brasileiras em diversas escalas. A maior delas nas proporções das grandes regiões hidrográficas do país: Amazonas, Costeira do Norte, Tocantins, Costeira do Nordeste Ocidental, Parnaíba, Costeira do Nordeste Oriental, São Francisco, Costeira do Leste, Costeira do Sudeste, Costeira do Sul, Uruguai, Paraná e Paraguai, até a escala de otobacias de nível seis (CNRH, 2003).

As novas geotecnologias e produtos orbitais disponibilizados (gratuitamente) como imagens de Radar (SRTM) imagens de satélite, possibilitam um levantamento mais rápido e detalhado das bacias hidrográficas (Araújo et al., 2009). O uso desses produtos agiliza o processo de delimitação provendo uma dinâmica da análise dessas regiões de modo que a pesquisa e desenvolvimento possam acompanhar de perto o uso e a degradação das bacias hidrográficas a fim de criar formas sustentáveis de uso ou parâmetros que dê sustentação a criação e implantação de leis.

Segundo Duarte et al, o Sistema de Informação Geográfica mostra ser uma ferramenta de grande importância para esse estudo, pois após obter as características fisiográficas da bacia, pôde-se correlacioná-las com a realidade, por meio da confecção de mapas temáticos.

A modelagem hidrológica e SIG's têm evoluído para o ponto em que as vantagens de cada sistema podem ser totalmente integradas dentro de uma poderosa ferramenta de análise em bacias hidrográficas (Machado, 2002).

A sub-bacia 63 abriga parte do Complexo Hidrelétrico de Urubupungá, a Hidrelétrica de Porto Primavera e a Hidrovia Tietê-Paraná conhecida como hidrovia do Mercosul, uma das mais importantes hidrovias da América do Sul.

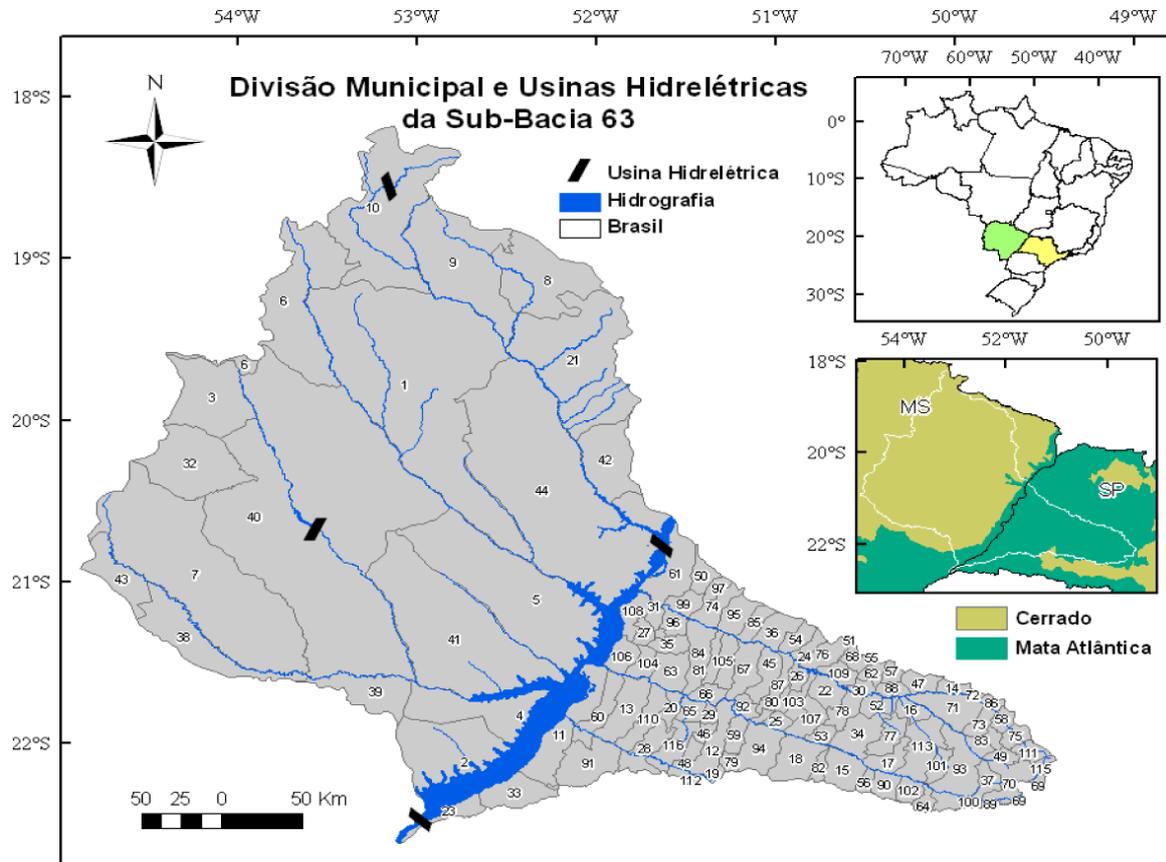
O presente trabalho teve o objetivo de analisar a linearidade morfológica como, a Relação de Bifurcação, o Índice de Sinuosidade, a Relação entre o Comprimento Médio dos Canais de cada ordem, o Comprimento do Canal Principal, o Equivalente Vetorial do Canal Principal e o Gradiente dos Canais da sub-bacia 63.

MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia 63 está localizada na bacia do Paraná e possui uma área de 120746 km², sendo 90641 km² (75,07%) no estado do Mato Grosso do Sul e 30105 km² (24,93%) no estado de São Paulo. O perímetro total da sub-bacia 63 é de 2731,3 km, sendo 1631,2 km (59,73%) no lado sul-mato-grossense e 1100,1 km (40,27%) no lado paulista. Ao total a sub-bacia 63 possui 124 municípios, sendo 19 (15%) na porção sul-mato-grossense e 105 (85%) na porção Paulista.

Nota-se pela Figura 1 que a sub-bacia 63 possui uma densidade baixa de municípios no estado do Mato Grosso do Sul em comparação a parte paulista, tendo em média 4316,24 km² por município na parte sul-mato-grossense e 189,34 km² por município na parte paulista.

Observa-se no mapa (Figura 1) que a divisão territorial na parte paulista da bacia tem como importantes divisores territoriais naturais as principais drenagens da bacia.



001 - ÁGUA CLARA	030 - SANTOPOLIS DO AGUAPEI	059 - CAIABU	088 - LUIZIÂNIA
002 - ANAURILÂNDIA	031 - SÃO JOÃO DO PAU D'ALHO	060 - CAIUA	089 - LUPERCIO
003 - BANDEIRANTES	032 - JARAGUARI	061 - CASTILHO	090 - LUTECIA
004 - BATAGUASSU	033 - TEODORO SAMPAIO	062 - CLEMENTINA	091 - MARABA PAULISTA
005 - BRASILÂNDIA	034 - TUPÁ	063 - DRACENA	092 - MARIAAPOLIS
006 - CAMAPUÁ	035 - TUPI PAULISTA	064 - ECHAPORA	093 - MARIILIA
007 - CAMPO GRANDE	036 - VALPARAISO	065 - EMILIANOPOLIS	094 - MARTINOPOLIS
008 - CASSILÂNDIA	037 - VERA CRUZ	066 - FLORA RICA	095 - MIRANDOPOLIS
009 - CHAPADÃO DO SUL	038 - NOVA ALVORADA DO SUL	067 - FLORIDA PAULISTA	096 - MONTE CASTELO
010 - COSTA RICA	039 - NOVA ANDRADINA	068 - GABRIEL MONTEIRO	097 - MURUTINGA DO SUL
011 - PRESIDENTE EPITÁCIO	040 - RIBAS DO RIO PARDO	069 - GALIA	098 - NOVA GUATAPORANGA
012 - PRESIDENTE PRUDENTE	041 - SANTA RITA DO PARDO	070 - GARÇA	099 - NOVA INDEPENDENCIA
013 - PRESIDENTE VENCESLAU	042 - SELVIRIA	071 - GETULINA	100 - OCAUCU
014 - PROMISSÃO	043 - SIDROLÂNDIA	072 - GUAICARA	101 - ORIENTE
015 - QUATÁ	044 - TRÊS LAGOAS	073 - GUAIMBE	102 - OSCAR BRESSANE
016 - QUEIROZ	045 - ADAMANTINA	074 - GUARACAI	103 - OSVALDO CRUZ
017 - QUINTANA	046 - ALFREDO MARCONDES	075 - GUARANTA	104 - OURO VERDE
018 - RANCHARIA	047 - ALTO ALEGRE	076 - GUARARAPES	105 - PACAEMBU
019 - REGENTE FEIJÓ	048 - ALVARES MACHADO	077 - HERCULÂNDIA	106 - PANORAMA
020 - RIBEIRÃO DOS ÍNDIOS	049 - ALVARO DE CARVALHO	078 - IACRI	107 - PARAPUÁ
021 - INOCÊNCIA	050 - ANDRADINA	079 - INDIANA	108 - PAULICÉIA
022 - RINÓPOLIS	051 - ARACATUBA	080 - INUBIA PAULISTA	109 - PIACATU
023 - ROSANA	052 - ARCO-IRIS	081 - IRAPURU	110 - PIQUEROBI
024 - RUBIACEA	053 - BASTOS	082 - JOÃO RAMALHO	111 - PIRAJUI
025 - SAGRES	054 - BENTO DE ABREU	083 - JULIO MESQUITA	112 - PIRAPOZINHO
026 - SALMOURAO	055 - BILAC	084 - JUNQUEIROPOLIS	113 - POMPEIA
027 - SANTA MERCEDES	056 - BORA	085 - LAVINIA	114 - PRACINHA
028 - ANASTÁCIO	057 - BRAUNA	086 - LINS	115 - PRESIDENTE ALVES
029 - SANTO EXPEDITO	058 - CAFELÂNDIA	087 - LUCÉLIA	116 - PRESIDENTE BERNARDES

Figura 1. Área da sub-bacia 63 com suas principais usinas hidrelétricas, localização geográfica, biomas e divisão territorial estadual e municipal.

Observa-se o mapa altimétrico da sub-bacia 63 gerado com os dados obtidos da NASA (2010). Nota-se que a amplitude altimétrica total da sub-bacia 63 (Figura 2) varia de 215 m a 926 m, resultando num gradiente altimétrico de 711 m.

As regiões mais elevadas da sub-bacia estão localizadas ao extremo noroeste da sub-bacia. É possível observar através do mapa altimétrico que as regiões mais baixas estão localizadas próximas ao rio Paraná e que vão aumentando gradativamente à medida que vai se

distanciando do rio. Isso contribui para que todo o escoamento das chuvas vá desaguar no rio Paraná direta ou indiretamente fazendo com que ocorram grandes cheias no período úmido.

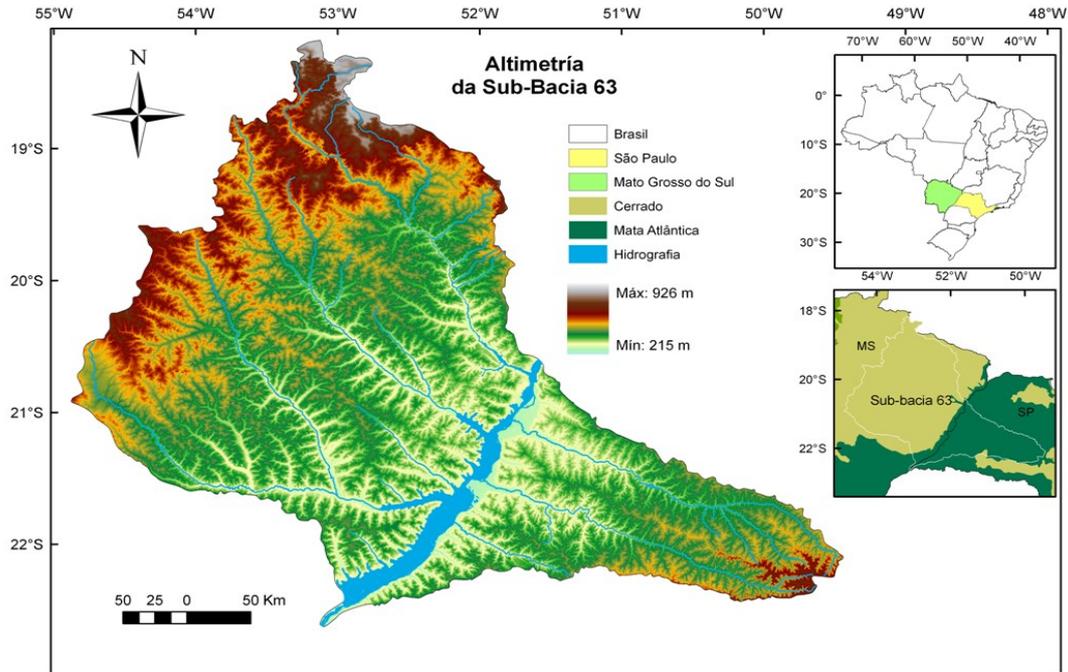


Figura 2. Área da sub-bacia 63 com sua rede de drenagem e altimetria.

A área da sub-bacia 63, localizada entre os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo, na região hidrográfica do rio Paraná, detém um grande potencial hídrico (Figura 3). Fazendo jus a essa afirmação a sub-bacia 63 abriga parte da hidrovía Tietê-Paraná, e parte do complexo Hidrelétrico Urubupunga, além da Usina Hidrelétrica Porto Primavera (Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta).

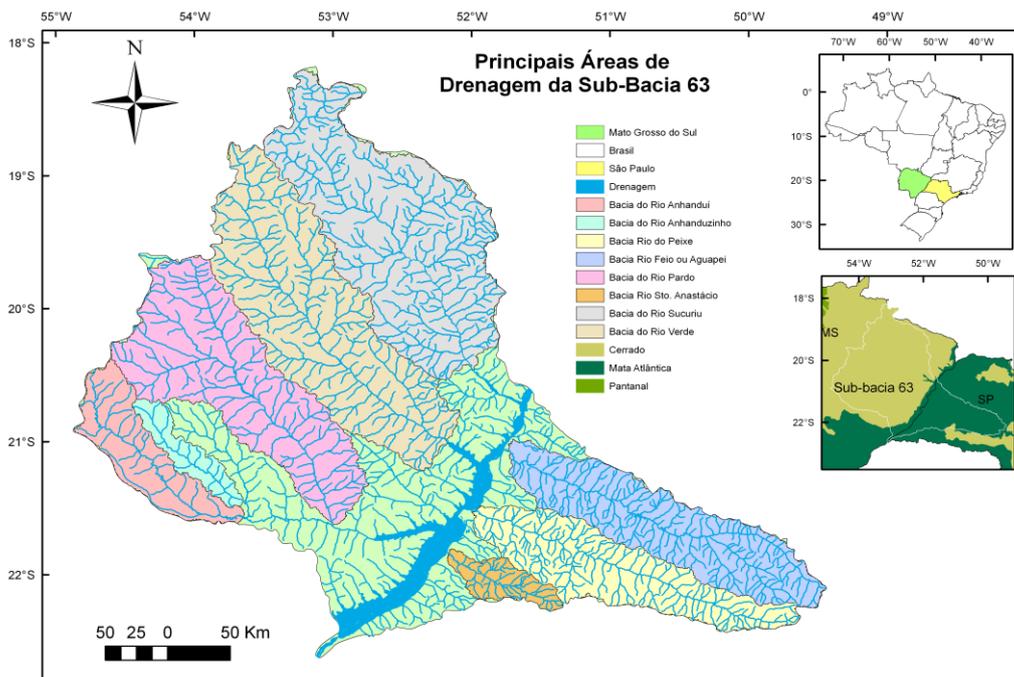


Figura 3. Área da sub-bacia 63 com seus principais rios.

Nota-se na Figura 4 a pecuária como maior atividade econômica na porção sul-mato-grossense, abrangendo a maior parte do estado. Por sua vez a parte paulista da área estudada a agricultura e a pecuária dividem o território paulista. Já na região centro-oeste da área sul-mato-grossense nota-se a silvicultura como principal atividade econômica.

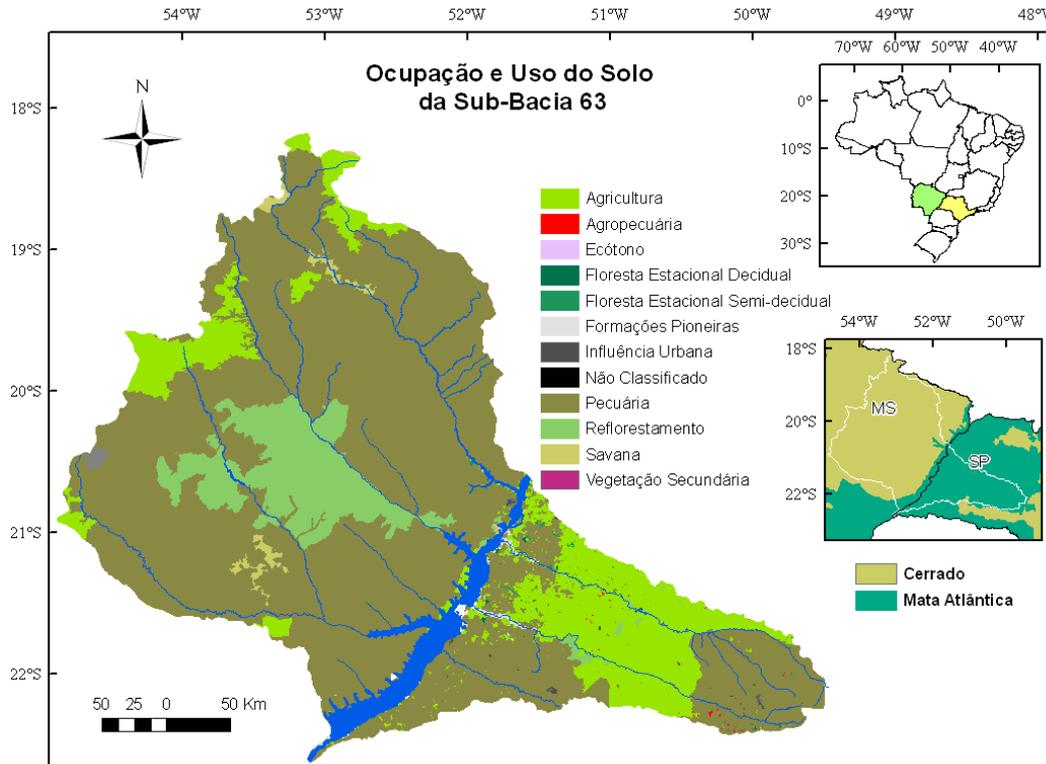


Figura 4. Uso e ocupação do solo da sub-bacia 63.

Nesse trabalho foram utilizadas imagens de radar ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Radiômetro Avançado de Reflexão Espacial e Emissão Térmica) com resolução de 30 metros baixados gratuitamente do site da NASA. Essas imagens, baixadas em quadrantes, foram mosaicadas em uma só e depois recortadas com o limite da sub-bacia 63 determinada pela Agência Nacional de Águas.

Com o MDE (Modelo Digital de Elevação) delimitado pelo recorte da sub-bacia 63, deu-se início a delimitação das suas sub-bacias através de um programa SIG. O primeiro passo foi extrair a drenagem. A extração da drenagem foi feita utilizando o acúmulo das feições do MDE, as regiões mais baixas e/ou para onde se direciona o fluxo hipsométrico. O contorno do “acúmulo” representa a hidrografia, ou seja, o curso do rio. Contudo, essa hidrografia pode ser gerada em diversas escalas pré-estabelecidas pelo usuário do programa SIG.

Quanto maior o valor estabelecido pelo usuário, menor o número de feições e conseqüentemente, menor será a escala. Gerada a rede hidrográfica da área de estudo, no caso desse trabalho na escala 1:100000, delimitou-se as suas respectivas bacias. A delimitação foi feita semi-automaticamente utilizando um programa SIG onde o usuário informa para o programa onde se encontra o exutório do curso d’água do qual deseja extrair a bacia e o programa gera a bacia para aquele determinado curso d’água.

Para o estudo de linearidade da sub-bacia 63 foram analisados os seguintes fatores: A Relação de Bifurcação, o Índice de Sinuosidade, Relação entre o Comprimento Médio dos Canais de cada ordem, Comprimento do Canal Principal, Comprimento Total dos Canais divididos por Ordem e Gradiente dos Canais.

A Relação de Bifurcação foi definida por Horton (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior.

$$Rb = \frac{Nu}{Nu+1} \quad (1)$$

em que, Nu é o número de segmentos de determinada ordem; $Nu+1$ é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

O Índice de Sinuosidade é a relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante (Equivalente Vetorial), medida em linha reta (Ev), e o comprimento do canal principal (L).

$$Is = \frac{100(L-Ev)}{L} \quad (2)$$

O Índice de Sinuosidade possui classes, divididas conforme o Quadro 1.

Quadro 1. Índices de Sinuosidade divididos por classes.

Classe	Descrição	Limites (%)
I	Muito reto	< 20
II	Reto	20 a 29
III	Divagante	30 a 39,9
IV	Sinuoso	40 a 49,95
V	Muito sinuoso	> 50

Para se calcular a Relação entre o Comprimento Médio dos Segmentos Fluvial, Lm , divide-se a soma dos comprimentos dos canais de cada ordem Lu pelo número de segmentos encontrados nas respectivas ordens Nu .

$$Lm = \frac{Lu}{Nu} \quad (3)$$

O Comprimento do Canal Principal é a distancia que se estende ao longo do curso d'água desde a nascente principal até a desembocadura (Foz).

Gradiente dos Canais vem a ser a relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial. A sua finalidade é indicar a declividade dos cursos de água, podendo ser medido para o rio principal e para todos os segmentos de qualquer ordem.

$$Alt. Max - Alt. Min = Gradiente do canal \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que a sub-bacia 63 possui rios de primeira a sexta ordem (Tabela 1), sendo 1122 de primeira ordem, 237 de segunda ordem, 58 de terceira ordem, nove de quarta ordem, quatro de quinta ordem e um rio de sexta ordem, no caso o rio Paraná. Verificou-se também a Relação de Bifurcação definida por Horton (1945) estes valores indicam o grau de dissecação da bacia, quanto maior o valor da Relação de Bifurcação maior será o grau de dissecação da bacia.

Pelos valores apresentados na Tabela 1 nota-se que a bacia tem um grau de dissecação considerável, partindo de 2,250 para rio de quinta ordem e chegando a 6,444 para rios de quarta ordem.

No presente estudo avaliou-se também o comprimento total dos canais divididos por ordem, detectou-se que o conjunto de canais de primeira ordem possui maior extensão do que os demais apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Ordem, Número de Canais, Relação de Bifurcação e Comprimento Total dos cursos d'água da sub-bacia 63.

Ordem	Nº de Canais	Relação de Bifurcação (Rb)	Comprimento Total (km)
1 ^a	1122	*	13539,622
2 ^a	237	4,734	3202,822
3 ^a	58	4,086	1758,789
4 ^a	9	6,444	857,448
5 ^a	4	2,250	246,718
6 ^a	1	4,000	674,646

O mapa apresentado (Figura 5) possui rios de terceira ordem a sexta ordem pertencentes a sub-bacia 63. Foi também caracterizado na Figura 5 o lago da Hidrelétrica de Porto Primavera (Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta) e o lago da Hidrelétrica de Jupia (Usina Hidrelétrica Engenheiro Souza Dias).

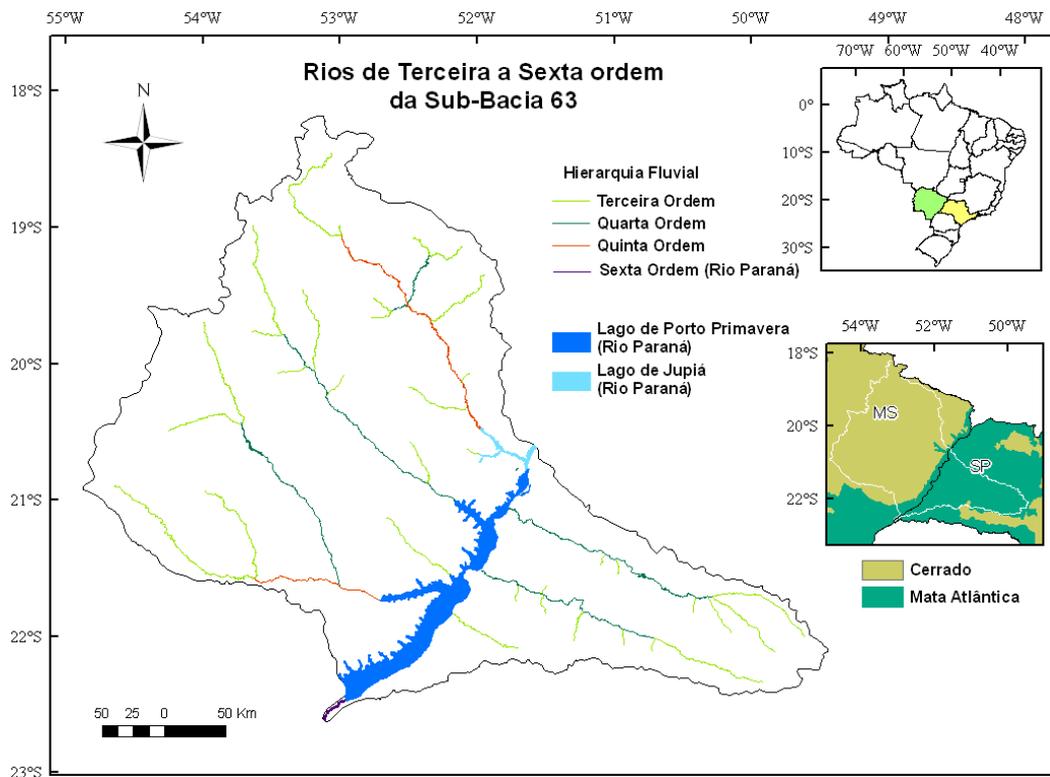


Figura 5. Mapeamento dos rios da sub-bacia 63 da sexta a terceira ordem.

O Gradiente dos Canais também foi avaliado, o resultado obtido foi 439 metros. Outro fator avaliado foi o Índice de Sinuosidade da bacia, o qual foi dividido em classes. O índice de

Sinuosidade obtido de 43,516 indica que os canais da sub-bacia estuda são classificados segundo o Quadro 1 como sinuosos.

Mais mapas e informações sobre a sub-bacia 63 (Rio Paraná, Rio Verde e Rio do Peixe) poderá ser obtida em: https://drive.google.com/drive/folders/0B5YK_fCaGOyfZjZWZ0o3dkFWUU0?usp=sharing

CONCLUSÕES

Conclui-se com o estudo da linearidade que a região da sub-bacia 63, localizada na grande bacia hidrográfica do Paraná, concentra um notável potencial hídrico, fazendo jus ao seu potencial hidrelétrico e por abrigar a Hidroviado Mercosul. O uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto mostraram extremamente confiáveis para os estudos de bacias hidrográficas. Na análise dos resultados obtidos, constata-se pela Relação de Bifurcação que o grau de dissecação da bacia é relativamente alto tendo em vista que varia de 2,250 a 6,444. O estudo detectou que os canais da sub-bacia 63 são sinuosos e possui o valor de 439 metros para o Gradiente dos Canais analisado. O presente trabalho teve o objetivo de melhorar o conhecimento fisiográfico da sub-bacia 63, localizada na região hidrográfica do rio Paraná, contudo, pela literatura consultado, concluí-se que há necessidade de aprofundamento de estudos morfométricos devido a grande importância em relação ao potencial hidro-energético e a Hidrovia Tietê-Paraná.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil) pelo fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. P. de; TELES, M. G. L.; LAGO, W. J. S.. **Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25 – 30 abril 2009, INPE, v. 1, p. 4631 – 4638. 2009
- BARROS, L. L., STEINKE, V. A.; **Análise morfométrica automatizada para bacia do rio Maranhão**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 Abril, 2009, INPE, v. 1, n. 1, p. 4655 - 4661, 2009.
- BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº32 de 15 de Outubro de 2003, **Institui a Divisão Hidrográfica Nacional em Regiões Hidrográficas**. Disponível em : <http://www.cnrh-srh.gov.br/delibera/resolucoes>. Acesso em 2011.
- DUARTE, C. C., GALVÍNIO, J. D., CORRÊA, A. C. B., ARAÚJO, M. S. B. **Análise Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá-PE**. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, n. 2. p. 50 - 64 2007.
- HORTON, R. E. 1945. **Erosional development of streams their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Bulletin of the Geological Society of America, Colorado, v. 56, p. 275 - 370, 1945.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. In: [http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/]. Acesso em: 23 de outubro de 2010.
- MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Água: Manual de Uso**. Brasil. Brasília – DF. v. 1, p. 18 – 21, 2006.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration). Estados Unidos, 2010. Disponível em: <<http://www.asterweb.jpl.nasa.gov>>. Acesso em: 4 de julho de 2010.
- STRAHLER, A. N. 1957. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Transactions. American Geophysical Union, v38, p.913 - 920.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.