

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

JHONY FERRY MENDONÇA DA SILVA

"Morfometria, uso e ocupação do solo em Bacias Hidrográficas na região neotropical:
estratégias visando a preservação ambiental".

Toledo

2017

JHONY FERRY MENDONÇA DA SILVA

"Morfometria, uso e ocupação do solo em Bacias Hidrográficas na região neotropical:
estratégias visando a preservação ambiental".

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Makrakis

Toledo

2017

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Silva, Jhony Ferry Mendonça da
Morfometria, uso e ocupação do solo em Bacias Hidrográficas na região neotropical: estratégias visando a preservação ambiental / Jhony Ferry Mendonça da Silva; orientador(a), Sergio Makrakis, 2017.
34 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Toledo, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2017.

1. Geomorfologia, . 2. Declividade, . 3. Análise, . 4. Projetos ambientais.. I. Makrakis, Sergio. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

JHONY FERRY MENDONÇA DA SILVA

"Morfometria, uso e ocupação do solo em Bacias Hidrográficas na região neotropical:
estratégias visando a preservação ambiental".

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Sergio Makrakis
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

Prof. Dr^a. Maristela Cavicchioli Makrakis
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Guilherme Henrique Barros de Souza
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Aprovada em: 05 de abril de 2017.

Local de defesa: Sala Cleusa, Bloco Multiuso da Unioeste/*Campus* de Toledo.

"Morfometria, uso e ocupação do solo em Bacias Hidrográficas na região neotropical: estratégias visando a preservação ambiental".

RESUMO

O conhecimento da morfometria, do relevo, da rede de drenagem e do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas é importante, para tomadas de decisão em projetos ambientais. Portanto, o objetivo do estudo foi analisar a morfometria e identificar as características do relevo em nove bacias hidrográficas afluentes do rio Iguaçu, além de caracterizar vertentes, rede de drenagem, declividade e uso e ocupação do solo. As bacias analisadas apresentaram de maneira geral formas alongadas, sendo pouco suscetíveis a enchentes, com relevo ondulado em média, possuem drenagem intermediária a pobre. Possuem sinuosidade de intermediária a alta. A classificação obteve valores de acurácia pelo coeficiente *Kappa* de 99,4 a 99,9%. A análise de agrupamento revelou que a bacia do Rio Floriano apresenta maior preservação ambiental, seguida pelas bacias dos rios Silva Jardim e Gonçalves Dias. Para as bacias dos rios Capanema, Cotejipe, Andrada e Santo Antônio, possuem preservação ambiental intermediária, e as bacias dos rios Monteiro e Sarandi possuem menor preservação ambiental, com maior distância entre elas. Estudos empregando técnicas de análise geomorfológica classificação multiespectral em bacias hidrográficas são essenciais, permitindo avaliar de maneira sistemática regiões hidrográficas em grande escala e assim gerar informações importantes para tomadas de decisão visando a preservação e o manejo dessas regiões.

Palavras chave: Geomorfologia, Declividade, Análise, Projetos ambientais.

Morphometry, land use and occupation in watersheds in neotropical region: strategies aimed at environmental preservation

ABSTRACT

Knowledge of morphometry, relief, drainage network and land use and occupation in watersheds is important for decision making in environmental projects. Therefore, the objective of the study was to analyze the morphometry and to identify the characteristics of the relief in nine tributary watersheds of the Iguaçu River, besides characterizing slopes, drainage network, and land use and occupation. The analyzed basins presented generally elongated forms, being little susceptible to floods, with medium undulated relief, have intermediate to poor drainage. They have sinuosity from intermediate to high. The classification obtained values of accuracy by the Kappa coefficient of 99.4 to 99.9%. The cluster analysis revealed that the Floriano River basin presents greater environmental preservation, followed by the Silva Jardim and Gonçalves Dias river basins. For the Capanema, Cotejipe, Andrada and Santo Antônio rivers, they have intermediate environmental preservation, and the basins of the Monteiro and Sarandi rivers have less environmental preservation, with greater distance between them. Studies using geomorphological analysis techniques multispectral classification in watersheds are essential, allowing systematic evaluation of hydrographic regions on a large scale and thus generate important information for decision making aiming at the preservation and management of these regions.

Keywords: Geomorphology, Declivity, classification, Environmental projects.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	07
2. METODOLOGIA.....	10
2.1. Área de estudo.....	10
2.2. Materiais.....	11
2.3. Métodos.....	11
2.3.1. Delimitação das bacias.....	11
2.3.2. Características de relevo.....	14
2.3.3. Características de rede de drenagem.....	14
2.4. Uso e ocupação do solo.....	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
3.1. Análise de bacias.....	17
3.1.1. Características geométricas.....	17
3.1.2. Características de relevo.....	17
3.1.3. Características da rede de drenagem.....	19
3.2. Resultados do uso e ocupação do solo.....	24
4. CONCLUSÕES.....	29
5. REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

As ações antrópicas, por meio da exploração dos recursos naturais, podem ocasionar diversos danos aos ecossistemas. Atividades humanas como silvicultura, agricultura, canalização, produção de energia, industrialização, mal uso da água e muitos outros podem ter várias consequências negativas para a pesca e os recursos aquáticos (RONI et al., 2005).

Como parte do ecossistema, a geomorfologia busca compreender mudanças espaço-temporais da superfície terrestre, antes e depois da intervenção humana. São intervenções que em poucos anos, aceleram processos geomorfológicos que normalmente demorariam milhares de anos para ocorrerem (GUERRA & CUNHA et al., 1999). Como elemento do sistema geomorfológico, a bacia hidrográfica é uma área onde a água converge para um único ponto em uma elevação mais baixa, normalmente a seu exutório (RAHAMAN et al., 2015).

Mudanças ocorridas no interior de bacias de drenagem precisam ser analisadas afim de realizar o manejo adequado dessas regiões. Características morfológicas das bacias hidrográficas, são controladas ou influenciadas por sua estrutura geológica e litologia, importantes nos processos do ciclo hidrológico, influenciando a infiltração, a água produzida como deflúvio da precipitação, evapotranspiração, escoamentos superficial, sub-superficial e formação dos elementos que compõem a superfície terrestre. O entendimento dessas características é relevante, pois com isso é possível tomar ações preventivas para este ambiente (PISSARRA et al., 2004; TONELLO et al., 2006; LIMA, 2008).

Uma dessas características é o sistema de drenagem, que é influenciado pela forma, regime climático, hidrológico, formações geológicas, morfológicas, solos, vegetação, entre outros (GRISON & KOBIYAMA, 2011). A área da bacia hidrográfica influencia a quantidade de água produzida como deflúvio e extensão dos canais, afetando a disponibilidade de sedimentos e a taxa de formação do deflúvio.

Hidrologistas e ecologistas estão cada vez mais conscientes da importância da quantificação dos riscos para avaliar a saúde das bacias hidrográficas (AHN & KIM, 2017). A caracterização morfométrica de bacias é o método mais apropriado para o planejamento e manejo adequados, e compreender a relação entre diferentes aspectos do padrão de drenagem e avaliar de forma comparativa diferentes bacias de drenagem, desenvolvidas em vários sistemas geológicos e climáticos (PINGALE et al., 2012). Para conhecimento de suas características morfométricas, é preciso a análise morfológica da bacia hidrográfica, descrevê-la quantitativamente e comparar com outras bacias.

Em seguida, estuda-se a formação da bacia, que depende da relação infiltração/deflúvio, e influencia a ação de escavamento do vale e retrata a relação entre a rede

de drenagem e a bacia por ela drenada (PISSARRA et al., 2004). Além disso, a hierarquia fluvial é importante, por tornar mais objetivos estudos morfométricos sobre as bacias hidrográficas. Pelos canais analisados e sua forma, pode-se definir o padrão de drenagem, que repercute no comportamento hidrológico e litológico de cada unidade de solo. (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Em locais onde a infiltração é dificultada, ocorre maior escoamento superficial, sendo possível maior esculturação da rede hidrográfica, resultando em uma densidade de drenagem mais alta (PISSARRA et al., 2004). Estudos ambientais em bacias hidrográficas de grande porte são muito importantes, pois é possível conhecer e evitar a ocorrência de diversos impactos ambientais, a fim de garantir maior preservação ambiental desses ambientes.

Além das características morfométricas, de drenagem e relevo, o uso e ocupação do solo é muito importante, por fornecer informações relevantes sobre os objetos presentes na superfície terrestre. Esses objetos, que podem ser áreas de vegetação preservada, áreas construídas na região urbana, ou áreas agrícolas, na parte rural possuem grande influência sobre o ambiente terrestre e aquático (MEADOR & GOLDSTEIN, 2003; ALLAN, 2004). A avaliação das mudanças na cobertura em ambientes tropicais é um tema desafiador, e aborda questões como conservação da biodiversidade e manejo sustentável dos ecossistemas (GRINAND, 2013).

O rompimento do equilíbrio entre infiltração e escoamento superficial do ecossistema terrestre, influencia diretamente no ecossistema aquático (REIS & PEREIRA FILHO, 2006), contaminação da água; regularização, canalização e artificialização do leito natural; remoção da mata ciliar; uso inadequado do solo; expansão industrial; e construção de barragens e estradas (CELESTINO et al., 2013).

Para áreas com cobertura parcial de vegetação, as maiores perdas de solo ocorrem para os locais com maiores valores de energia cinética pela precipitação, indicando que o impacto das gotas da chuva sobre o solo é reduzido pela cobertura vegetal, em que o processo passa a ser dominado pelo efeito erosivo do escoamento superficial, o qual ocorre por maior período nas chuvas menos intensas, por apresentarem maior duração (SILVA et al., 2005; SANTOS, GRIEBELER & OLIVEIRA, 2010).

Além do efeito erosivo maior em áreas com pouca cobertura, também se observa que o escoamento superficial nessas regiões aumenta a quantidade de material de entrada no ambiente aquático. Esse material pode ser de grandes quantidades de solo, matéria orgânica e insumos agrícolas no período chuvoso, contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água dos mananciais (VANZELA, HERNANDEZ &

FRANCO, 2010). Além dessas substâncias, a artificialização do leito natural, canalização, remoção da mata ciliar, uso inadequado do solo, expansão industrial e construção de barragens e estradas possuem impactos significativos (CELESTINO et al., 2013)

Essas substâncias aumentam os riscos de cheias, problemas de assoreamento, poluição e comprometem a perenidade dos cursos de água (SANTOS, GRIEBELER & OLIVEIRA, 2010). A principal consequência deste impacto é o assoreamento que, além de modificar ou deteriorar a qualidade da água, a fauna e a flora, provoca o decréscimo da velocidade da água resultando também na redução da disponibilidade hídrica (VANZELA, HERNANDEZ & FRANCO, 2010).

Para o estudo de variáveis de morfometria, relevo, drenagem e uso e ocupação do solo, a tecnologia geoespacial possui vantagens de disponibilidade espacial, espectral, temporal e manipulação de dados cobrindo áreas grandes e inacessíveis em pouco tempo (DAR, SANKAR & DAR, 2010). Com essas tecnologias, é possível obter variáveis de relevo, rede de drenagem, declividade e uso e ocupação do solo (MIGUEL et al., 2014).

A extensão e a forma da bacia estão relacionadas com a quantidade de água que ela pode captar (FIOREZE, OLIVEIRA & FRANCO, 2010). Enquanto o relevo e a densidade de drenagem afetam a velocidade de escoamento e capacidade de absorção de água pelo solo (TUCCI, 2001). As informações de relevo são representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, denominada Modelo Digital de Terreno (MDT) (OLIVEIRA et al., 2010).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) possui aplicações úteis em muitas áreas das ciências naturais, como na hidrologia. São utilizados para automatizar a geração de direções de fluxo, redes de drenagem e bacias hidrográficas (FREITAS et al., 2016). Podem ser obtidos por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica, ou através de imagens de sensores remotos (OLIVEIRA et al., 2010). Com o MDE é possível obter variáveis físicas e geomorfológicas em bacias, importantes para o planejamento, cumprimento da legislação ambiental e garante eficiência das ações do homem no meio (MIOTO et al., 2014).

Desta forma, o MDE será utilizado neste estudo para caracterizar nove bacias hidrográficas do Baixo Rio Iguaçu quanto à morfometria, relevo, rede de drenagem, e uso e ocupação do solo, com técnicas de Sensoriamento Remoto. Essas informações são importantes para avaliar o grau de susceptibilidade das bacias a degradação ambiental, utilizando a ausência da vegetação preservada nas bacias como variável indicadora. Essas informações podem inferir sobre a qualidade do ambiente para a conservação dos recursos pesqueiros presentes na região, pois a vegetação ripária é importante meio de preservação desses habitats.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2. 1. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na região neotropical, correspondente a América do Sul, América Central, parte da América do Norte e as ilhas do Caribe. Essa região é uma das 6 grandes regiões biogeográficas, com alta biodiversidade, descritas por Wallace (1876). A região de estudo está localizada na divisa entre o estado do Paraná, no Brasil e o estado de Misiones, na Argentina (Figura 1). Possui clima subtropical úmido com verões quentes, úmidos e invernos moderados (KÖPPEN & GEIGER, 1936). A região do Baixo Rio Iguaçu, possui clima subtropical com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C (NETO, 2010).

A área de estudo corresponde a nove (09) bacias de rios afluentes do Baixo Rio Iguaçu, pertencentes a margem direita (sentido do fluxo): rio Andrada, rio Monteiro, rio Gonçalves Dias, rio Floriano e rio Silva Jardim. Na margem esquerda, estão os seguintes: rio Cotejipe, rio Sarandi, rio Capanema e rio Santo Antônio, entre a usina hidrelétrica de Salto Caxias e a foz do Rio Santo Antônio. Estão presentes na área de estudo os municípios de Capanema, Capitão Leônidas Marques, Céu Azul, Matelândia, Nova Prata do Iguaçu, Pérola d'Oeste, Planalto, Realeza, Serranópolis do Iguaçu e Lindoeste, com área aproximada de 482.600 ha (Figura 1).

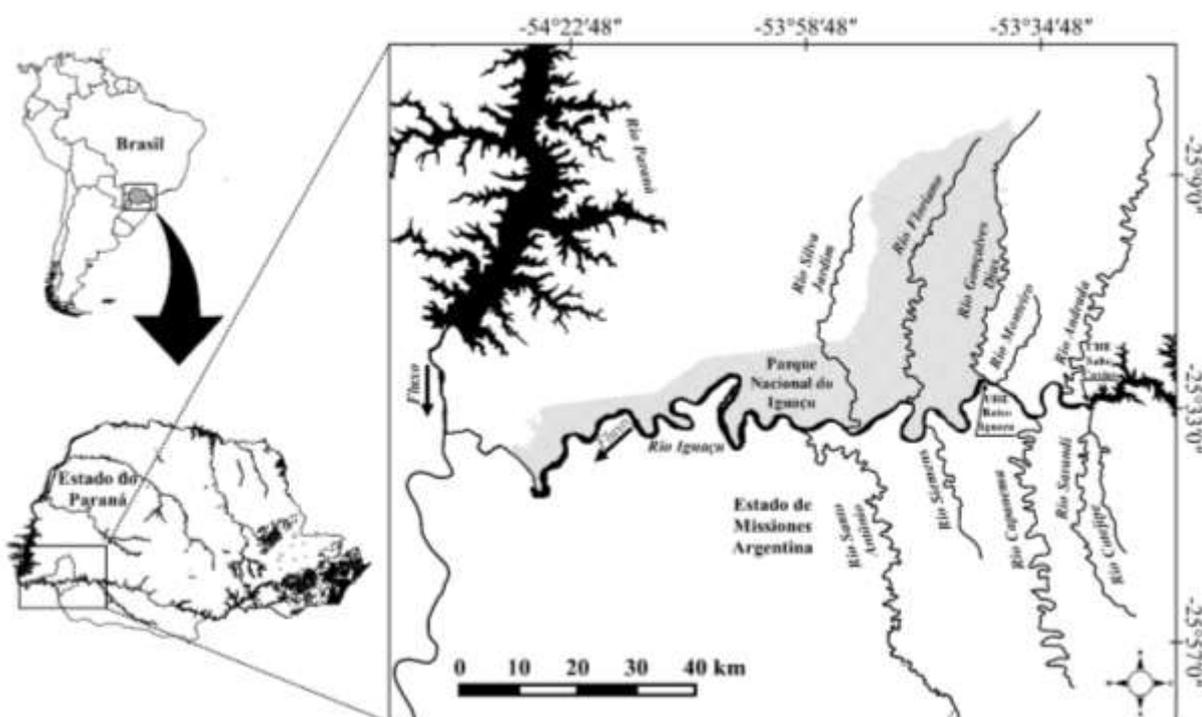


Figura 1: Representação da área de estudo. Os rios são: rio Andrada, rio Monteiro, rio Gonçalves Dias, rio Floriano, rio Silva Jardim, rio Cotejipe, rio Sarandi, rio Capanema e rio Santo Antônio.

2. 2. Materiais

As análises foram realizadas utilizando o Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS versão 2.8 *Wien*, com os complementos: *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM) versão 5 (TARBOTON, 2015). Para obter as variáveis morfométricas da bacia, foi utilizado o programa *Idrisi* (2016) com o complemento *Gestión Integrada del Agua con Idrisi* (GIAI).

Para a delimitação das bacias de cada rio analisado, foram utilizadas seis imagens do sensor *ASTER GDEM* (*ASTER GDEM* é um produto do METI e NASA) denominadas *ASTGTM2_S25W054_dem*, *ASTGTM2_S25W055_dem*, *ASTGTM2_S26W054_dem*, *ASTGTM2_S26W055_dem*, *ASTGTM2_S27W054_dem*, *ASTGTM2_S27W055_dem* obtidas da *United States Geological Survey* (USGS) concebidas em 2011. Para comparação posterior da hidrografia, foram obtidos dados da Agência Nacional de Águas (ANA), do ano de 2015, criados por meio de cartografia digital para a bacia do Rio Iguaçu, das bases cartográficas recentes elaboradas pelos Estados do Paraná e Santa Catarina (ANA, 2015).

Para a classificação multiespectral, foram utilizadas 3 bandas (4 - *red*, 3 - *green* e 2 - *blue*) de uma imagem do sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI) *Sentinel-2A*, obtida pela *European Space Agency* (ESA), com resolução espacial de 10 m, criada em 2016. Para analisá-las, foram utilizados os programas QGIS 2.8 (QGIS Mapserver 2015) e o *MultiSpec* 3.4 (BIEHL & LANDGREBE, 2002).

Após o processamento das imagens, foram obtidas as áreas por cada classe de uso e ocupação, que foram transformadas em porcentagem. Em seguida, o programa *Primer 6* (CLARKE, 1993) foi utilizado para a criação da análise de agrupamento (*Cluster*), e o gráfico que representa os grupos formados de porcentagem de área em cada bacia. Com essas informações obtidas, foi possível inferir quais bacias apresentam maior preservação ambiental, com base nos dados de área em cada classe, da análise de classificação.

2. 3. Métodos

2. 3. 1. Delimitação das bacias

Para obtenção das áreas de drenagem das bacias, foram utilizadas seis imagens ASTER processadas no ambiente SIG com auxílio do software QGIS versão 2.8, com o Sistema de Referência Geocêntrico Mundial (WGS 84) UTM zona 22 S. Após esse procedimento, as imagens foram unidas, para posterior extração da área de interesse.

O complemento *TauDEM* (TARBOTON, 2015) deriva informações hidrológicamente úteis a partir de dados MDE, possui vários algoritmos e funciona como

complemento do QGIS. Em seguida, os dados foram submetidos ao processo de análise morfométrica para obtenção da hierarquia fluvial segundo método de Strahler (1952), cursos de água e área. Após a delimitação, os dados foram comparados com dados de hidrografia obtidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), em 2015 e submetidos a vários índices, para a descrição das características conforme estabelecidas no Quadro 1.

Quadro 1: Variáveis morfométricas e suas respectivas unidades de medidas.

Características geométricas	Sigla / Fórmula	Significado
Área total	$At (Km^2)$	-
Perímetro total	$Pt (Km^2)$	-
Coefficiente de compacidade (GRAVELIUS, 1914 apud BENDJOUDI; HUBERT, 2002)	$Kc=0,28 P/\sqrt{A}$	Kc=coeficiente de compacidade, P=perímetro e A=área da bacia
Fator de forma (GRAVELIUS)CITAR ANO	$Kf=A/L^2$	Kf=fator de forma, A=área da bacia e L=comprimento da bacia ao quadrado
Índice de circularidade (MILLER, 1953)	$Ic=(12,57*A)/P^2$	Ic=índice de circularidade, A=área da bacia e Perímetro da bacia ao quadrado
Padrão de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980)	Pd	-
Características do relevo		
Altitude inicial	$Ai(Msnm - metros sobre o nível do mar)$	-
Altitude média	$Am (Msnm)$	-
Elevação média	$Em (Msnm)$	-
Declividade média em graus	$Dmg (Graus)$	-
Declividade média em porcentagem	$Dmp (Porcentagem)$	-
Características da rede de drenagem		
Número de rios total	N	-
Número de rios por ordem (STHRALER, 1952)	No	-
Comprimento verdadeiro do rio principal	$Crp (Km)$	-
Comprimento direto do rio principal (linha reta traçada da foz até a nascente mais distante)	$Crpd (Km)$	-
Comprimento total dos rios	$Ct (Km)$	-
Densidade de rios (HORTON, 1945), com a hierarquia (STHRALER, 1952), 1ª ordem	$Dr=N/A$	Dr= densidade de rios, N=número total de rios na bacia e A=área da bacia]
Densidade de drenagem (HORTON, 1945)	$Dd=Lt/A$	Dd=densidade de drenagem, Lt=comprimento total dos canais e A=área da bacia
Coefficiente de manutenção (SCHUMM, 1956)	$Cm=1/Dd*1001$	Cm=coeficiente de manutenção, Dr=densidade de drenagem
Índice de sinuosidade (SCHUMM, 1963)	$Is=L/Dv$	Is=índice de sinuosidade, L=comprimento do canal principal e Dv=distância

2.3.2. Características geométricas

Os padrões de drenagem estão relacionados à disposição espacial dos cursos fluviais. Estes cursos são influenciados pela natureza e disposição das camadas rochosas, declividade, altimetria, evolução geológica e geomorfológica da região (MIOTO et al., 2014).

Do ponto de vista geométrico, têm-se os seguintes padrões de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980 apud MIOTO et al., 2014): dendrítico (regiões de estruturas sedimentares horizontais com rochas de resistência uniforme); treliça (regiões de estruturas sedimentares homoclinais, em estruturas falhadas e nas cristas com sentidos opostos); paralela (regiões com forte controle estrutural e vertentes escarpadas); radial (pode se desenvolver sobre variados embasamentos e estruturas), com forma centrífuga e centrípeta; anelar (estruturas com camadas duras e frágeis).

Para determinação da forma das bacias (Quadro 1), foram utilizados os índices fator de forma (K_f), coeficiente de compacidade (K_c) e o índice de circularidade (I_c). A forma superficial da bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração necessário para que a bacia contribua para a sua saída após a precipitação (TONELLO et al., 2006).

O primeiro índice utilizado foi o K_f , que relaciona a forma da bacia com a de um retângulo (OLIVEIRA et al., 2010). É a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Mede-se o comprimento da bacia (L) quando se segue o curso de água mais longo desde a desembocadura até a cabeceira mais distante na bacia. A largura média (\bar{L}) é obtida dividindo a área pelo comprimento da bacia. Sua fórmula final, apresenta a divisão da área (Km^2) pelo comprimento ao quadrado (Km). Com fator de forma baixo a bacia possui menor tendência a enchentes em comparação com outra de mesmo tamanho, mas com fator de forma maior (VILLELA & MATTOS, 1975).

Posteriormente, calculou-se o coeficiente de compacidade (K_c), que relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (TONELLO, 2006). Bacias com forma aproximada à de um círculo tendem a direcionar o escoamento superficial para um trecho pequeno do rio principal. Portanto, quanto mais próximo a 1 for o resultado, maior a potencialidade de picos de enchentes na bacia hidrográfica (OLIVEIRA, 2010).

Posteriormente, calculou-se o índice de circularidade (I_c), que em conjunto ao K_c , tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada. É a relação entre a área total da bacia e um círculo de perímetro igual a área da bacia ao quadrado. (CARDOSO et al., 2006; TONELLO et al., 2006). Para o

I_c , valores menores que 0,51 indicam que a bacia tende a forma alongada. Valores maiores sugerem que a bacia tende a ser circular, favorecendo os processos de inundação (SCHUMM, 1956).

2.3.3. Características de relevo

Para determinar as características de relevo (Quadro 1), foram calculadas a altitude inicial (A_i), altitude média (A_m), elevação média (E_m) e declividade média (D_m) com o programa *Idrisi* com o módulo *GLAI*. Os mapas de declividade foram realizados utilizando as classes definidas pela EMBRAPA (1979) (Tabela 1).

Tabela 1: Classes de declividade do terreno, segundo a EMBRAPA (1979).

Declividade	Descrição
0 - 3%	Relevo plano
3 - 8%	Relevo suave ondulado
8 - 20%	Relevo ondulado
20 - 45%	Relevo fortemente ondulado
45 - 75%	Relevo montanhoso
> 75%	Relevo fortemente montanhoso

A declividade do terreno é expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa (TONELLO et al., 2006). Foram realizados mapas de declividade em conjunto com o sistema fluvial e sua respectiva hierarquia. As bacias foram reunidas e distribuídas entre margem esquerda e direita do rio Iguaçu, devido a quantidade de bacias estudadas.

2.3.4. Características de rede de drenagem

Com os dados de rede de drenagem, foi obtido o número de rios (N), o comprimento verdadeiro do rio principal (C_{vr}), o comprimento direto do rio principal (C_{dr}), número dos cursos por ordem (N_o) e o comprimento total dos rios (C_t) identificados em cada bacia (Quadro 1). Outros índices foram utilizados para o entendimento dos processos hidrológicos que ocorrem com a rede fluvial em cada bacia.

Entre eles, foi calculada a densidade de rios (D_r), que é a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica (HORTON, 1945). Sua finalidade foi comparar a frequência ou a quantidade de nascentes existentes em uma área de tamanho padrão (Km^2), importante por representar o comportamento hidrográfico de determinada área, estimando a capacidade de gerar novos canais (CHRISTOFOLLETTI, 1979).

Posteriormente, calculou-se a densidade de drenagem (D_d) definida por Horton (1945), que relaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia

hidrográfica. Essa análise indica o nível de desenvolvimento do sistema de drenagem da bacia hidrográfica, revelando sua eficiência (OLIVEIRA et al., 2010). Segundo Lana, Alves & Castro (2001), se relaciona com processos climáticos na área estudada, para um mesmo tipo de clima, a Dd depende do comportamento hidrológico das rochas. Em relevos mais impermeáveis, as condições para o escoamento superficial são melhores, possibilitando a formação de canais e, aumentando a densidade de drenagem (LANA, ALVES & CASTRO, 2001).

Em seguida, calculou-se o coeficiente de manutenção (Cm) proposto por Schumm (1956). O autor afirma ser a expressão quantitativa de um dos valores numéricos mais importantes característicos de um sistema de drenagem: a área mínima de limitação necessária para o desenvolvimento de cada metro de canal de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1979) (SANTOS et al., 2012). Junto com a Dd , esta constante pode comparar a erodibilidade ou outros fatores que afetam a erosão superficial e desenvolvimento da rede de drenagem. O comprimento do fluxo terrestre é igual ao recíproco de duas vezes a densidade de drenagem (SCHUMM, 1956).

Além desses, calculou-se o índice de sinuosidade (Is), proposto por Schumm (1963). As correntes sinuosas são caracterizadas por baixa relação largura-profundidade, alta porcentagem de silte-argila no perímetro do canal, nos bancos, e gradiente mais baixo do que canais retos com a mesma descarga média. Este índice relaciona o comprimento verdadeiro do canal principal com a distância vetorial entre os extremos do canal. Valores próximos a 1,0 indicam a tendência do canal a ser retilíneo. Valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares (LANA, ALVES & CASTRO, 2001).

2. 4. Uso e ocupação do solo

Com as informações básicas das bacias obtidas, foi possível recortar a imagem obtida pela área, criando um arquivo de área com os objetos da superfície terrestre, para cada bacia da região de estudo. Posteriormente, foram feitas análises de pré-processamento para correções de área com pixels 0, e o Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) para o *World Geographical System 1984* (WGS 84 UTM) plano e importadas para o programa *MultiSpec* para a classificação.

Posteriormente, foi realizada a amostragem das áreas de interesse para cada bacia. Essas áreas foram agrupadas em 5 classes que representaram os objetos da superfície terrestre. As classes obtidas foram: área urbana (1), solo exposto (2), vegetação preservada (3), área

agrícola (4) e área de pastagem (5). Em seguida, essas amostras foram testadas com o método de validação cruzada, que é um tipo de análise que testa internamente a performance dos resultados da classificação para cada bacia (MORIN & DAVIS, 2016). Usando este método, foi possível localizar amostras não condizentes com o grupo espectral a ser amostrado, e corrigir esses valores, realizando novas amostragens.

O método de Máxima Verossimilhança (MAXVER) foi utilizado para classificar as áreas na imagem. É um classificador paramétrico, que assume uma distribuição espacial de probabilidade, normalmente uma distribuição Gaussiana dos dados, determinando parâmetros como média e matriz de covariância com base nos dados da amostragem espectral (BRASILEIRO et al., 2016). A confiabilidade da classificação fica condicionada a alguns fatores, destacando-se a adequada escolha das amostras espectrais, que devem ser representativas e compostas por pixels com características homogêneas, distribuídas em classes de boa separabilidade espectral (PINHEIRO et al., 2011). A baixa amostragem leva o algoritmo a alocar pixels em classes indevidas, aumentando a imprecisão da classificação (BRASILEIRO et al., 2016).

Após essa etapa, usando o método de Landis & Koch (1977), que descreve a força de acordo associado a estatística *Kappa*, segue uma classificação de 0,00 a 1,00. Mas para ser considerada precisa o suficiente, as classes devem obter o valor acima de 0,80, que representa uma classificação quase perfeita (Tabela 2).

Tabela 2: Classes de força de avaliação de acordo com o valor *Kappa* segundo Landis & Koch (1977).

Estatística Kappa	Força do acordo
<0.00	Pobre
0.00-0.20	Leve
0.21-0.40	Justo
0.41-0.60	Moderado
0.61-0.80	Substancial
0.81-1.00	Quase Perfeito

Após a verificação e correção das classes, os dados referentes a quantificação de área em hectares e porcentagem foram obtidos. Os dados de porcentagem de área preenchida para cada bacia foram importados para o programa *Primer* versão 6 e submetidos ao processamento para a análise de agrupamento hierárquico.

Neste método, a similaridade usada para juntar agrupamentos é calculada como a soma dos quadrados entre os agrupamentos somados sobre todas as variáveis (HAIR, et al., 2005), utilizado para agrupar as bacias que apresentarem semelhanças entre si, pela

porcentagem de área de cada classe. Por meio dos grupos formados, foi possível definir qual grupo de bacias é o mais preservado ambientalmente.

Em conjunto a essa análise, foi executado a rotina SIMPROF (perfil de semelhança), que testa a evidência de estrutura em um conjunto de amostras *a priori* não estruturado. Em combinação com agrupamento, utilizado para condensar subestruturas específicas no dendrograma (CLARKE, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3. 1. Análise de bacias

3. 1. 1. Características geométricas

As bacias apresentam drenagem dendrítica, pois os canais apresentam formato arborescente (Tabela 3). A bacia Capanema possui maior área (1.977 Km²) e perímetro (384 Km), seguida pelo Andrada, com área (1.400 Km²) e perímetro (297 Km). A bacia que possui menor área e perímetro é a bacia Monteiro, com 113,39 Km² e 75,18 Km. No entanto, sabe-se que bacias hidrográficas sofrem processos dinâmicos, podendo ocasionar alterações no seu perímetro e área, que pode variar ao longo do tempo.

As bacias analisadas em geral possuem maior tempo de concentração de água da chuva, pois o K_c apresentou valores afastados da unidade e o fator de forma exibiu valores baixos para todas as bacias. Esses valores indicam que as bacias não possuem formatos semelhantes ao de um círculo, sendo bacias alongadas.

Os resultados obtidos podem ser comprovados pelo índice de circularidade, que apresentou valores muito distantes da unidade. Este resultado confirma com as inferências propostas por Tonello et al. (2006), e Miotto (2014), com resultados semelhantes, relacionados ao tempo de concentração maior, formas alongadas e pouca tendência a enchentes.

3. 1. 2. Características de relevo

Os resultados correspondentes a A_i , A_m , E_m e D_m (Tabela 4) mostraram que a bacia do rio Cotejipe apresenta os maiores valores para A_i (766 m) e A_m (268 m). A bacia do rio Monteiro possui a menor A_i (478 m) e a bacia do rio Santo Antônio possui o menor valor para A_m (208 m). A bacia do rio Capanema apresenta a maior D_m (19,91%), seguida pela bacia do rio Cotejipe (16,77%). Este resultado atesta com o mapa de declividade (Figura 2).

Tabela 3: Variáveis morfométricas analisadas para as nove bacias hidrográficas.

Características geométricas	Unidades-síglas	Andrada	Capanema	Cotejipe	Florianópolis	Gonçalves Dias	Monteiro	Santo Antônio	Sarandi	Silva Jardim
Área total	At (Km ²)	1400,52	1967,43	634,68	676,56	494,34	113,39	1279,27	228,35	572,64
Perímetro total	Pt (Km)	297,42	384,12	229,20	212,10	218,28	75,18	271,80	146,76	187,86
Coefficiente de compactidade (GRAVELIUS, 1914 apud BENDJOUDI, HUBERT, 2002)	Kc	2,24	2,44	2,57	2,30	2,77	1,99	2,14	2,74	2,21
Fator de forma (GRAVELIUS)	Kf	0,07	0,05	0,03	0,06	0,06	0,12	0,07	0,05	0,11
Índice de circularidade (MILLER, 1953)	Ic	0,20	0,17	0,15	0,19	0,13	0,25	0,22	0,13	0,20
Padrão de drenagem (CHRISTOFLETTI, 1980)	Pd	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico	Dendrítico
Características do relevo										
Altitude inicial	Ai (Msnm-metros sobre o nível do mar)	714,00	671,00	766,00	678,00	741,00	478,00	558,00	608,00	548,00
Altitude média	Am (msnm)	262,00	260,00	268,00	224,00	251,00	252,00	208,00	268,00	221,00
Elevação média	Em (msnm)	576,62	535,07	533,39	450,45	490,64	370,67	399,97	457,11	365,57
Declividade média em graus	Dmg (graus(°))	8,90	11,06	9,38	7,90	8,42	7,55	7,19	6,76	6,94
Declividade média em porcentagem	Dmp (Porcentagem (%))	15,90	19,91	16,77	14,02	14,98	13,37	12,76	11,97	12,30
Características da rede de drenagem										
Número de rios	N	2.446,00	3.104,00	1.061,00	1.092,00	875,00	202,00	2.325,00	392,00	1.062,00
Número de rios por ordem (STHRALER, 1952)	No	1 ^a -1.942, 2 ^a -392, 3 ^a -91, 4 ^a -16, 5 ^a -4, 6 ^a -1	1 ^a -2.466, 2 ^a -501, 3 ^a -107, 4 ^a -21, 5 ^a -6, 6 ^a -2, 7 ^a -1	1 ^a -848, 2 ^a -176, 3 ^a -32, 4 ^a -4, 5 ^a -1	1 ^a -878, 2 ^a -166, 3 ^a -38, 4 ^a -9, 5 ^a -1	1 ^a -689, 2 ^a -142, 3 ^a -34, 4 ^a -9, 5 ^a -1	1 ^a -156, 2 ^a -33, 3 ^a -10, 4 ^a -2, 5 ^a -1	1 ^a -1.866, 2 ^a -358, 3 ^a -83, 4 ^a -14, 5 ^a -3, 6 ^a -1	1 ^a -314, 2 ^a -65, 3 ^a -10, 4 ^a -2, 5 ^a -1	1 ^a -830, 2 ^a -177, 3 ^a -44, 4 ^a -8, 5 ^a -2, 6 ^a -1
Comprimento verdadeiro do rio principal	Cvr (Km)	145,10	199,17	138,09	108,43	93,80	30,61	130,87	67,34	72,28
Comprimento direto do rio principal (linha reta traçada da foz até a nascente mais distante)	Cdr (Km)	62,86	80,19	57,87	52,02	52,29	18,54	63,38	35,86	44,36
Comprimento total dos rios	Ct (Km)	2.022,34	2.844,24	959,07	969,05	717,91	172,02	1.943,17	350,89	857,89
Densidade de rios (HORTON, 1945), com a hierarquia (STHRALER, 1952), 1ª ordem	Dr	1,39	1,25	1,34	1,30	1,39	1,38	1,46	1,38	1,45
Densidade de drenagem (HORTON, 1945)	Dd	1,44	1,45	1,51	1,43	1,45	1,52	1,52	1,54	1,50
Coefficiente de manutenção (SCHUMM, 1956)	Cm (m ²)	692,52	691,73	661,77	698,17	688,58	659,17	658,34	650,77	667,49
Índice de sinuosidade (SCHUMM, 1963)	Is	2,31	2,48	2,39	2,08	1,79	1,65	2,06	1,88	1,63

Quase todas as bacias apresentaram relevo ondulado (8 a 20%), com exceção da bacia do rio Capanema, que apresentou o relevo forte ondulado, possuindo maior declividade em sua cabeceira. A bacia do rio Sarandi apresenta menor *Dm* (11,97%). Os mapas de declividade estão representados nas figuras 2 e 3. A bacia do rio Capanema apresenta maior área com relevo forte ondulado (40,58%), relevo montanhoso (4,02%) e escarpado (0,06%) (Tabela 5). Essa informação também é representada no mapa de declividade (Figura 2).

As bacias dos rios Sarandi e Silva Jardim não apresentaram relevo escarpado, evidenciando que suas áreas possuem declividade menor em relação as demais bacias, sendo que a bacia Sarandi possui 10,02% de sua área plana e a bacia Silva Jardim possui 10,64% de sua área com relevo plano. O conhecimento do relevo da superfície terrestre em bacias hidrográficas é importante, para o monitoramento de áreas com possíveis riscos ambientais, (principalmente nas bacias dos rios Capanema, Andrada e Cotejipe) associados à sua declividade, como locais suscetíveis à desabamentos, erosões e assoreamentos.

Tabela 4: Porcentagem de áreas de declividade distribuídas pelas classes de declividade para as bacias hidrográficas analisadas.

Classes de declividade	Bacias Hidrográficas								
	Andrada	Capanema	Cotejipe	Floriano	Gonçalves Dias	Monteiro	Santo Antônio	Sarandi	Silva Jardim
1-Plano (0-3%)	6,4023	5,6051	6,5685	6,0019	6,2148	7,6369	9,3478	10,0270	10,6419
2-Suave ondulado (3-8%)	18,3191	12,2217	16,4393	19,7149	17,8705	21,4704	24,2846	26,4868	25,3915
3-Ondulado (8-20%)	46,7084	37,5035	43,5811	52,5436	50,0704	51,6495	48,4122	49,1482	47,1151
4-Forte ondulado (20-45%)	26,5859	40,5843	31,5442	21,1798	24,9907	18,9501	17,4332	13,7157	16,3011
5-Montanhoso (45-75%)	1,9678	4,0207	1,8488	0,5578	0,8534	0,2915	0,5199	0,6223	0,5504
6-Escarpado (>75%)	0,0164	0,0647	0,0182	0,0020	0,0002	0,0016	0,0023	-	-
Total (%)	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

3. 1. 2. Características da rede de drenagem

Os resultados obtidos para as características de rede de drenagem mostraram que a bacia Capanema possui maiores valores para as cinco primeiras variáveis obtidas, com *N* (3.104), *No* (1^a-2.466, 2^a-501, 3^a-107, 4^a-21, 5^a-6, 6^a-2, 7^a-1), *Cvr* (199 Km), *Cdr* (80 Km) e *Ct* (2.844,24 Km) (Tabela 3). Esses valores eram esperados, pois esta bacia possui maior área entre todas as bacias analisadas, além de sua hierarquia fluvial alcançar a sétima ordem (Tabela 3). A bacia Monteiro apresenta os menores valores para as variáveis *N* (202), *No* (1^a-156, 2^a-33, 3^a-10, 4^a-2, 5^a-1), *Cvr* (30,61 Km), *Cdr* (18,54 Km) e *Ct* (172,02 Km).

Em seguida, os dados foram comparados visualmente com os dados obtidos da ANA (Figura 4), e notou-se que os dados obtidos apresentaram menor precisão, pelo fato de ser obtido de um MDE de 30 m, disponibilizado em 2011. Como os dados ANA foram atualizados em 2015, e feitos a partir da cartografia, são mais precisos e utilizados para pequenas escalas. Os dados obtidos são mais apropriados para grandes escalas, mas a delimitação foi realizada

para quantificar preferencialmente os rios perenes, buscando maior acurácia com a realidade, para rios que permanecem fluindo durante todo o ano.

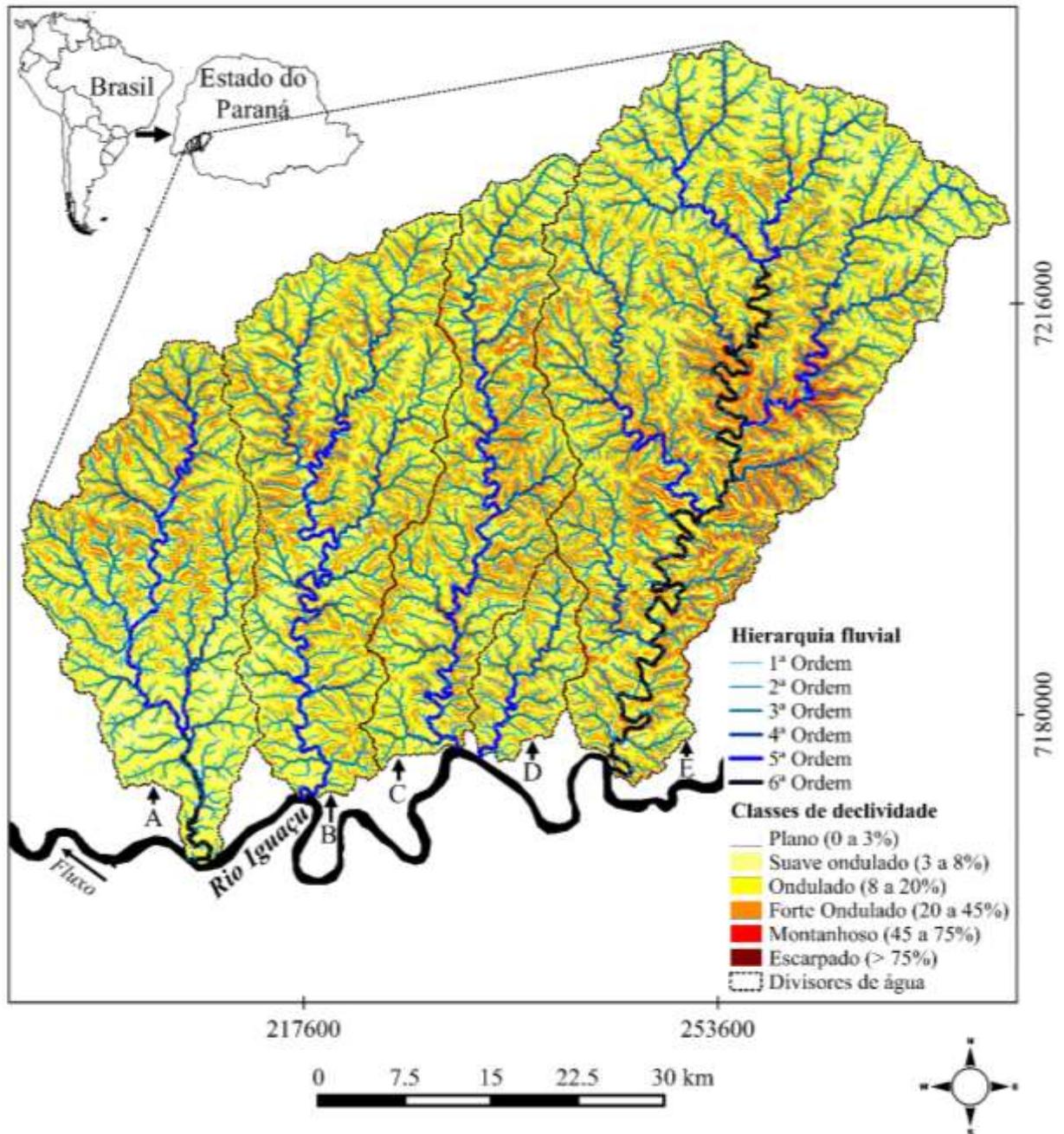


Figura 2: Representação cartográfica da declividade nas bacias estudadas na margem direita do rio Iguaçu e sua hierarquia fluvial. Cada letra representa uma bacia, sendo: A = Silva Jardim, B = Floriano, C = Gonçalves Dias, D = Monteiro e E = Andrada.

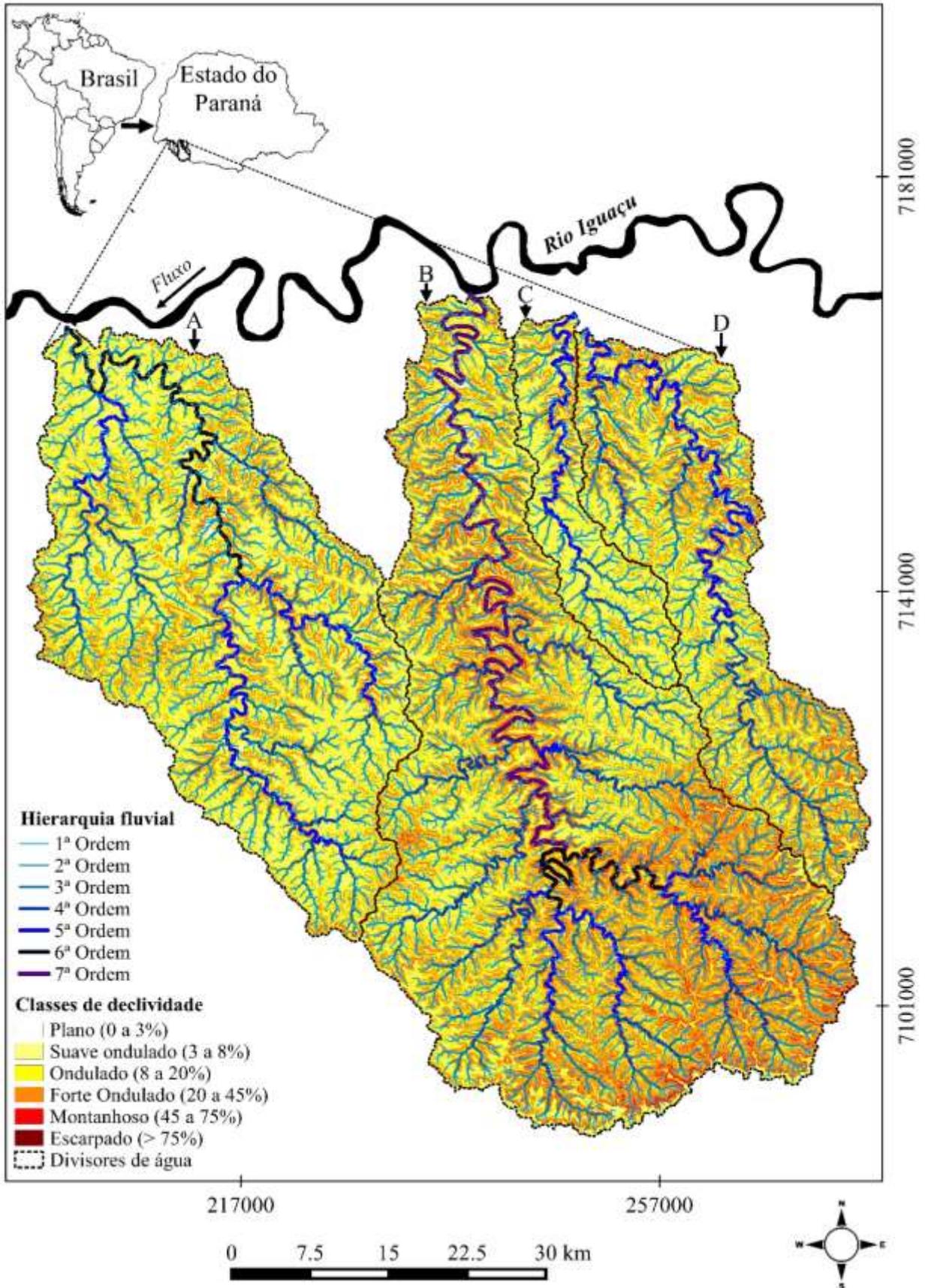


Figura 3: Representação cartográfica da declividade nas bacias estudadas na margem direita do rio Iguazu e sua hierarquia fluvial. Cada letra representa uma bacia, sendo: A = Santo Antônio, B = Capanema, C = Sarandi, D = Cotejipe.

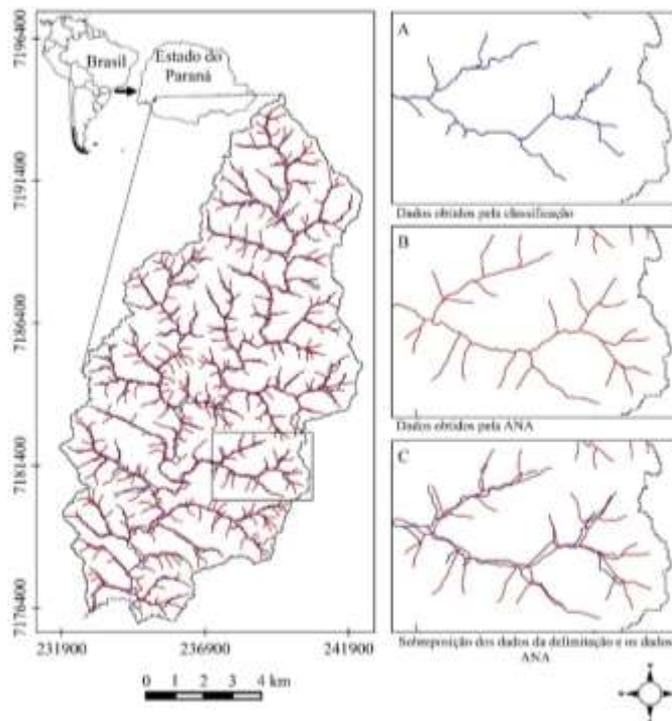


Figura 4: Hidrografia da bacia do Rio Monteiro, com os dados obtidos pela delimitação (A) e os dados obtidos da ANA (B). O mapa C representa os dados sobrepostos.

Os dados da ANA (2015) apresentaram maior quantidade de nascentes em relação aos resultados obtidos, mas aparentemente esses dados foram quantificados buscando os rios perenes e efêmeros, devido à alta quantidade de nascentes presentes. Para os dados, buscou-se adquirir somente os rios perenes, o que explicam as diferenças entre os dois tipos de dado.

A bacia do rio Santo Antônio obteve maior Dr (1,46 rios por Km^2), e a bacia do rio Capanema apresentou menor Dr (1,25 rios por Km^2). Esta bacia contém maior número de rios entre todas. O resultado coincide ao proposto por Horton (1952), em que a Dr pode variar muito dependendo da quantidade de área que a bacia possui. Este efeito pode ser mascarado pelo aumento da densidade de drenagem e frequência de corrente nas encostas mais íngremes, geralmente adjacentes a bacias de drenagem menores.

A Dd mostrou que a bacia do rio Sarandi apresenta maior valor (1,54 Km/Km^2) e a bacia do rio Floriano apresentou menor valor (1,43 Km/Km^2). Segundo Villela & Mattos (1975) a Dd de uma bacia pode variar entre 0,5 km/km^2 em bacias com menor capacidade e 3,5 km/km^2 em bacias com maior capacidade. O índice revelou que as bacias em geral possuem drenagem intermediária a pobre. Comparando aos resultados obtidos por Cardoso et al. (2006), sua Dd obtida foi maior (2,35 Km/Km^2), indicando ser uma drenagem intermediária. Mioto (2014) encontrou valor menor em relação aos resultados obtidos (0,72 Km/Km^2), portanto trata-se de uma região com intermediária a baixa capacidade de drenagem em geral.

Valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação (TONELLO et al., 2006). O comportamento hidrológico das rochas possui influência sobre a *Dd*. Segundo Christofolletti (1980), as rochas onde a infiltração encontra maior dificuldade há condições melhores para o escoamento superficial. Essa característica garante possibilidades para a esculturação de canais, como entre rochas de granulação fina, gerando uma densidade de drenagem mais elevada. O contrário ocorre com as rochas de granulometria grossa, que possuem capacidades de infiltração maiores, garantindo a capacidade de drenagem menos elevada.

O *Cm* da bacia do rio Floriano obteve o maior valor (698, 17 m²/m), seguido pela bacia do rio Andrada (692, 52 m²/m). A bacia do rio Sarandi apresentou menor *Cm* (650, 77 m²/m) seguida pela bacia do rio Santo Antônio (658, 34 m²/m). Esses valores representam a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Comparando o maior valor obtido com o resultado de Stipp, Campos e Caviglione (2010), obtiveram *Cm* alto, coincidindo com a *Dr*, que apresentou valor alto, atribuindo este resultado as baixas declividades e boa capacidade de recarga hídrica.

Isso pode ocorrer na área de estudo, pois algumas bacias apresentam declividades menores em grande parte de sua área, como a bacia dos rios Floriano e Andrada (Tabela 4). A bacia do rio Floriano obteve maior área com relevo ondulado, e uma *Dr* alta (1, 30 rios por Km²) possuindo influência no *Cm*, apresentou maior área para manutenção de um metro de canal de escoamento. No caso da bacia do rio Andrada, com relevo ondulado de 46,70%, possuindo declividade baixa em maioria, mas também influenciou muito o *Cm*.

O *Is* obtido mostrou que a bacia do rio Capanema apresentou maior valor (2,48) sugerindo que o canal principal é tortuoso. Além desse resultado, valores superiores a 2,0 sugerem canais com alta sinuosidade. Isso é apresentado pelas bacias dos rios Andrada (2,31), Cotejipe (2,39), Floriano (2,08) e Santo Antônio (2,06). As outras bacias apresentam valores intermediários, podendo indicar que suas formas pouco sinuosas, sendo que a bacia do rio Silva Jardim apresentou menor *Is* (1,63).

Estudos de Lana, Alves & Castro, (2001), obtiveram *Is* acima de 2,0, mostrando que a bacia estudada possui tendência a sinuosidade. Eles inferem que a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, que podem se acumular, compartimentação litológica, estruturação geológica e declividade dos canais, ocorrendo nas bacias que apresentam alta sinuosidade.

3. 2. Resultados do uso e ocupação do solo

A classificação evidenciou que a classe de área agrícola foi mais representativa nas bacias dos rios Monteiro, Andrada e Cotejipe. O coeficiente *Kappa* usado para verificar a precisão da classificação, apresentou valores de 99,4 a 99,9% entre as bacias. O teste apresentou boa acurácia para as classes formadas, segundo Landis e Koch (1977). Esse resultado foi um pouco maior em relação ao de Yuan et al. (2011), com sua classificação, mas as classes definidas por ele e o tipo de imagem utilizada foram diferentes do que os utilizados neste estudo.

A classe de vegetação apresentou maiores valores nas bacias dos rios Silva Jardim, Floriano, Gonçalves Dias e Santo Antônio (Tabelas 6 e 7). Vale lembrar que parte do Parque Nacional do Iguaçu (PNI) encontra-se no local de estudo (Figura 5). A classe agrícola apresentou maiores resultados para as bacias dos Rios Monteiro, Andrada, Sarandi e Cotejipe. A classe pastagem apresentou maior resultado apenas para a bacia do rio Capanema. A classe de solo exposto obteve pouquíssimo resultado de área de uso no local de estudo, seguida pela classe de área urbana (Figuras 5 e 6).

Tabela 6: Áreas das classes de uso e ocupação do solo em hectares para cada bacia hidrográfica.

Bacias	Área urbana (ha)	Solo exposto (ha)	Vegetação (ha)	Pastagem (ha)	Agrícola (ha)	Total (ha)
Silva Jardim	68,57	48,56	26.283,29	9.459,19	21.413,40	57.273,01
Floriano	58,62	0,17	67.187,60	157,53	251,67	67.655,59
Gonçalves Dias	245,14	13,93	28.826,68	7.775,68	12.572,37	49.433,80
Monteiro	275,94	106,80	2.075,79	3.107,12	5.773,43	11.339,08
Andrada	2.839,16	405,93	39.472,28	34.449,66	62.883,48	140.050,51
Santo Antônio	1.193,94	181,08	49.153,92	29.451,95	47.944,57	127.925,46
Capanema	880,03	456,32	56.582,76	100.664,02	38.155,33	196.738,46
Sarandi	731,34	22,65	3.300,29	3.066,94	15.713,22	22.834,44
Cotejipe	32,67	28,54	15.889,50	21.701,12	25.809,91	63.461,74
Total (ha)	6.325,41	1.263,98	288.772,11	209.833,21	230.517,38	736.712,09

Tabela 7: Porcentagem de áreas das classes de uso e ocupação do solo para cada bacia hidrográfica.

Bacias	Área urbana (%)	Solo exposto (%)	Vegetação (%)	Pastagem (%)	Agrícola (%)	Total (%)
Silva Jardim	0,1197	0,0848	45,8912	16,5160	37,3883	100
Floriano	0,0866	0,0003	99,3083	0,2328	0,3720	100
Gonçalves Dias	0,4959	0,0282	58,3137	15,7295	25,4327	100
Monteiro	2,4335	0,9419	18,3065	27,4019	50,9162	100
Andrada	2,0272	0,2898	28,1843	24,5980	44,9006	100
Santo Antônio	0,9333	0,1416	38,4239	23,0227	37,4785	100
Capanema	0,4473	0,2319	28,7604	51,1664	19,3939	100
Sarandi	3,2028	0,0992	14,4531	13,4312	68,8137	100
Cotejipe	0,0515	0,0450	25,0379	34,1956	40,6700	100

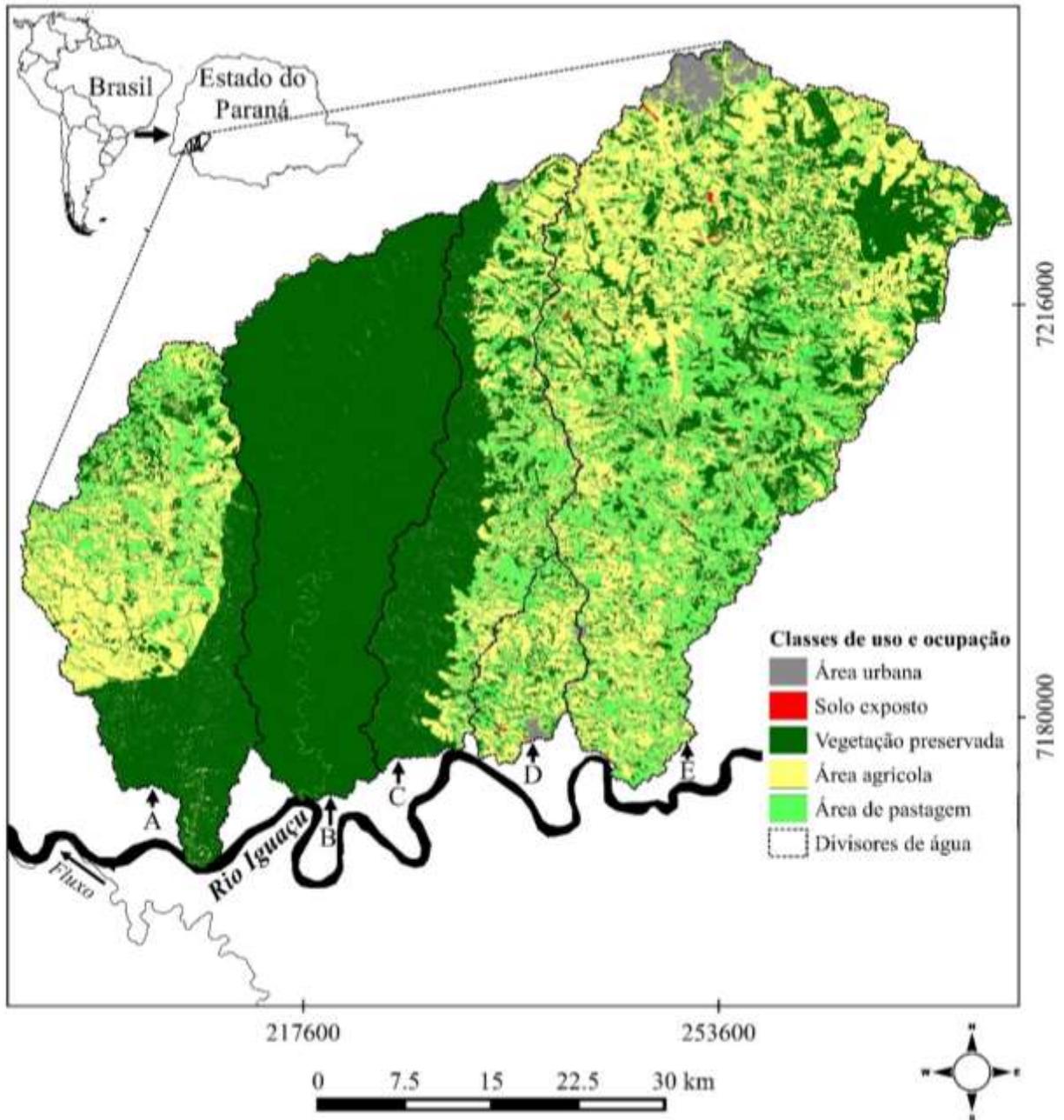


Figura 5: Representação cartográfica do uso e ocupação do solo nas bacias estudadas na margem direita do rio Iguçu. Cada letra representa uma bacia, sendo: A = Silva Jardim, B = Floriano, C = Gonçalves Dias, D = Monteiro e E = Andrada.

A bacia do Rio Floriano apresentou maior quantidade de vegetação, pois em seu território está presente uma área de proteção ambiental (PNI) e nas áreas de vegetação preservada presente no local, visualiza-se alguns pontos claros. Esses pontos fazem parte do erro presente para a classificação, conforme sua acurácia obtida. Vale lembrar que a imagem utilizada foi obtida logo após o lançamento do satélite Sentinel-2 e o período em que foram amostrados os dados pelo sensor, foi uma época de plantação em que a área agrícola estava refletindo comprimentos de onda na escala do verde.

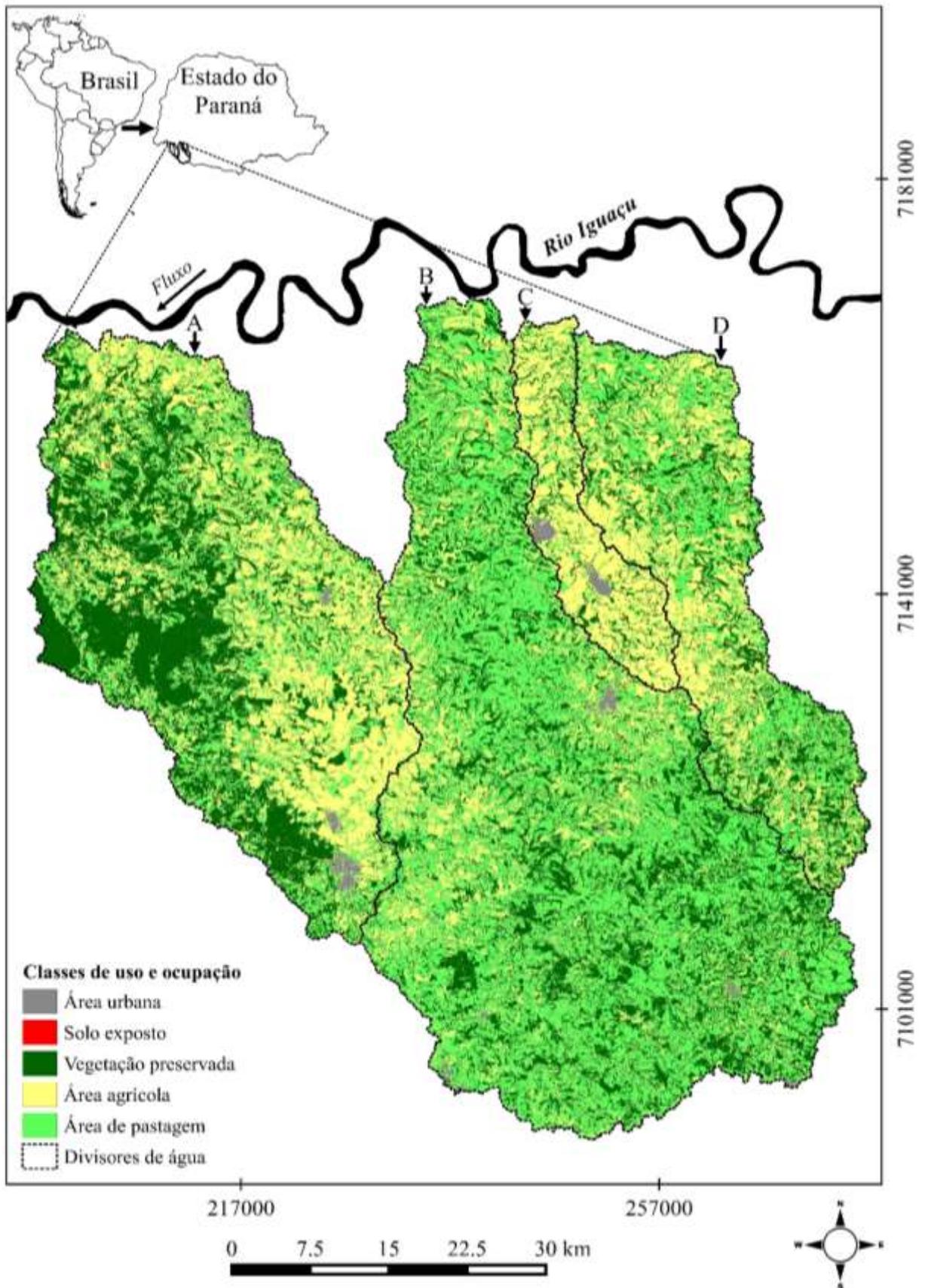


Figura 6: Representação cartográfica do uso e ocupação do solo nas bacias estudadas na margem direita do rio Iguaçu e sua hierarquia fluvial. Cada letra representa uma bacia, sendo: A = Santo Antônio, B = Capanema, C = Sarandi, D = Cotejipe.

Esse fator apresentou um certo desafio, por esse comprimento de onda ser semelhante ao comprimento de onda refletido pela vegetação. No entanto, foi possível separar a classe vegetação da classe área agrícola com certa precisão. Devido a esse fator, o período de extração das informações para a criação da imagem é muito importante, dependendo dos objetivos do estudo. A classificação satisfaz os resultados obtidos.

Foram realizadas visitas em trechos dos rios principais em cada bacia. Foram visualizados vários locais nas margens dos rios, sem presença ou com pouca vegetação ao entorno, em que a pastagem ocupou grande parte dessas regiões. No entanto, para a manutenção e preservação dessas regiões, a existência de cerca de duas vezes mais matas nativas do que pastagem nas faixas próximas dos cursos de água pode minimizar esse efeito negativo (PINHEIRO, 2011).

A bacia do rio Capanema apresentou alta declividade em sua cabeceira (Figura 2), e áreas muito declivosas são pouco utilizadas para agricultura, pois são áreas suscetíveis a erosão. Por causa desse fator, provavelmente a bacia do rio Capanema possui boa parte de sua área como área de pastagem devido à presença de altas declividades em sua região. Outro exemplo é a bacia do rio Sarandi, que apresentou boa parte de sua área com baixa declividade coberta pela classe de área agrícola.

Segundo Pinheiro et al. (2011), áreas com boa condição para agricultura devem possuir solo com maior fertilidade, ser arável e drenado, além de apresentar baixa declividade. Além disso, devem ser incentivadas a introdução de métodos racionais no sistema de produção, visando ao aumento da produtividade, melhoria do padrão de vida das populações rurais e à adequada conservação do solo e preservação do meio ambiente (LEI N° 8.171, 1991.). Devido a esse fator, provavelmente a bacia do rio Capanema apresentou menor área agrícola na cabeceira e maior quantidade na bacia do rio Sarandi, que possui maior área de terreno plano e suave ondulado (Figuras 3 e 6).

A análise de agrupamento revelou 5 grupos (Figura 7). Um deles, representado pela bacia do rio Floriano, obteve maior área de vegetação (Tabela 7). Essa bacia encontra-se dentro da área do PNI, e o teste SIMPROF revelou que essa bacia não apresenta similaridade significativa com as demais, no dendograma. O segundo grupo formou-se pelas bacias dos rios Capanema e Cotejipe. Essas bacias apresentaram semelhanças devido as suas áreas de vegetação e pastagem, de valores próximos.

O terceiro grupo formou-se pelas bacias dos rios Silva Jardim e Gonçalves Dias, que depois da Bacia do rio Floriano, apresentaram maiores concentrações de áreas de vegetação e menores concentrações de áreas agrícolas e pastagem em suas regiões, com exceção da bacia

do Rio Capanema. Boa parte da área de vegetação quantificada, pertence ao PNI. A bacia do Rio Capanema apresentou maior distância das outras, provavelmente por sua região conter maior porcentagem de área de pastagem em relação as outras.

O quarto grupo formou-se pelas bacias dos rios Andrada e Santo Antônio. Essas bacias apresentaram áreas de solo exposto, pastagem e agrícola semelhantes. O quinto grupo foi formado pelas bacias dos rios Monteiro e Sarandi. Estas bacias apresentaram semelhanças por conterem as maiores classes de área urbana, áreas agrícolas e menores áreas de vegetação entre as bacias, e possuem semelhanças entre si, pela proximidade entre essas classes (Tabela 7).

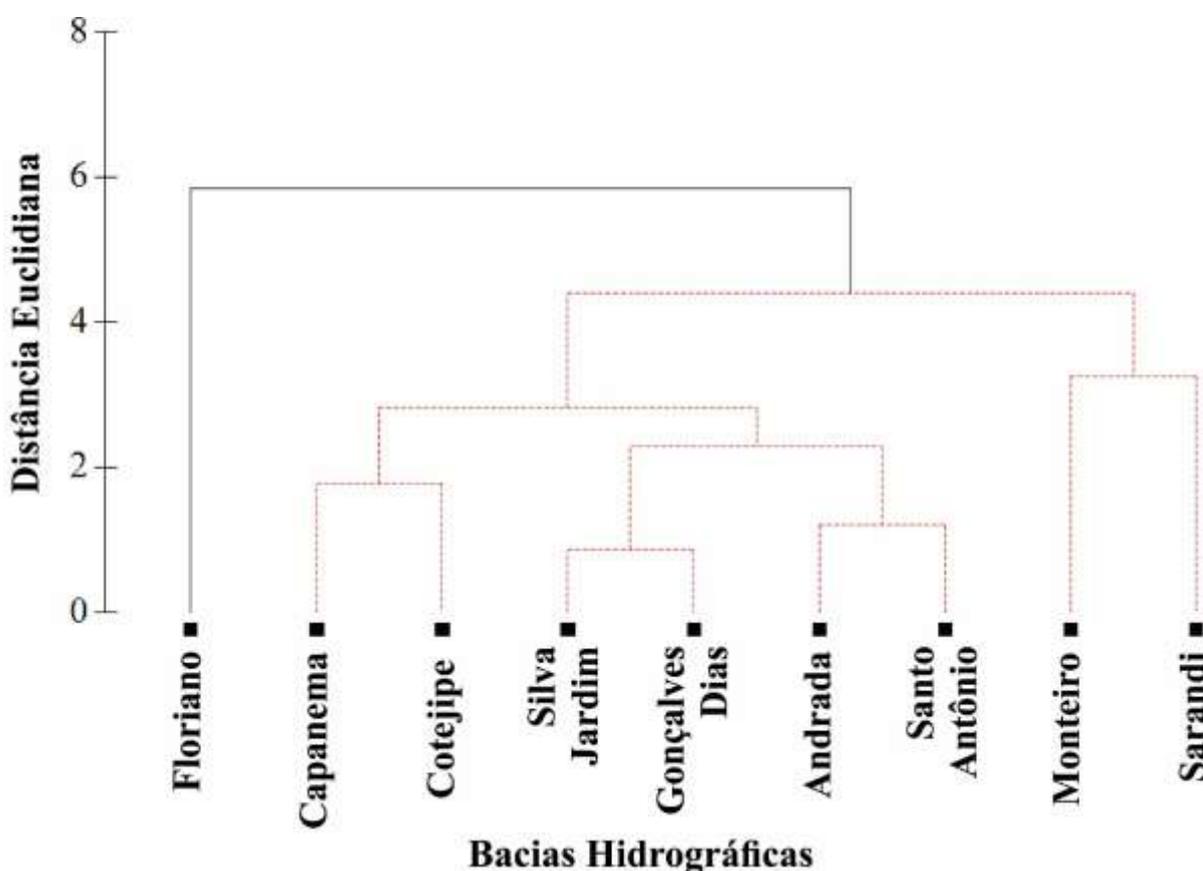


Figura 7: Análise de agrupamento nas bacias estudadas, com a bacia do rio Floriano foi a única que não apresentou semelhança entre as bacias. As linhas vermelhas mostram o resultado obtido pelo teste SIMPROF, indicando semelhanças entre as bacias.

Portanto, infere-se que a bacia do Rio Floriano apresenta maior preservação ambiental, seguida pelas bacias dos rios Silva Jardim e Gonçalves Dias. Para as bacias dos rios Capanema, Cotejipe, Andrada e Santo Antônio, possuem preservação ambiental intermediária, e as bacias dos rios Monteiro e Sarandi possuem menor preservação ambiental, com maior distância entre elas.

4. CONCLUSÕES

As bacias estudadas em geral possuem formas alongadas, facilitando o escoamento, influenciado pela alta declividade nas cabeceiras de algumas das bacias, em geral média capacidade de drenagem e média a alta sinuosidade. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que estudos empregando técnicas de análise geomorfológica em bacias hidrográficas são essenciais, permitindo avaliar de maneira sistemática regiões hidrográficas em grande escala, propor tomadas de decisão visando a melhor maneira de preservar essas regiões e realizar um manejo adequado.

A classificação multiespectral supervisionada obteve resultados satisfatórios, e o agrupamento evidenciou que as bacias menos impactadas são as bacias dos rios Floriano, Silva Jardim e Gonçalves Dias, e as bacias mais suscetíveis a degradação são as bacias dos rios Monteiro e Sarandi. Essas análises são muito importantes para o conhecimento do ambiente, contribuindo para a modelagem ambiental, de regiões que são muito importantes para a conservação da biodiversidade, no ambiente terrestre e aquático.

5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Base Hidrográfica Ottocodificada da Bacia do Rio Iguaçu**. Metadados ANA, 2015. Disponível em: < <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuiid=efd77aa1-3c73-4ca1-9cbc-7a2193ea743b>>. Acesso em 27 mar. 2017.

AHN, S. R.; KIM, S. J. **Avaliação da saúde das bacias hidrográficas, vulnerabilidade e resiliência para determinação de proteção e restauração Prioridades**. Environmental Modelling & Software, 2017. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.014>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136481521630740X>)>. Acesso em 18 jan. 2018.

BENDJOUDI, H.; HUBERT, P. **Le coefficient de compacité de Gravelius: analyse critique d'un indice de forme des bassins versants**. Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques, 2002.

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, Botucatu, 2015.

BRASIL. LEI Nº 8.171, DE 17 DE JANEIRO DE 1991. **Dispõe sobre a política agrícola**. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, 1991. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8171.htm>. Acesso em 18 set. 2017.

BRASILEIRO, F. G.; OLIVEIRA, C. M. M.; RODRIGUES, R. A.; DELGADO, R. C. **Classificação de imagem orbital pelo método máxima verossimilhança em Quixeramobim, Ceará, Brasil**. Rev. Geogr. Acadêmica, 2016.

CELESTINO, E. F.; MAKRAKIS, S.; KASHIWAQUI, E. A. L.; CELESTINO, L. FERNANDES; MAKRAKIS, M. C. & MARIANO, J. R. **Environmental conditions in river segments intercepted by culverts**. Porto Alegre. R. bras. Bioci., 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. 2006. **PRIMER v6: User Manual/Tutorial**. PRIMER-E, Plymouth, 2006.

DAR, I. A.; SANKAR, K.; DAR, M. A. **Remote sensing technology and geographic information system modeling: An integrated approach towards the mapping of groundwater potential zones in Hardrock terrain, Mamundiyyar basin**. Journal of Hydrology, 2010.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979.

GRINAND, C.; RAKOTOMALALA, F.; VALÉRY GOND, V.; VAUDRY, R.; BERNOUX, M. VIEILLEDENT, G. **Estimating deforestation in tropical humid and dry forests in Madagascar from 2000 to 2010 using multi-date Landsat satellite images and the random forests classifier**. Remote Sensing of Environment, 2013.

RONI, P.; HANSON, K.; BEECHIE, T.; PESS, G.; POLLOCK, M. **Habitat rehabilitation for inland fisheries global review of effectiveness and guidance for rehabilitation of freshwater ecosystems**. FAO Corporate document repository, 2005.

FIGUEIREDO, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C.; FRANCO, A. P. B. **Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Bárbara, Goiás**. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, 2010.

FREITAS, H. R. A.; FREITAS, C. C.; ROSIM, S.; OLIVEIRA, J. R. F. **Drainage networks and watersheds delineation derived from TIN-based digital elevation models**. Computers & Geosciences, 2016.

GRAVELIUS, H. **Grundrifi der gesamten Gewâsserkunde, Band 1: h'lufikunde (Compendium of Hydrology, vol. 1: Rivers, in German)**. Goschen, Berlin, Germany, 1914.

GRISON, F. & KOBAYAMA, M. **Geometria Hidráulica em Bacias Hidrográficas Paranaenses**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.2, 2011.

GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. (Organizadores). **Geomorfologia e meio ambiente**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1999.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology**. BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 1945.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Reunião Técnica

de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. Disponível em: <http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i00006739_001.pdf>. Acesso em 9 nov. 2016.

EASTMAN, J. R., **IDRISI Selva Tutorial**. Manual Version 17.0, Clark University, 2012. Disponível em: <http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/eng/gis/idrisi_selva_tutorial.pdf>, Acesso em 29, nov. 2016.

GHIMIRE, M. **Multivariate morphological characteristics and classification of first-order basins in the Siwaliks, Nepal**. *Geomorphology* 204, 2014.

HAIR J. F.; BLACK, W. C.; BADIM, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. Bookman, Porto Alegre, 2005.

KÖPPEN, W. G. & GEIGER, R. M. **Handbuch der Klimatologie in fünf Bänden**. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1936.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. **Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil**. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*, 2001.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 2008.

MIGUEL, A. E. S.; MEDEIROS, R. B.; DECCO, H. F.; OLIVEIRA, W. **Características morfométricas do relevo e rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Taquaruçu / MS**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2014.

MIOTO, C. L.; RIBEIRO, V. O.; SOUZA, D. M. Q.; PEREIRA, T. V.; ANACHE, J. A. A. & FILHO, A. C. P. **Morfometria de bacias hidrográficas através de SIGs livres e gratuitos**. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 2014.

MORIN, K.; DAVIS, J. L. **Cross-Validation: What Is It and How Is It Used in Regression?** *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 2016.

NETO, A. S. R. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2010/11**. Agrometeorologia. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural, 2010.

OLIVEIRA, P. T. S.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. **Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2010.

PINGALE, S. M.; CHANDRA, H.; SHARMA, H. C.; MISHRA, S. S. **Morphometric analysis of Maun watershed in Tehri-Garhwal district of Uttarakhand using GIS**. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2012.

PINHEIRO, A.; BERTOLDI, J. VIBRANS, A. C.; KAUFMANN, V.; DESHAYES, M. **Uso do solo na zona ripária de bacias agrícolas de pequeno a médio porte**. *Revista Árvore, Viçosa-MG*, 2011.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W. & FERRAUDO, A. S. **Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP)**. R. Bras. Ci. Solo, 2004.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project, 2015. Disponível em: <<http://www.qgis.org/>>. Acesso em 13 mar. 2017.

RAHAMAN, S. A.; AJEEZ, S. A.; ARUCHAMY, S.; JEGANKUMAR, R. **Prioritization of sub watershed based on morphometric characteristics using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Geographical Information System – A study of Kallar watershed, Tamil Nadu**. Aquatic Procedia 4, 2015.

SCHUMM, S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey**. Geological Society of America Bulletin, 1956.

SCHUMM, S. A. **Sinuosity of alluvial rivers on the great plains**. Geological Society of America Bulletin, 1963.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S. PAIVA, K. W. N. **Efeito da cobertura nas perdas de solo em um argissolo vermelho-amarelo utilizando simulador de chuva**. Eng. Agríc., Jaboticabal, 2005.

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A. & CAVIGLIONE, J. H. **Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara – Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais**. Portal da Cartografia, Londrina, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/portalcartografia>>. Acesso em 11 nov. 2016.

STRAHLER, A. N. **Dynamic basis of geomorphology**. BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 1952.

TARBOTON, D. **TauDEM Version 5**. Hydrology Research Group, Utah State University, 2015.

TEODORO, V. L. L.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. REVISTA UNIARA, 2007.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. **Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira Das Pombas, Guanhães – MG**. R. Árvore, Viçosa-MG, 2006.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L.; BENETTI, A.; LANNA, A. E. L.; BIDONE, F.; SEMMELMAN, F.; LOUZADA, J. A.; BERTONI, J.; FILHO, K. Z.; BELTRAME, L. F. S.; BORDAS, M. P.; PESSOA, M. L.; CAICEDO, N. L.; CHEVALLIER, P.; PORTO, R. L.; CLARKE, R. T. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ABRH, 2001.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Aster global DEM**. ASTER GDEM is a product of METI and NASA. Disponível em <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em 6 dez. 2016.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. **Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2010.

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975.

WALLACE, A. R.; **The geographical distribution of animals**. Vol.1. Boston University, 1876.

YUAN, F.; SAWAYA, K. E. LOEFFELHOLZ, B. C.; BAUER, M. E. **Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing**. Remote Sensing of Environment, 2005.