

Estudo morfométrico e de uso e cobertura da terra para auxílio ao planejamento urbano na microbacia do Córrego Barbosa e Barbosinha, Lins - SP

Isadora Vitali Lobo

Mestranda, UNESP, Brasil.
isadora.vitali@unesp.br

César Gustavo da Rocha Lima

Professor Doutor, UNESP, Brasil.
cesar.lima@unesp.br

José Augusto Di Lollo

Professor Doutor, UNESP, Brasil.
jose.lollo@unesp.br

RESUMO

O processo de urbanização nas bacias hidrográficas promove a alteração do ciclo hidrológico por meio da impermeabilização de sua área elevando o escoamento superficial, reduzindo a infiltração, e conseqüentemente, aumentando a suscetibilidade da mesma à eventos hidrológicos extremos. O objetivo deste trabalho foi analisar a suscetibilidade natural da bacia hidrográfica dos Córregos Barbosa e Barbosinha a enchentes e inundações através da análise dos parâmetros morfométricos e uso e ocupação do solo, como subsídio ao planejamento e gestão do espaço visto que a mesma está inserida em área de expansão urbana. A análise de uso e ocupação do solo foi realizada pelo método de classificação supervisionada para os anos 1990, 2006 e 2020 por imagens de satélite Landsat-5, sensor *Thematic Mapper* (TM), e Landsat-8, sensor *Operational Land Imager* (OLI), os índices morfométricos foram calculados com auxílio do *software SPRING 5.4.3* e imagem SRTM com resolução espacial de 30 metros. Os resultados encontrados indicam que a bacia de interesse possui média a alta suscetibilidade natural a enchentes, o que pode ser intensificado pela dinâmica de uso e ocupação do solo através do aumento das áreas impermeabilizadas na bacia, cujo crescimento foi de 133% ao longo dos três anos analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de informações geográficas, urbanização, enchentes.

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização promove fortes alterações no ciclo hidrológico dentro de uma bacia hidrográfica, tal fato está associado à grande impermeabilização do solo. Com o incremento das áreas impermeáveis verifica-se um aumento na vazão máxima, fenômeno que ocorre em detrimento da redução da evapotranspiração, do escoamento subterrâneo e do tempo de concentração da bacia. O aumento relativo da vazão máxima pode atingir valores seis vezes superiores em contraste a bacias hidrográficas com menor índice de urbanização (TUCCI, 2003).

Em relação ao processo de urbanização, a alteração do uso e cobertura da terra tem sido, na maioria dos casos, o principal agente deflagrador de eventos como enchentes e inundações nas bacias hidrográficas urbanas brasileiras, porém, a existência de condições físicas e geomorfológicas inerentes às mesmas podem torna-las naturalmente propensas a ocorrência desses fenômenos (BARROS et al., 2016).

Enchentes consistem em eventos naturais que ocorrem na calha secundária de um rio (OLIVEIRA; OLIVEIRA; BARBOSA, 2015), quando esse fenômeno natural ocorre em áreas ocupadas acontecem as inundações, essas possuem intensidade diretamente relacionada com a impermeabilização do solo em áreas urbanas (GUERRA; ZACHARIAS, 2015).

O município de Lins-SP enfrenta ao longo dos anos problemas associados a esses processos, necessitando especial atenção para áreas inseridas no perímetro de expansão urbana, caso esse da região que engloba a bacia hidrográfica dos Córregos Barbosa e Barbosinha (LINS, 2018). O plano de saneamento do município traz como informação necessária para o planejamento da drenagem conhecimentos relacionados a fatores como o uso e tipo de solo das bacias e seus dados físicos (LINS, 2017).

Nesse contexto, os parâmetros morfométricos possibilitam a caracterização dos elementos físicos de uma bacia hidrográfica de forma quantitativa, atribuindo valores que descrevem a intensidade dos processos atuantes na mesma, possibilitando entender a dinâmica das transformações ocorridas na área de estudo (SANTOS et al., 2016).

Segundo Tucci (2008), o modelo de gerenciamento empregado pelo poder público não incentiva a prevenção de problemas relacionados a enchentes e inundações, a ocorrência desses fenômenos pode ser relacionada a ações como a ausência de restrições quanto à ocupação de áreas com risco de inundação no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano das cidades, onde apenas a sequência de anos sem enchentes torna-se favorável a ocupação desses locais. Outro fato pertinente a ser considerado é a ocupação de áreas de médio risco, de menor frequência, promovendo prejuízos significativos quando tais fenômenos ocorrem.

Diante disso, abordagens que integrem informações obtidas nos cálculos de índices morfométricos são imprescindíveis para o processo de planejamento integrado das bacias hidrográficas, pois dão subsídio a estratégias de gerenciamento ambiental, em virtude das diversas possibilidades de sua integração com outros fatores como, por exemplo, a dinâmica de uso e cobertura da terra (SOARES et al., 2016).

Nesse sentido, a utilização de técnicas de geoprocessamento através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), constitui-se em uma ferramenta poderosa para análise da situação atual ou de projeções futuras em áreas urbanas, auxiliando o planejamento do crescimento das mesmas e contribuindo para nortear a tomada de decisões no que diz respeito a gestão e regulação do uso e cobertura da terra (NASCIMENTO; LIMA; SANTOS, 2009).

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a morfometria e o uso e cobertura da terra no alto curso do Córrego Barbosa, inserida em sua totalidade em área urbana e em área destinada à expansão urbana, por meio de técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e sensoriamento remoto, como apoio ao planejamento e gestão integrada de seu espaço.

3 METODOLOGIA

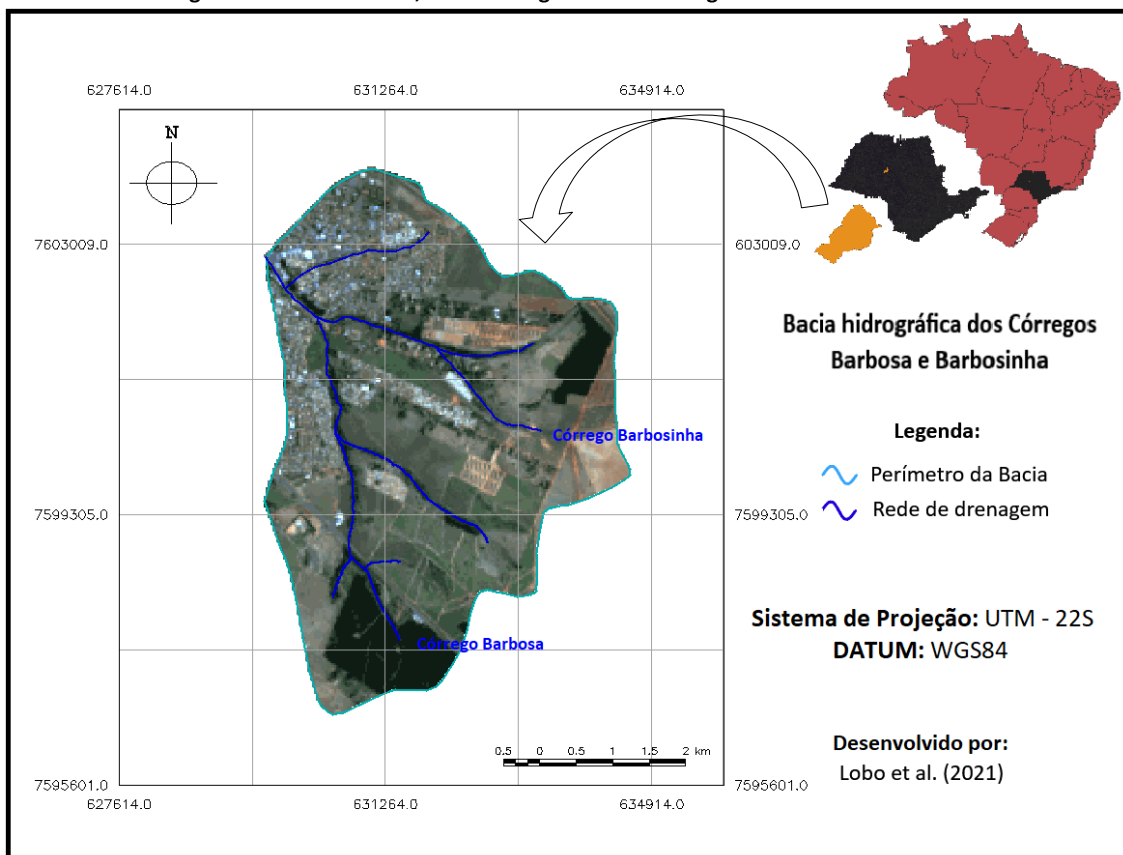
3.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica de interesse do estudo está localizada em Lins, município inserido na região centro-oeste do estado de São Paulo. Lins possui extensão territorial de 570,058 km² e população estimada em 78.503 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 124,98 hab/km² (IBGE, 2020) com grau de urbanização de 98,83% (SEADE, 2021).

O bioma característico da bacia é a Mata Atlântica (IBGE, 2019), com presença de Latossolo Vermelho, Vermelho-Amarelo e Argissolos Vermelho-Amarelos (ROSSI, 2017). Quanto ao clima, a área de interesse se enquadra pela classificação climática de Köppen em Aw (ROLIN et al., 2007), clima tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18 °C (DONALISIO et al., 2008).

A mesma compreende o Córrego Barbosa e o Córrego Barbosinha, com extensão territorial de 24,59 km², e está inserida em área destinada à expansão urbana conforme o plano diretor municipal. A Figura 1 exibe a localização da bacia e sua rede de drenagem.

Figura 1: Área de estudo, Bacia hidrográfica dos Córregos Barbosa e Barbosinha



Fonte: Elaborado pelos autores

3.2 ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Para a extração dos parâmetros morfométricos, fez-se necessário o uso de um modelo numérico de terreno (MNT), o mesmo foi obtido através de imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 m, adquirida através do *earthdata* domínio da National Aeronautics and Space Administration (WATKINS, 2000).

Com o auxílio do *software* SPRING 5.4.3 (CAMARA et al., 1996), foi criado um banco de dados com sistema de projeção definido em *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e *DATUM* WGS84, após importação da imagem SRTM e extração do MNT, foram geradas isolinhas. Com o auxílio de hidrografia reprojeta para o município de Lins, adquirida através do banco de dados de apoio ao cadastro ambiental rural (FBDS, 2018), foi traçada a rede de drenagem compreendida na bacia hidrográfica dos Córregos Barbosa e Barbosinha, através de edição vetorial.

Dados como o comprimento total dos cursos hídricos (Lt), área de drenagem (A), perímetro da bacia (P), comprimento do canal principal (Ccp), distância vetorial do canal principal (Dv) e comprimento axial da bacia (L), foram obtidos através das ferramentas de operações métricas e medidas de classe, a fim de se realizar os cálculos dos índices morfométricos elencados na Quadro 1.

Quadro 1: Equações utilizadas para análise dos parâmetros morfométricos

Parâmetros morfométricos	Equação	Autor
Densidade de Drenagem (Dd) - km/km ²	$Dd = \frac{Lt}{A}$	RAY; FISCHER (1960)
Coeficiente de Compacidade (Kc) - adimensional	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	VILLELA; MATTOS (1975)
Fator de Forma (Kf) - adimensional	$Kf = \frac{A}{L^2}$	VILLELA; MATTOS (1975)
Índice de Sinuosidade (Is) - adimensional	$Is = \frac{C_{CP}}{D_V}$	HORTON (1945)
Índice de Circularidade (Ic) -adimensional	$Ic = \frac{A}{Ac}$	CHRISTOFOLETTI (1980)

Fonte: Elaborado pelos autores

Com a finalidade de auxiliar a análise e interpretação dos resultados, foi gerado o perfil do canal principal através do MNT, o mapa de declividade da área utilizando classificação estabelecida por Lepsch et al. (1991), a tabulação cruzada dos dados de declividade com uso e ocupação, e o levantamento dos empreendimentos existentes com interesse de ocupação social e seu potencial de ocupação futura dentro da bacia hidrográfica dos Córregos Barbosa e Barbosinha.

3.3 USO E COBERTURA DA TERRA





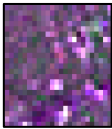
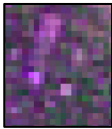
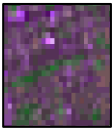
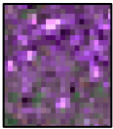
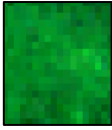

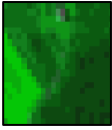
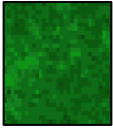
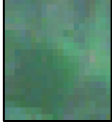


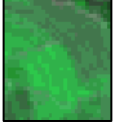
O uso e cobertura da bacia foi realizado para três diferentes anos com a finalidade de avaliar as mudanças no local ao longo do tempo, as imagens de satélite utilizadas foram obtidas através do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021). Para os anos de 1990 e 2006 foram utilizadas as bandas 2, 3 e 4 do satélite LandSat 5, sensor *Thematic Mapper* (TM), já para o ano de 2020 foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 do satélite LandSat 8, sensor *Operational Land Imager* (OLI). As datas de todas as imagens selecionadas buscaram compreender o período seco, de acordo com a classificação climática da região. Visando comportamentos semelhantes da dinâmica de uso e ocupação no local, foram escolhidas imagens dos respectivos meses: julho de 1990, setembro de 2006 e agosto de 2020.

As imagens foram processadas no *software* SPRING 5.4.3 (CAMARA et al., 1996), as mesmas foram importadas e registradas, e posteriormente foi selecionado a composição de cores a ser trabalhada para cada ano, 3(B)4(R)5(G) para 2020 e 2(B)3(R)4(G) para 1990 e 2006, em seguida aplicou-se contraste para auxiliar a melhor interpretação das feições.

O método de classificação selecionado para o trabalho em tela, foi o supervisionado por regiões Battacharya. Para a realização do mesmo faz-se necessário a segmentação das imagens, que tem por finalidade a divisão da imagem em regiões homogêneas com comportamento espectral semelhantes. Isto posto, os valores de limiar de similaridade e área adotados para o ano de 2020 foram de 10 e 30 respectivamente, para os anos de 1990 e 2006 foram realizados testes com diferentes valores de limiar de similaridade, onde o que apresentou melhor resposta foi o de valor 5 para o ano de 1990 e 3 para o ano de 2006, o limiar de área para tais anos foi definido como 30.

As classes foram divididas em quatro diferentes grupos com comportamentos distintos quanto a permeabilidade com a finalidade de estimar a quantidade de áreas permeáveis e impermeáveis no interior da bacia. O processo de treinamento e coleta das amostras foi realizado de acordo com a chave de interpretação das classes: vegetação rasteira, vegetação arbórea, solo exposto e áreas impermeabilizadas, e em seus diferentes comportamentos nas composições escolhidas para cada imagem conforme demonstra a Quadro 2.

Quadro 2: Classes de uso e ocupação, comportamento de suas feições e descrição do que as compõe

Classe	Comportamento				Descrição
	Landsat 5 - 2(B)3(R)4(G)		Landsat 8 - 3(B)4(R)5(G)		
Solo exposto					Áreas desprovidas de cobertura, solo nu ou preparado, áreas de transição entre vegetação rasteira e solo exposto.
Áreas impermeabilizadas					Áreas impermeabilizadas, telhados, coberturas, rodovias e construções.
Vegetação arbórea					Vegetação arbórea agrupada, presença de árvores em tamanhos variados, silvicultura.
Vegetação rasteira					Pastagem em formação, vegetação secundária e áreas de plantio

Fonte: Elaborado pelos autores

Posteriormente, foi realizado o recorte das imagens com o auxílio do polígono gerado para os cálculos dos parâmetros morfométricos com a área da bacia. As classificações geradas para cada ano passaram por um refinamento através de uma pós-classificação com a finalidade de corrigir inconsistências identificadas em cada uma delas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante classificação proposta por Vale e Bordalo (2020), o valor de densidade de drenagem encontrado para a Bacia do Córrego Barbosa, 0,70 km/km², identifica a mesma como pertencente à classe do tipo baixa (valores menores que 1,5), com características de maior infiltração e um baixo escoamento superficial. Esse fator pode contribuir de forma positiva para a dinâmica hídrica local, aliados aos tipos de solo pertencentes à bacia, que de forma geral possuem características de boa drenagem (SOUZA; LOBATO, 2004), porém, o mesmo não consiste em um fator isolado, apresentando a necessidade de avalia-lo em conjunto a outros parâmetros (SANTOS; CARVALHO; ANTONELI, 2016).

O resultado e classificação são compatíveis aos de outros autores, como Pereira e Mendes (2018), que encontraram o valor de 1,15 km/km² para densidade de drenagem indicando que a bacia do Rio Iguaçu-Sarapuí (RJ) possui boas condições de infiltração. França et

al. (2013), classificou a região da Bacia Hidrográfica do Carão como sendo de baixa capacidade de drenagem conforme o valor obtido de 0,78 km/km² para o parâmetro.

Em contra partida ao resultado obtido para a densidade de drenagem, o valor do índice de sinuosidade encontrado para a bacia de interesse foi de 1,09, indicando que seu canal principal tende a um formato retilíneo com maior velocidade de escoamento. Barros et al. (2016), relaciona o formato retilíneo e a maior velocidade de escoamento a uma alta probabilidade de enchente e inundações, os autores analisaram 4 diferentes sub-bacias localizadas no Rio do Prata (Ilha do Maranhão) e encontraram valores de I_s de 1,06 a 1,19, classificando todos os canais como retilíneos e com sujeição a esses fenômenos.

Em relação ao coeficiente de compacidade obtido para a bacia, o mesmo apresentou valor de 1,19, indicando que a área de interesse do estudo se aproxima ao formato circular com alta tendência a enchentes (NARDINI et al., 2013; VALE; BORDALO, 2020). Ribeiro e Pereira (2013), encontraram o valor de 1,27 para o coeficiente de compacidade da bacia hidrográfica Vargens de Caldas-MG identificando que a mesma aponta para o formato circular.

Fritzsons e Mantovani (2010), analisaram a sub-bacia do Campestre e a Várzea do Capivari, e obtiveram os valores de coeficiente de compacidade de 1,17 e 1,16 respectivamente, através de visitas a campo, constataram que nos locais situados próximos aos exutórios de ambas ocorriam enchentes frequentes. Tal fato pode estar relacionado com a questão de que em bacias com forma circular, a possibilidade de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão são maiores, concentrando grande volume de água em seu tributário principal (CARDOSO et al., 2006).

De acordo com Lima et al. (2013), o valor do fator de forma compreendido entre diferentes intervalos possibilita classificar a bacia hidrográfica quanto a sua tendência a enchentes, na forma em que para valores de K_f entre 0,75 e 1,00 assume-se que a bacia está sujeita ao referido fenômeno, bacias com K_f entre 0,75 e 0,50 apresentam tendência mediana a enchentes, já bacias com valores de K_f menores que 0,5 não estão sujeitas à ocorrência.

Diante o exposto, a bacia do Córrego Barbosa possui tendência mediana a enchente e um formato intermediário, compatível com o resultado obtido de 0,62 para seu fator de forma. Alves da Silva e Duarte (2020), identificaram que a sub-bacia do Rio Espinharas localizado no Paraíba, possui tendência mediana a enchente, pois apresenta o valor de 0,68 para o parâmetro.

Os valores do índice de circularidade variam de 0 a 1, sendo assim, bacias hidrográficas com elevado I_c tendem a ser mais propensas a cheias (SANTOS; CARVALHO; ANTONELI, 2016), possuem maior vulnerabilidade a episódios de enchentes (BARROS et al., 2016) e são mais propícias a ocorrência de inundações (SILVA et al., 2018).

O índice de circularidade encontrado para a bacia dos Córregos Barbosa e Barbosinha foi de 0,69 indicando que a mesma possui formato circular, o que a torna mais sensível a inundações. Resultado esse, compatível com as características relacionadas a diferentes I_c por Franco e Santo (2015), onde valores menores que 0,51 correspondem a formatos alongados com escoamento favorável, valores maiores que 0,51 correspondem a bacias de formas circulares, o que contribui com o desenvolvimento de inundações, e valores iguais a 0,51 que equivalem a bacias de escoamento moderado com pequena probabilidade de cheia.

A síntese dos resultados encontrados para os índices físicos e morfométricos correspondentes à bacia hidrográfica dos Córregos Barbosa e Barbosinha estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos índices morfométricos obtidos para a bacia dos Córregos Barbosa e Barbosinha

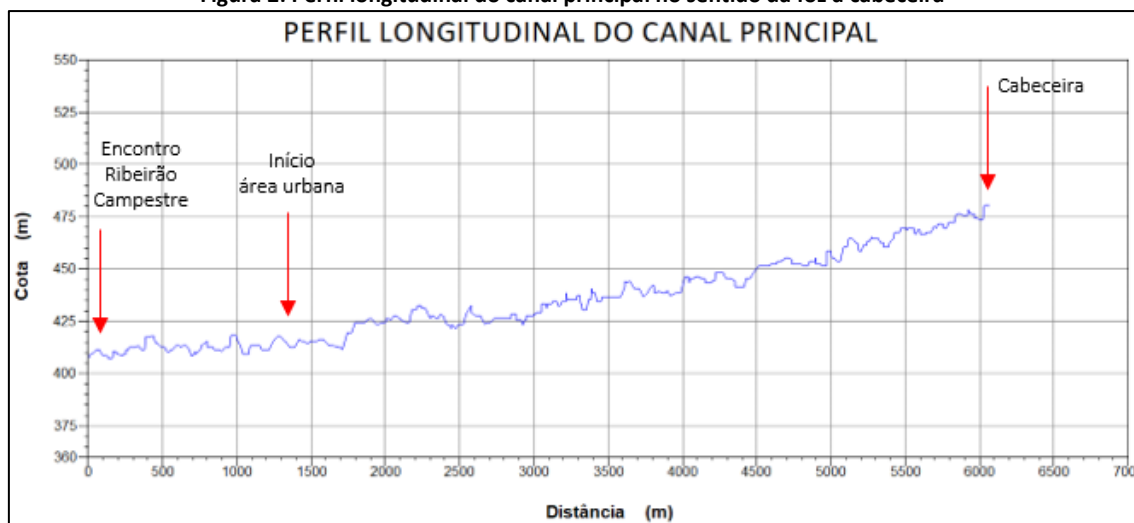
Parâmetros morfométricos	Resultados encontrados	Suscetibilidade natural a enchentes e inundações
Comprimento total dos cursos hídricos (Lt)	17,27 km	
Área de drenagem (A)	24,59 km ²	
Perímetro da bacia (P)	21,12 km	
Comprimento axial da bacia (L)	6,28 km	
Comprimento do canal principal (Ccp)	6,07 km	
Distância vetorial (Dv)	5,54 km	
Densidade de Drenagem (Dd)	0,70 km/km ²	
Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,19	
Fator de Forma (Kf)	0,62	
Índice de Sinuosidade (Is)	1,09	
Índice de Circularidade (Ic)	0,69	

Suscetibilidade baixa,
 suscetibilidade moderada,
 suscetibilidade alta.

Fonte: Elaborado pelos autores

Em análise conjunta ao perfil do canal principal apresentado na Figura 2, a tendência circular natural da bacia hidrográfica dos Córregos Barbosa e Barbosinha, comprovadas pelos índices morfométricos, torna-se um fator preocupante, pois as áreas apontadas com menor inclinação, identificadas pela menor diferença de nível e com extensão de aproximadamente 1.276m, possuem uma maior tendência ao acúmulo, e estão inseridas em totalidade nas áreas urbanas impermeabilizadas próximas ao exutório da rede de drenagem e aos pontos de ocorrência de enchentes no município, citados anteriormente.

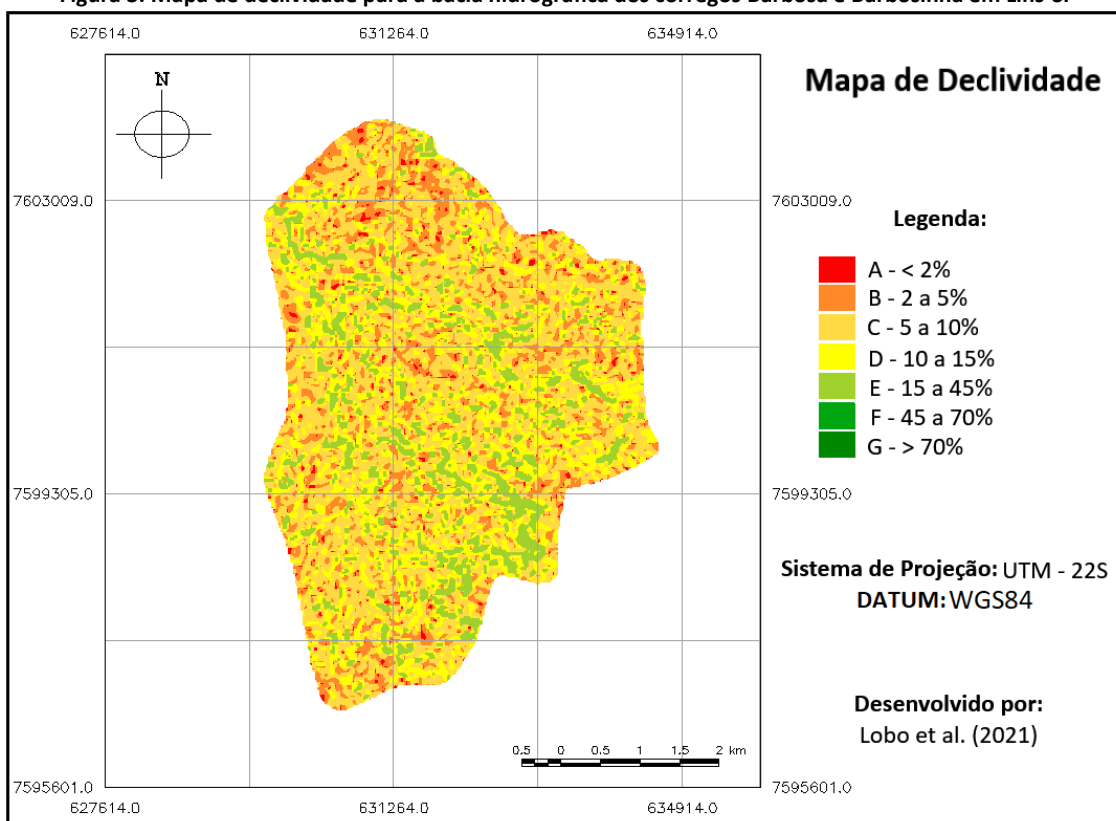
Figura 2: Perfil longitudinal do canal principal no sentido da foz a cabeceira



Fonte: Elaborado pelos autores

Outro fator importante verificado em relação a área da bacia de interesse é de que a classe de declividade predominante na mesma, segundo Lepsch et al. (1991), é a classe C, com valores de declividade de 5 a 10%, possui cerca de 10,44 km² de abrangência, correspondendo aproximadamente a 42,5% da área total da bacia. As características predominantes da classe são de áreas inclinadas, geralmente com relevo ondulado, e médio ou rápido escoamento superficial na maior parte dos solos. A distribuição das classes de declividade ao longo da bacia hidrográfica do Córrego Barbosa e Barbosinha está demonstrada no mapa de declividade apresentado na Figura 3.

Figura 3: Mapa de declividade para a bacia hidrográfica dos córregos Barbosa e Barbosinha em Lins-SP



Fonte: Elaborado pelos autores

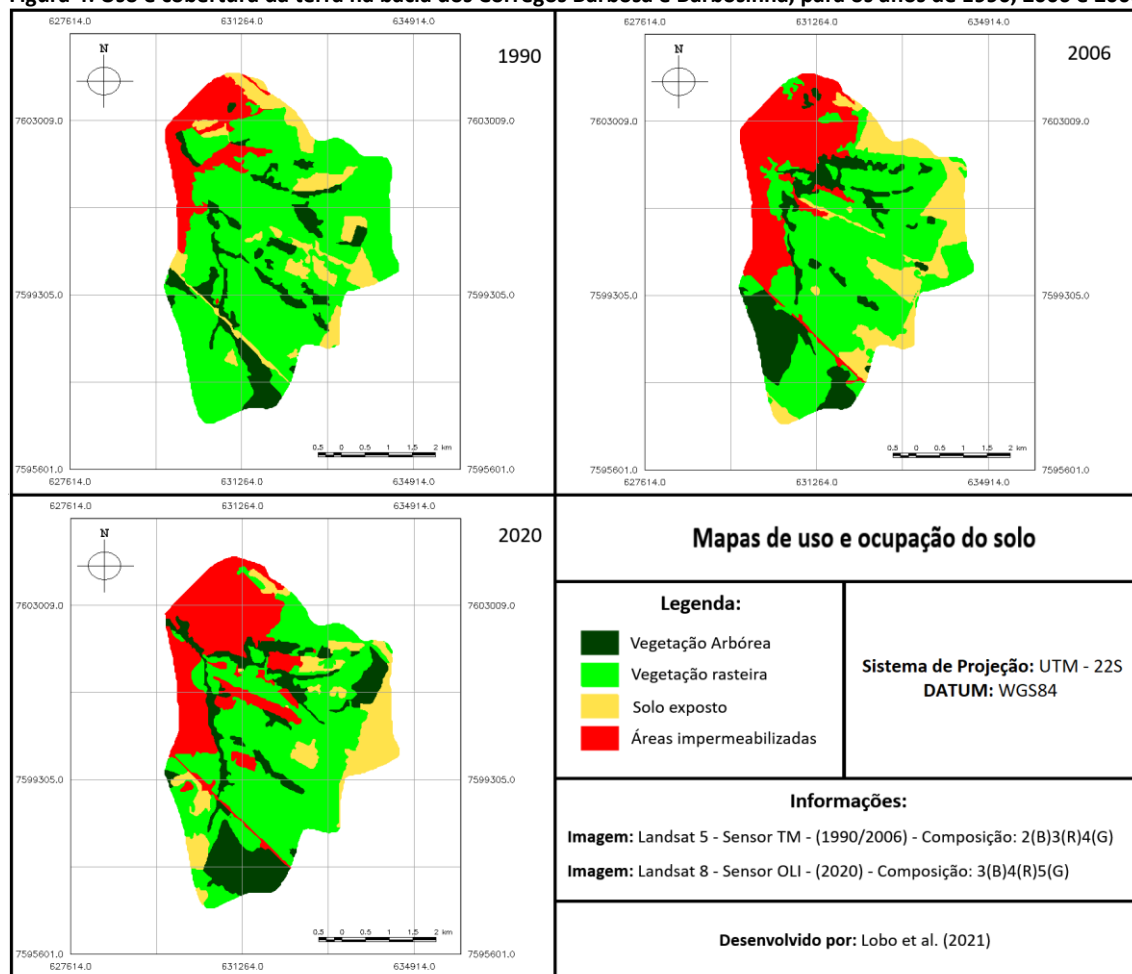
Analisando os parâmetros morfométricos de forma síncrona, foi identificado que a bacia hidrográfica de interesse do estudo possui média a alta suscetibilidade a enchentes e inundações em sua condição natural. Por sua vez, o mapa de declividade e o perfil do canal principal indicam que o escoamento superficial na área da bacia pode vir a ocasionar prejuízos à mesma devido a sua velocidade de escoamento e eventual acúmulo nas regiões de menor declividade.

Tais resultados demonstram que o conhecimento do uso e ocupação do solo na área consiste em uma informação primordial para o entendimento da dinâmica dos processos hidrológicos em seu interior, uma vez que as pressões exercidas por eles, por meio da alteração das características naturais da bacia, têm influência direta na ocorrência dos fenômenos supracitados, sendo a análise conjunta dos parâmetros morfométricos e o uso e ocupação do

solo foco de estudo de diferentes autores (SILVA; MEDEIROS, 2017; OLIVEIRA; ACORSI; SMANIOTTO, 2018; BEGA; RIBEIRO; LIMA, 2019; NOBRE et al., 2020).

Diante disso, buscou-se realizar uma estimativa da variação do comportamento da área da bacia através da análise de uso e ocupação. A metodologia adotada classificou a bacia em quatro diferentes grupos com base em suas características de permeabilidade, resultando nas classes: áreas impermeabilizadas, solo exposto, vegetação rasteira e vegetação arbórea. Como resultado da classificação, foram obtidas as quantidades em área de cada classe, para os anos de 1990, 2006 e 2020, apresentados nos mapas de uso e cobertura na Figura 4.

Figura 4: Uso e cobertura da terra na bacia dos Córregos Barbosa e Barbosinha, para os anos de 1990, 2006 e 2000



Fonte: Elaborado pelos autores

A análise dos mapas gerados indicou que ao longo dos anos a bacia hidrográfica dos Córregos Barbosa e Barbosinha vem sofrendo alterações quanto a expansão urbana e aumento da área impermeabilizada a montante de seu exutório. A Tabela 2 e o gráfico da Figura 5 demonstram as estimativas em medida de área da alteração do uso e cobertura da terra ao longo dos anos na Bacia dos Córregos Barbosa e Barbosinha.

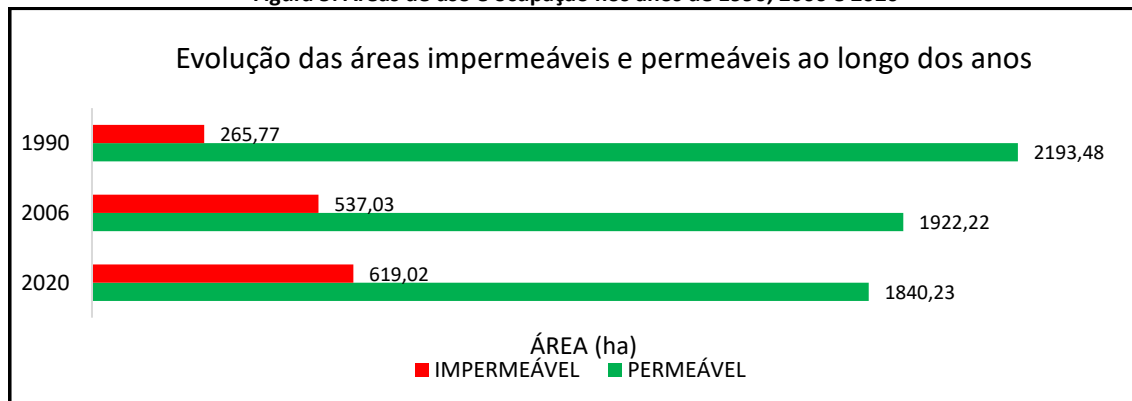
Tabela 2: Estimativa do uso e ocupação nos anos de 1990, 2006 e 2020, para área da bacia de estudo

Uso e Ocupação	Área em (ha)	Varição Percentual (%)
----------------	--------------	------------------------

	1990	2006	2020	1990 - 2006	2006 - 2020	1990 - 2020
Áreas impermeabilizadas	265,77	537,03	619,02	102%	15%	133%
Vegetação arbórea	307,89	355,95	422,19	16%	19%	37%
Vegetação rasteira	1594,44	1196,1	1127,7	-25%	-6%	-29%
Solo exposto	291,15	370,17	290,34	27%	-22%	-0,3%
Total	2459,25	2459,25	2459,25			

Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 5: Áreas de uso e ocupação nos anos de 1990, 2006 e 2020



Fonte: Elaborado pelos autores

Tais áreas, apresentaram para o ano de 2006 um crescimento de cerca de 102% em comparação com o ano de 1990. Para o ano de 2020 o crescimento percentual em relação ao ano de 2006 foi de aproximadamente 15%. Ao todo, a evolução dessas áreas ao longo dos anos analisados foi de 133%.

Outra verificação pertinente é a avaliação dos resultados da tabulação cruzada dessas áreas de classes em relação ao mapa de declividade apresentados na Tabela 3. A mesma permite medir a interação os dados, tornando possível avaliar o comportamento da declividade em cada grupo de classe de uso e ocupação do solo. Para a análise foram utilizados os resultados da classificação de uso e cobertura do ano de 2020, através da mesma, percebe-se que as áreas impermeabilizadas estão em sua maior parte instaladas em regiões com declividade variando entre as classes D (114,48 ha), B (147,51 ha) e C (269,19 ha), as características do tipo de escoamento superficial das mesmas são, respectivamente, rápido, lento ou médio e médio ou rápido, representando junto à impermeabilização do solo maior risco a enchentes e inundações.

Tabela 3: Tabulação cruzada entre a declividade e o uso e ocupação do solo para o ano de 2020.

Declividade	Classes (ha)			
	Áreas impermeabilizada	Solo exposto	Vegetação arbórea	Vegetação rasteira
A - < 2%	33,39	13,23	18,81	45,72
B - 2 a 5%	147,51	62,10	78,03	195,93
C - 5 a 10%	269,19	119,07	171,45	443,07
D - 10 a 15%	114,48	68,49	107,01	288,81
E - 15 a 45%	47,16	24,57	48,87	148,77

Fonte: Elaborado pelos autores.

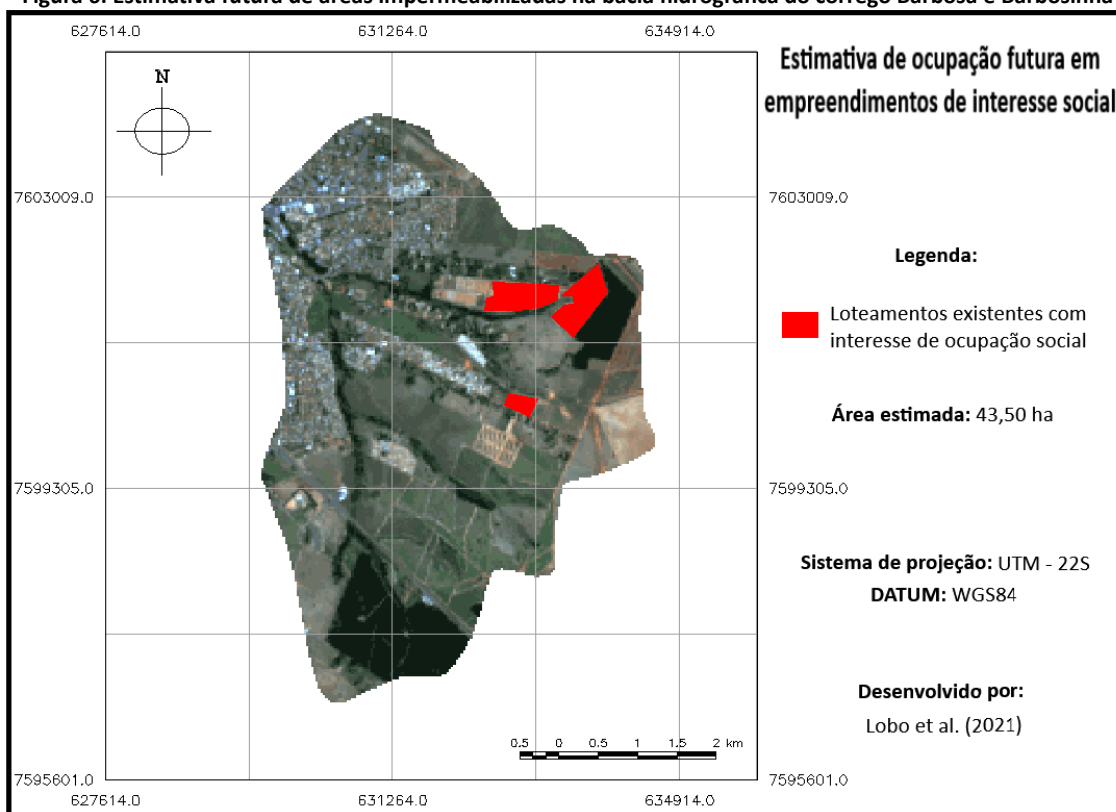
Em paralelo à essa informação, a tabulação cruzada aponta que as demais classes de uso e ocupação possuem suas maiores quantidades de área inseridas nas mesmas classes D, B e C, em ordem crescente, corroborando com a tendência da bacia de médio a rápido escoamento

superficial, indicando que a substituição desses tipos de classes por áreas impermeáveis ao longo dos anos, provavelmente, pode causar prejuízos quanto ao aumento do escoamento em áreas de maior velocidade, e conseqüentemente, na maior sujeição da bacia à fenômenos como enchentes e inundações.

O comportamento de substituição das áreas das classes permeáveis por áreas impermeabilizadas ao longo dos anos na bacia é esperado, devido ao fato de que a mesma está locada interna ao perímetro de expansão urbana do município. Em visitas a campo e através de imagens de satélites atualizadas (Google Earth, 2021), foi verificado que a tendência dos valores de áreas impermeabilizadas é de um possível aumento, uma vez que loteamentos já implementados, presentes dentro da área de interesse não estão ocupados em sua totalidade.

Um levantamento das áreas a serem ocupadas foi realizado adotando como parâmetro apenas as quadras de loteamentos já implantados e previstos no Plano Diretor de Lins como áreas de interesse para habitação social, as quais apresentam uma característica de maior adensamento por quadra. Através do mesmo, pode-se estimar que no futuro as áreas impermeabilizadas podem atingir aproximadamente 43,50 ha a mais que o valor apresentado no uso e ocupação do solo para o ano de 2020, conforme demonstra a Figura 6.

Figura 6: Estimativa futura de áreas impermeabilizadas na bacia hidrográfica do córrego Barbosa e Barbozinha



Fonte: Elaborado pelos autores

Tal fato pode ser considerado preocupante tendo em vista a análise dos parâmetros morfométricos, que indicam uma suscetibilidade natural da bacia a fenômenos de enchentes, associados aos dados interpretados da tabulação cruzada, que indicam possível aumento em escoamentos superficiais com rápida velocidade mediante a substituição das áreas de classe

solo exposto, vegetação arbórea e vegetação rasteira por áreas impermeabilizadas, bem como o perfil do canal principal que indica tendências ao possível acúmulo desse escoamento nas áreas urbanas próximas a sua foz, que por sua vez já estão presentes no mapa de áreas de risco a enchentes, alagamento e transbordamento, do Plano diretor Municipal de Lins (LINS, 2018).

5 CONCLUSÕES

Os parâmetros morfométricos indicaram a tendência à suscetibilidade natural da bacia a enchentes e inundações. A inclinação da mesma ao formato circular pode influenciar diretamente na distribuição espacial do escoamento superficial, por apresentar formato compacto, as bacias tendem a direcionar ao mesmo tempo o escoamento superficial ao canal principal ocasionando uma provável diminuição do tempo de concentração, acelerando assim a chegada de todo o fluxo ao exutório, esse por sua vez, apresenta-se inserido em área urbana com baixa declividade e relacionada à ocorrência de enchentes, alagamentos e transbordo.

A análise de uso e ocupação do solo no local demonstrou que a bacia hidrográfica dos Córregos Barbosa e Barbosinha vem passando por um processo de aumento da área urbanizada ao longo dos anos atingindo um valor de 133% de aumento das áreas impermeabilizadas do ano de 1990 para o ano de 2020. Tal mudança promove a substituição de áreas permeáveis por áreas impermeabilizadas, perante análise dos dados de declividade por classe de ocupação, comportamento esse que pode corroborar com a vulnerabilidade da bacia à ocorrência de eventos hidrológicos extremos.

Diante disso, a possibilidade do uso de geoprocessamento e dos sistemas de informações geográficas para esse tipo de análise constitui-se em uma vantagem, por possuir um baixo custo e permitir uma ampla análise identificando as características inerentes à bacia que facilitam a ocorrência de tais fenômenos, auxiliando o processo de tomada de decisão e gestão do espaço.

6 REFERÊNCIAS

ALVES DA SILVA, J. B.; DUARTE, S. M. A. Caracterização morfométrica da sub-bacia do Rio Espinharas no estado da Paraíba-PB. *Revista Técnico-Lógica*, v. 24, n. 1, p. 112-116, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/3LRm>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

BARROS, D. V. et al. Morfometria, uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 3, n. 5, p. 217-226, 2016. Disponível em: <<http://twixar.me/VDRm>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

BEGA, J. M. M.; RIBEIRO, N. U. F.; LIMA, C. G. R. Suscetibilidade a enchentes: estudo de caso na microbacia hidrográfica do Córrego da Onça em Três Lagoas - MS. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 15, n. 3, 2019. Disponível em: <<http://twixar.me/vsRm>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

CAMARA G. et al. *SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006. Disponível em: <<http://twixar.me/y3Pm>>. Acesso em: 09 jun. 2021.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 188p.

DONALISIO, M. R. et al. Aspectos climáticos em áreas de transmissão de hantavirose no Estado de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v.24, p. 1141-1150, 2008. Disponível em: <<http://twixar.me/QvRm>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

FRANÇA, J. M. B. et al. Morfometria e uso e ocupação da bacia hidrográfica do Carão, Estado do Ceará, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 8138-8145. Disponível em: <<http://twixar.me/zDRm>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

FRANCO, A. C. V.; SANTO, M. A. D. Contribuição da Morfometria Para o Estudo das Inundações na Sub-Bacia do Rio Luís Alves/SC. **Mercator**, v. 14, n. 3, p. 151-167, 2015. Disponível em: <<http://twixar.me/4LRm>>. Acesso em: 21 mai. 2021.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E. Os substratos geológicos e os coeficientes morfométricos em bacias hidrográficas do carste dolomítico no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 181-189, 2010. Disponível em: <<http://twixar.me/KFRm>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (org.) - FBDS. **Mapas: hidrografia. Hidrografia**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/QcRm>>. Acesso em: 17 jun. 2021.

Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (org.) - SEADE. **Perfil dos municípios paulistas**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<http://twixar.me/xvRm>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Disponível em: <<http://twixar.me/b3Pm>>. Acesso em: 25 mai. 2021.

GUERRA, F. C.; ZACHARIAS, A. A. O mapeamento das áreas vulneráveis aos riscos ambientais e as políticas públicas municipais para a sustentabilidade do patrimônio ambiental urbano. **Revista Geografia e Pesquisa**, v. 9, n. 1, p. 66-75, 2015. Disponível em: <<http://twixar.me/dhRm>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 2, p. 275-370, 1945.

Instituto Brasileiro Geografia Estatística (org.) – IBGE. **Censo. IBGE Cidades. População**. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/6vRm>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

Instituto Brasileiro Geografia Estatística (org.) – IBGE. **Censo. IBGE Cidades. Território e Ambiente**. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: <<http://twixar.me/6vRm>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (org.). **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <<http://twixar.me/w3Pm>>. Acesso em: 19 mai. 2021.

LEPSCH, I.F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4a Aproximação. 2. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LIMA, G. C. et al. Estimativa do potencial de recarga na Sub-bacia das Posses, Extrema (MG), em função dos atributos fisiográficos, pedológicos e topográficos. **Geociências**, v. 32, n. 1, p. 51-62, 2013. Disponível em: <<http://twixar.me/kDRm>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

LINS. Prefeitura Municipal de Lins-SP. **Plano Diretor do Município – Relatórios**. Lins, SP, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/zNRm>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

LINS. Prefeitura Municipal de Lins-SP. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Lins, SP, 2017. Disponível em: <<http://twixar.me/zNRm>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

NARDINI, R. C. et al. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013. Disponível em: <<http://twixar.me/xDRm>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

NASCIMENTO, V. M. L. C.; LIMA, E. R. V.; SANTOS, C. A. G. SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB. **Ambiente Construído**, v. 9, n.1, p. 107-123, 2009. Disponível em: <<http://twixar.me/ghRm>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

NOBRE, N. C. et al. Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. **Acta Iguazu**, v.9, n.1, p. 11-34, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/lsRm>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

OLIVEIRA, D. H. R.; ACORSI, M. G.; SMANIOTTO, D. A. Uso e ocupação do solo e caracterização morfométrica de microbacia na região centro-sul paranaense. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 1-10, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/ZsRm>>. Acesso em: 26 jun. 2021.

OLIVEIRA, T. J. V. de S.; OLIVIERA, G. M.; BARBOSA, A. A. Histórico de enchentes em Itajubá/MG. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 4, p. 125-140, 2015. Disponível em: <<http://twixar.me/1hRm>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

PEREIRA, P. S. M. L. P.; MENDES, L. D. Morfometria de bacia hidrográfica urbanizada: Uma análise do Rio Iguazu-Sarapuá, na Baixada Fluminense (RJ), para avaliação de parâmetros de suscetibilidade à ocorrência de enchente e inundação. **Revista Continentes**, n. 13, p. 34-48, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/5DRm>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

RAY, R. G.; FISCHER, W. A. **Quantitative photography, a geologic research tool. Photogrammetric Engineering, Washington**, v.26, p. 143-150, 1960.

RIBEIRO, G. F.; PEREIRA, S. Y. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. **Terrae**, v. 10, n. 1-2, p. 15-20, 2013. Disponível em: <<http://twixar.me/CDRm>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

ROLIN, G. S. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007. Disponível em: <<http://twixar.me/MvRm>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal. 2017, v. 1, 118 p. Disponível em: <<http://twixar.me/NcRm>>. Acesso em: 13 jun. 2021.

SANTOS, M. A.; CARVALHO, S. M.; ANTONELI, V. Suscetibilidade a enchentes a partir da análise de variáveis morfométricas, na Bacia Hidrográfica Rio Bonito em Irati-PR-Brasil. **Revista Equador**, v. 5, n. 5, p. 152 – 167, 2016. Disponível em: <<http://twixar.me/nsRm>>. Acesso em: 17 jun. 2021.

SANTOS, V. S. et al. Uso dos parâmetros morfométricos na bacia hidrográfica do Rio Jaguari/RS em estudos geoambientais. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia - UGB, 11., 2016, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: UGB, 2016. Disponível em: <<http://twixar.me/2FRm>>. Acesso em: 27 mai. 2021.

SILVA, C. O. F.; MEDEIROS, G. A. Avaliação ambiental e morfométrica da bacia do rio Jundiá-Mirim: diagnósticos e subsídios para gestão ambiental. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 7, n. 2, p. 441-454, 2017. Disponível em: <<http://twixar.me/LsRm>>. Acesso em: 17 jun. 2021.

SILVA, G. C. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 244-258, 2018. Disponível em: <<http://twixar.me/OLRm>>. Acesso em: 21 mai. 2021.

SOARES, L. S. et al. Análise morfométrica e priorização de bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 13, p. 82-100, 2016. Disponível em: <<http://twixar.me/DhRm>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2004, 416 p. Disponível em: <<http://twixar.me/3sRm>>. Acesso em: 17 jun. 2021.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <<http://twixar.me/ttmm>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, pág. 36-37, 2003. Disponível em: <<http://twixar.me/HWlm>>. Acesso em: 12 jun. 2021.

VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L. Caracterização morfométrica e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Apeú, Amazônia Oriental. **Revista Formação**, v. 27, n. 51, p. 313-335, 2020. Disponível em: <<http://twixar.me/RDRm>>. Acesso em: 4 jun. 2021.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mcgraw Hill, 1975. 250p.

WATKINS, Derek. **Downloader de bloco SRTM de 30 metros. Ladrilho: S22W050**. 2000. Disponível em: <<http://twixar.me/43Pm>>. Acesso em: 25 de maio 2021.