

Identificação do grau de perigo a enchentes e inundações com base na análise morfométrica e uso do SIG aplicados na bacia hidrográfica do rio Marrecas, Francisco Beltrão – PR

Identification of the danger degree to floods based on the morphometric analysis and use of GIS applied in the Marrecas river water basin, Francisco Beltrão - PR

Joseane Bortolini^{*}, Ana Claudia Guedes Silva^{*}, Erivelto Mercante^{**}, Benedito Martins Gomes^{**}

^{*} Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE – Cascavel/PR), josi_bortolini@hotmail.com; anaa_guedess@hotmail.com.

^{**} Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE – Cascavel/PR), erivelto.mercante@unioeste.br; benedito.gomes@unioeste.br.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v51i0.69805>

Resumo

No Brasil, muitos municípios acabam sendo afetados com eventos de enchentes e inundações, como o município de Francisco Beltrão-PR. O objetivo do estudo foi estimar o grau de perigo (Gp) a ocorrência de enchentes e inundações para cada sub-bacia do Rio Marrecas, através dos parâmetros morfométricos, bem como associar as relações de uso e cobertura da terra, a fim de identificar a contribuição individual do Gp nas sub-bacias. Utilizando o MDE (TOPODATA) e com auxílio do software de SIG, foram delimitadas 38 sub-bacias com a sua respectiva rede de drenagem, sendo caracterizadas quanto às características físicas, hidrográficas e de relevo. Determinou-se, com base nos índices morfométricos (Kc, Kf, Dh, Dd, Ic e Is), o Gp das sub-bacias variando de 1 a 5. A pesquisa identificou que, considerando a média dos Gp, a característica predominante da área de estudo foi de sub-bacias em grau 3. Sub-bacias a montante de Francisco Beltrão apresentaram Gp mais elevados, indicando que sub-bacias intermunicipais podem estar contribuindo para a ocorrência desses eventos, inclusive na dinâmica de fluxo de sub-bacias em grau de perigo menos elevados, principalmente quando associado ao fato de metade da área (43,33%) equivale a áreas impermeabilizadas e com solo exposto. A divisão da área em sub-bacias e a delimitação de áreas a montante do município facilitaram a verificação de similaridades e diferenças entre os dados de sub-bacias contíguas, tais resultados contribuem para o planejamento de ações que possam minimizar a ocorrência de enchentes e inundações no município, incentivando uma gestão descentralizada e intermunicipal.

Palavras-chave: Morfometria, Drenagem, Manejo de Bacias, Sistema de Informação Geográfica.

Abstract

In Brazil, many municipalities end up being affected by events of floods and floods, such as the municipality of Francisco Beltrão-PR. The objective of the work was to estimate the degree of danger (Gp) of the occurrence of floods and floods for each sub-basin of the Marrecas River through the morphometric parameters, associating the land use and coverage relationships to identify the individual contribution of the Gp in the sub-basins in the municipality. Using the MDE (TOPODATA / INPE) and with the help of the GIS software, 38 sub-basins were defined with their respective drainage network, which were characterized in terms of physical, hydrographic and relief characteristics. Based on the morphometric indices (Kc, Kf, Dh, Dd, Ic and Is), the Gp of the sub-basins ranging from 1 to 5 was determined. The research identified that, considering the average of Gp, the predominant characteristic of the study area was grade 3 sub-basins. The sub-basins upstream of the Francisco Beltrão have higher Gp, indicating that the inter-municipal sub-basins may be contributing to the occurrence of these events, including in the flow dynamics of the sub-basins that have a lower degree of danger, especially when associated with the fact half of the area (43.33%) is equivalent to impermeable areas with exposed soil. The division of the area into sub-basins and the delimitation of areas upstream of the municipality facilitate the verification of similarities and differences between data from contiguous sub-basins, such results contribute to the planning of actions that may occur in the event of floods and floods in the municipality, encouraging decentralized and inter-municipal management.

Keywords: Morphometry, Drainage, Basin Management, Geographic Information System.

I. INTRODUÇÃO

Entre 1998 e 2018 foram registrados 14.531 eventos hidrológicos no Brasil onde na sua distribuição espacial o maior número de ocorrência foi no Sudeste (34,18%) e no Sul (32,02%) seguidos do Nordeste (19,92%), Norte (8,52%) e Centro-Oeste (5,36%) (SILVA; GURGEL; FREITAS, 2019). De acordo com Assis Dias et al. (2018) os fenômenos que mais causam desastres no Brasil são os de inundação, enchentes e escorregamentos.

Os eventos de inundações desorganizam a vida das populações atingidas, ocasionado danos, tanto para a sociedade civil como para o poder público (SANTIS, 2000). Nesse contexto, muitos municípios do Brasil acabam sendo afetados com eventos de enchentes e inundações, como é o caso do município de Francisco Beltrão, localizado no Sudoeste do Paraná. Devido aos inúmeros eventos sofridos ao longo dos anos, Francisco Beltrão é um dos 34 municípios do Estado do Paraná com monitoramento pelo Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais (CEMADEN, 2018).

Segundo Farias (2019) entre os anos de 1954 e 2019, foram contabilizados 89 desastres hidrometeorológicos no perímetro urbano deste município, destacando-se uma média de 2,4 episódios/ano em relação aos últimos 10 anos (2014-2019). As ocorrências de enchentes e inundações em Francisco Beltrão são muitas vezes provocadas pelas águas do Rio Marrecas devido a sua travessia pelo município a fim de desaguar no Rio Chopim. Fato esse evidenciado em vários estudos concentrados nesse município (CAPRARIO et al., 2017; ANDRES; CANEPARO; HENDGES, 2015; AGUIAR et al., 2018; AGUIAR, 2017).

Antes de atingir o seu curso final, o Rio Marrecas recebe grandes volumes de água dos seus contribuintes, desta maneira, os afluentes e suas bacias a montante de Francisco Beltrão desempenham um papel importante e direto na ocorrência de inundações no município (MINUZZO, 2016; OZDEMIR; BIRD, 2009), desta forma, a obtenção do grau de perigo a enchentes de certo local pode ser utilizada como forma de orientação para o planejamento territorial, evidenciando regiões com risco para ocupação humana, além de otimizar o uso de áreas para o adensamento populacional (NOVAES; PERUSI, 2016).

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é considerada um dos primeiros procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, tendo como objetivo esclarecer questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional da região de estudo (RECANATESI et al., 2017; BARROS et al., 2016), contudo, na maioria dos casos, o uso e cobertura da terra tem sido o agente deflagrador dos eventos de enchentes e inundações (PARIZE; MANZOLI; CABALLERO, 2017).

Neste sentido, uma alternativa prática e viável ao minimizar custos e tempo na execução dos trabalhos seria a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG), pois, além de permitir a obtenção dos parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas (LEITE; ROCHA, 2016), possibilita correlacionar os mesmos com o uso e cobertura da terra, permitindo estabelecer o grau das intervenções humanas na área estudada, através da associação da suscetibilidade natural da bacia e das intervenções externas (ELSADEK et al., 2019).

Uma maneira de aumentar as informações que são úteis na tomada de decisão de como manejar a bacia hidrográfica, além de simplesmente descrevê-la, é dividir a área de estudo em bacias menores, ou seja, em sub-bacias, permitindo expandir o detalhamento dos dados na região de interesse bem como, integrar as informações ambientais de cada área de contribuição analisada, como foi o caso dos trabalhos de Giarola; Amaral e Oliveira (2019), Silva e Furrier (2019) e Pinto et al. (2016).

Assim, o objetivo de estudo foi estimar o grau de perigo a ocorrência de enchentes e inundações para cada sub-bacia do Rio Marrecas, através dos parâmetros morfométricos, bem como associar com as relações

de uso e cobertura da terra, a fim de identificar a contribuição individual em relação ao grau de perigo de inundação para o município de Francisco Beltrão-PR.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A bacia do Rio Marrecas abrange cinco municípios, contudo como a área de estudo são as sub-bacias de contribuição a montante de Francisco Beltrão, a região de interesse abrangeu os municípios de Flor da Serra do Sul, Marmeleiro e Francisco Beltrão. Os três municípios estão localizados no Sudoeste do Estado do Paraná e totalizam em uma área de 113,84 Km², conforme apresentado na Figura 1.

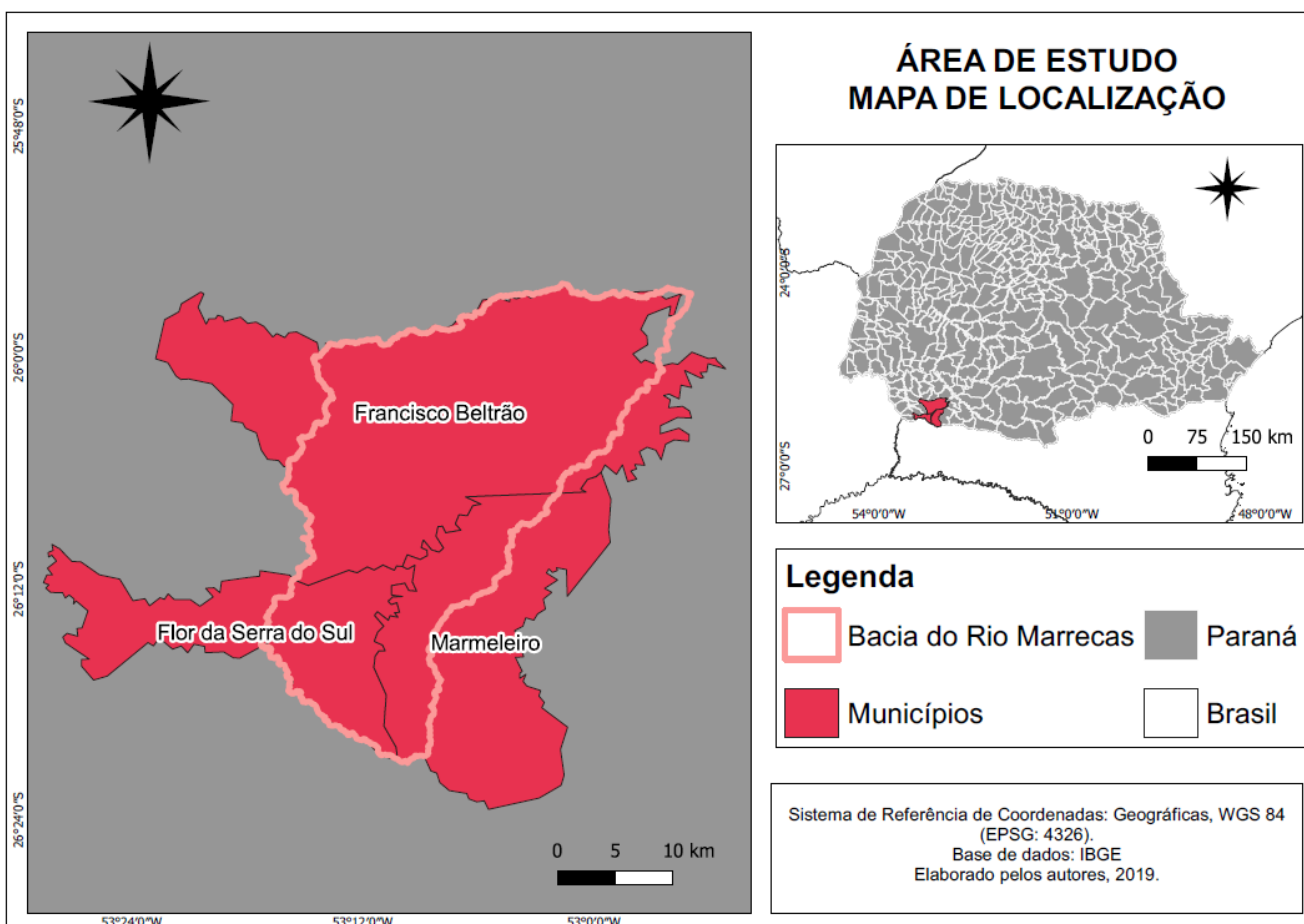


Figura 1 - Mapa de localização dos Municípios da Área de estudo.

Procedimentos metodológicos

Para a realização do estudo, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado no website do projeto TOPODATA, obtido junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O projeto Topodata (INPE) com resolução de 30 metros oferece uma base de dados nacional do MDE a partir do modelo original SRTM (90 metros) (VALERIANO, 2005; VALERIANO; ROSSETTI; ALBUQUERQUE, 2009), tais modelos apresentam correlações, contudo, mesmo sendo produtos homólogos de diferentes resoluções espaciais, podem apresentar divergências altimétricas em função das alterações necessárias para correção de dados espúrios oriundos do modelo original SRTM (90 metros) (NEUMAN; SILVEIRA; SAMPAIO, 2018), sendo observado que o refinamento por krigagem do SRTM-90 para 30 metros resultou em melhorias possibilitando a aplicação de mapeamento morfométrico digital (VALERIANO et al., 2011).

Considerando que a utilização de diferentes MDE podem afetar os valores de atributos topográficos a serem obtidos, bem como sofrer influência quanto ao tamanho de resolução espacial do modelo, tem-se a necessidade de estabelecer critérios para escolha do MDE (NEUMAN; SILVEIRA; SAMPAIO, 2018).

Nesse sentido, para a área estudada, os critérios para a escolha do MDE foi o estudo realizado em Francisco Beltrão por Marion, Santos e Hendges (2015), onde ao comparar MDE oriundos de cartas topográficas, TOPODATA (30 m) e SRTM (90 e 30 m) os autores observaram que, para a mesma área de estudo, os modelos derivados de interferometria se destacaram por se aproximar da realidade do terreno, sendo os melhores resultados obtidos pelo projeto TOPODATA, seguido da SRTM (30 m) por demonstrarem maior semelhança em relação a morfologia.

Para execução das análises espaciais em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi adotado o *software* QGis versão 3.6.3. As folhas 25S54 e 26S54 do MDE (TOPODATA), que compreende os municípios descritos, foram mosaicadas e reprojetados para a projeção UTM do mesmo elipsóide SIRGAS 2000, zona 22S.

Para o processo de delimitação automática de bacias e extração da hidrografia, inicialmente buscou executar o preenchimento de depressões espúrias (*r.fill.dir*), obtendo-se assim o modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC). A área das bacias e a rede de drenagem foram determinadas utilizando o plugin *r.watershed*, considerando o mínimo 1500 de células. As camadas Raster de saída: Unique Label (imagem com bacias hidrográficas) e Stream segments (imagem com a rede de drenagem), foram convertidos

para o formato vetorial (*r.to.vect*), e a partir disso foram selecionadas apenas as bacias hidrográficas que abrangeriam a área de interesse e seus respectivos cursos d'água.

Os parâmetros escolhidos para a análise morfométrica das sub-bacias foram divididos em caracterização física da bacia (área, perímetro, Coeficiente de Compacidade - Kc, Fator Forma - Kf e índice de circularidade - IC); características do sistema de drenagem (ordem dos cursos de água, Densidade de drenagem - Dd, Coeficiente de manutenção - Cm, Densidade hidrográfica - Dh e Índice de Sinuosidade - Is) e características do relevo (hipsometria, Relação do Relevo - Rr, Gradiente de drenagem - Gc e declividade (HORTON, 1945; SCHUMM, 1956; STRAHLER, 1957; VILLELA e MATTOS, 1975; EMBRAPA, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1980; PIEDADE, 1980; BELTRAME, 1994; LOLLO, 1995; ALVES e CASTRO, 2003; CARDOSO et al., 2006; FRANCO; DAL SANTO, 2015), tais parâmetros foram calculados utilizando *software* QGis versão 3.6.3.

Para identificar as sub-bacias suscetíveis a enchentes e inundações, utilizou-se como base a metodologia descrita por Elsadek et al. (2019), onde determinou-se uma escala de grau de perigo (Gp) crescente variando de 1 a 5 para os parâmetros morfométricos (Kc, Kf, Dh, Dd, Ic e Is), sendo grau de perigo 1 correspondente a muito baixa sujeição a inundação a qual aumenta gradativamente, sendo, 2 (baixa), 3 (média), 4 (alta) chegando ao grau de perigo máximo 5 que corresponde a muito alta sujeição a inundação, sendo esses valores separados por frequência.

Na obtenção do grau de perigo consideraram-se os valores mínimos e máximos de cada parâmetro morfométrico a ser avaliado e assumiu-se uma relação linear entre os pontos das amostras e os valores intermediários do grau de perigo, permitindo assim determinar o grau de perigo diretamente proporcional e inversamente proporcional em relação ao parâmetro (Gp_p) conforme apresentado na Equação 1 e Equação 2, respectivamente. Posteriormente determinou-se a média entre os Gp para cada sub-bacia sujeita a enchentes e inundações.

$$\text{Grau de perigo (Gp}_p) = \frac{4(X - X_{\text{mín}})}{(X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}})} + 1 \quad (1)$$

$$\text{Grau de perigo (Gp}_p) = \frac{4(X - X_{\text{máx}})}{(X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}})} + 1 \quad (2)$$

Em que:

X = Valor do parâmetro morfométrico;

X_{máx}/ X_{mín} = Valor máximo/mínimo para o parâmetro morfométrico considerando todas as sub-bacias;

Para o mapeamento do uso e cobertura da terra utilizou-se imagens do satélite Sentinel-2 proveniente do sensor Multispectral Imager (MSI), o critério para seleção da data da imagem (02 de março de 2019) teve por base a quantidade de nuvens da imagem, sendo utilizadas três bandas do sensor MSI (B4 - vermelho; B3 - verde e B2 - azul) para gerar a composição cor verdadeira (RGB-432) sobre a bacia em estudo.

Para o estudo do uso e cobertura da terra foram definidas quatro classes principais, sendo elas: solo impermeabilizado, solo exposto, vegetação e água. Foram coletadas amostras de treinamento das características espectrais dos alvos a serem mapeados, e a partir das amostras de treinamento foi realizada a classificação da imagem no *software* QGis 3.6.3 utilizando o classificador Supervisionado Máxima Verossimilhança (MAXVER).

A verificação de acurácia quanto ao uso e cobertura da terra foi determinada utilizando o *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) instalado no *software* QGis 3.6.3, sendo os valores estimados dos pixels utilizados como parâmetro de concordância entre o mapa de classificação e a amostragem de referência adotada para as estimativas de exatidão. Segundo COHEN (1960) um dos parâmetros mais eficientes para quantificar a exatidão de levantamentos de uso e cobertura da terra é o índice Kappa, calculado a partir da matriz de erro. Nesse sentido, para quantificar a exatidão de levantamentos de uso e cobertura da área de estudo utilizou-se a matriz de confusão, o índice Kappa e a exatidão global (FONSECA, 2000; HUDSON; RAMM, 1987; ITT, 2008).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sub-bacias e rede de drenagem

A divisão da área de estudo em sub-bacias, desde a nascente do rio Marrecas até a cidade de Francisco Beltrão, facilitou a análise dos resultados encontrados permitindo a delimitação de 38 sub-bacias, que juntas resultaram em 709,98 km² de área drenada e 475,56 km de comprimento de rios perenes (Figura 2), além disso permitiu a percepção de que grande parte das sub-bacias (30 unidades) possuem áreas menores que 16 km² e um comprimento axial menor que 7 km.

Considerando a hierarquia de ordenamento de Strahler (1957) foi observado que 30 sub-bacias apresentaram ramificação de 1ª e 2ª ordem, compostas por até 4 nascentes, com somatório do comprimento dos rios perenes menores que 10 km, demonstrando um comportamento diretamente proporcional entre as

variáveis, tais resultados vêm de encontro com Rodrigues et al. (2016) sendo que quanto menor a ordem da bacia, menor é a quantidade de rios existentes, bem como a extensão e ramificação do sistema de drenagem.

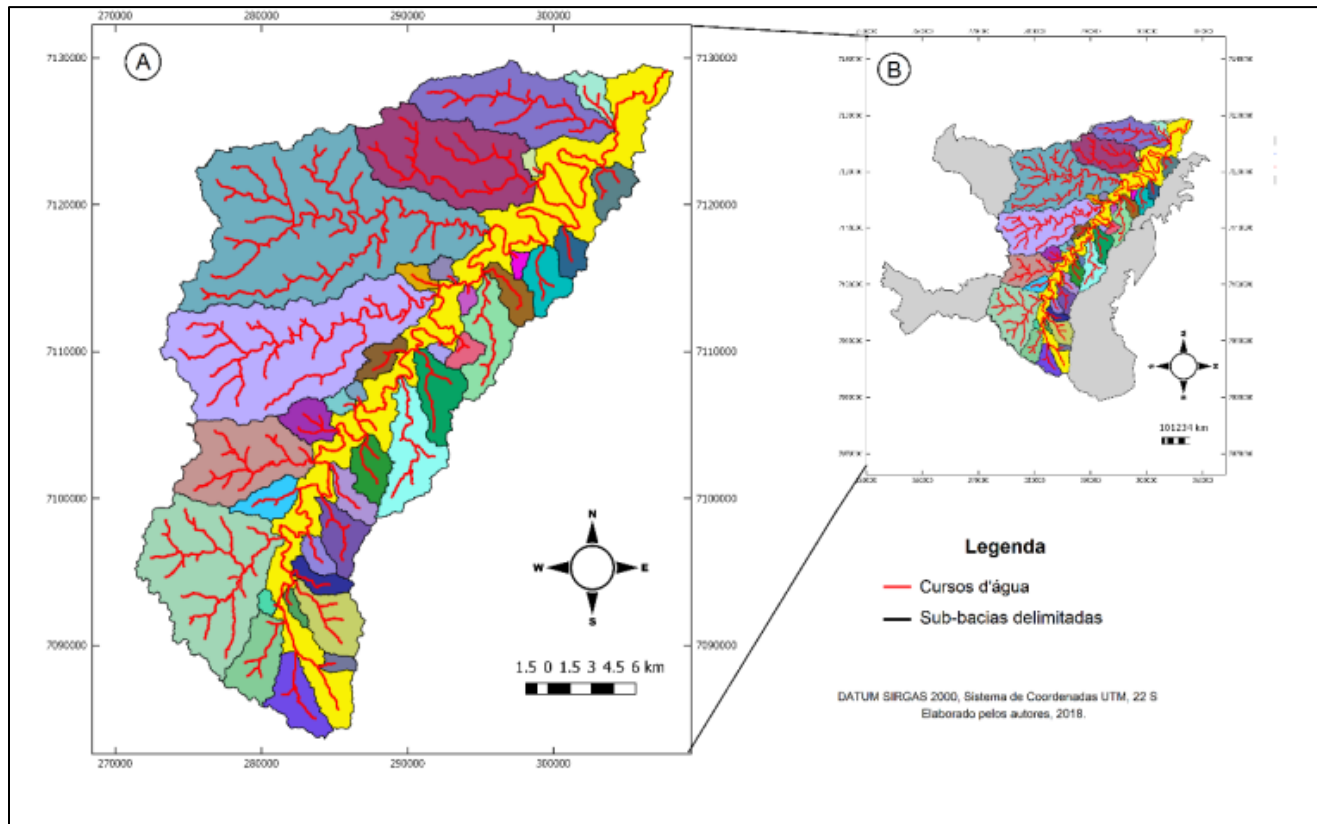


Figura 2 - A: Sub-bacias delimitadas e canais de drenagem; B: Sobreposição com os municípios da área de estudo.

Avaliação dos graus de perigo (Gp)

A avaliação dos graus de perigo (Gp) considerando os parâmetros morfométricos (Tabela 1) permitiram verificar similaridades e diferenças entre os dados de sub-bacias contíguas, possibilitando auxiliar no planejamento de ações que possam minimizar a ocorrência de enchentes e inundações no município de Francisco Beltrão.

Tabela 1 - Valor mínimo e máximo e sub-bacias classificadas em cada Gp.

	Kc	Ic	Kf	Dh	Dd	Is
Mínimo	1,30	0,28	0,20	0,14	0,15	0,86
Máximo	1,88	0,58	0,79	1,36	1,08	3,74
	Graus de Perigo					
	1	2	3	4	5	
Kc	4	7	10	<u>12</u>	5	
Ic	7	<u>11</u>	10	8	2	
Kf	12	<u>15</u>	6	4	1	
Dh	<u>24</u>	11	2	0	1	
Dd	2	7	<u>23</u>	5	1	
Is	1	0	0	7	<u>30</u>	

Segundo Silva e Santos (2016) os parâmetros Kf, Kc e Ic são utilizados para determinar a forma superficial de sub-bacias, relacionando com formas geométricas conhecidas (alongadas ou circulares), sendo características que indicam uma maior ou menor tendência para a ocorrência de enchentes, pois, é possível analisar o tempo de concentração dentro da bacia, ou seja, o tempo em que uma gota d'água de chuva leva para percorrer a distância entre o ponto mais afastado da bacia e o seu exutório.

Em relação ao Coeficiente de Compacidade (Kc), observa-se que, de forma geral, os valores foram maiores que 1,5, indicando pouca suscetibilidade a enchentes e inundações em condições normais de precipitações (SILVA et al., 2018). Os valores de Fator Forma (Kf) indicam uma tendência à forma alongada (SILVA et al., 2018), os resultados vêm de encontro com o Índice de Compacidade de (Ic) visto que também foram menores que 0,5. Portanto, ao analisar-se conjuntamente os parâmetros Kc, Ic e Kf compreendemos que as sub-bacias em geral apresentam forma mais irregular, alongada e estreita, segundo classificação sugerida por Nardini et al. (2013), demonstrando sub-bacias com o tempo de concentração do fluxo até o seu exutório lento, com vazões mais regulares e pouca sujeição a enchentes, em condições normais de precipitações mensal.

Tais resultados corroboram com os valores obtidos para o Gp desses índices, destacando o Kf com o maior número de sub-bacias classificadas em grau 2 (15 sub-bacias) e em grau 1 (12 sub-bacias), totalizando juntas 77,86% da área total de estudo (552,8 km²) e o Kc com o maior número de sub-bacias classificadas em grau 4 (12 sub-bacias) e grande parte das suas sub-bacias classificadas em grau 3 (10 sub-bacias), em que juntas totalizaram uma área de 308,85 km², ou seja, representam 43,50% da área total de estudo.

A análise de áreas de contribuição a montante de Francisco Beltrão permitiu identificar sub-bacias com graus de perigo mais elevados, como para o Kc com 5 sub-bacias classificadas no grau 5 (10,85 km²), sendo 3 localizadas próximo ao município de Francisco Beltrão e 2 mais ao sul da área de estudo nos municípios de Flor da Serra e Marmeleiro (Figura 3) e para o Kf com 4 sub-bacias classificadas no grau 4 (91,77 km²), localizadas na região sul da área de estudo.

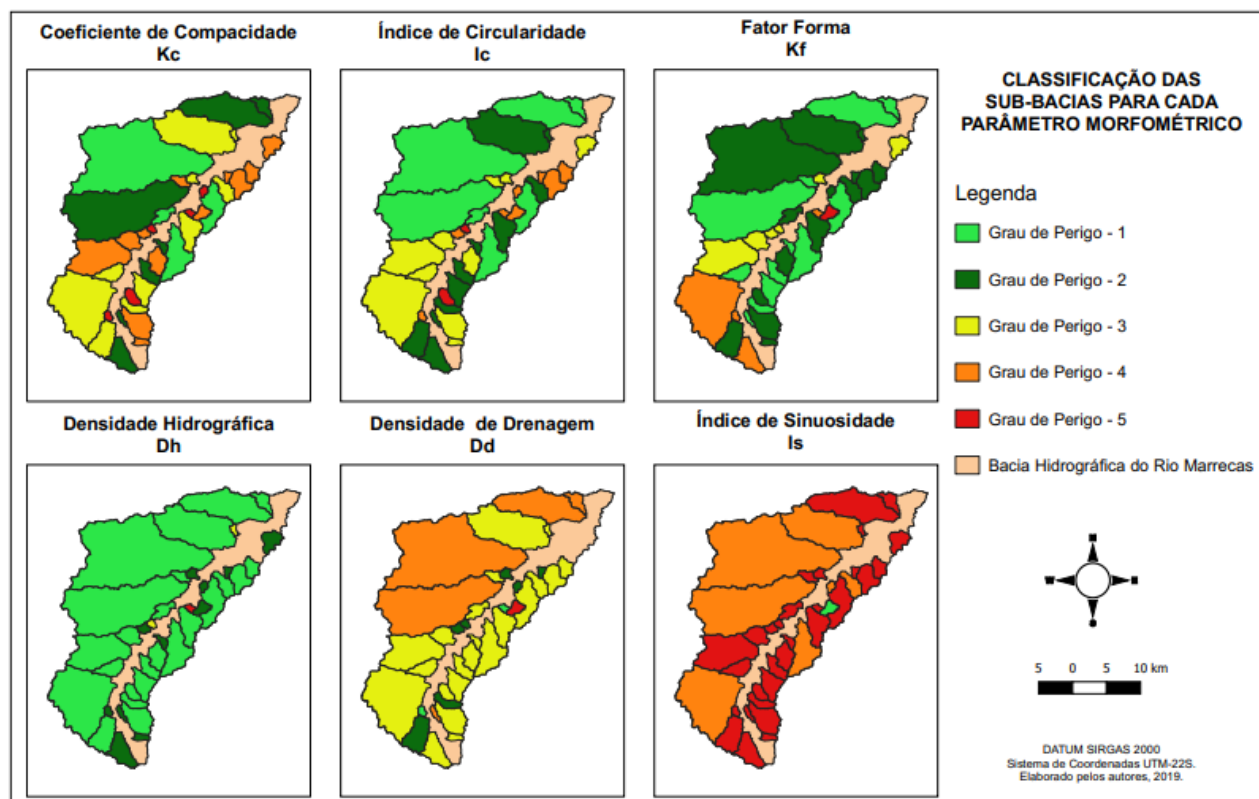


Figura 3 - Classificação das sub-bacias considerando o Gp à sujeição de enchentes e inundações.

Em relação à Densidade Hidrográfica (Dh) as sub-bacias em estudo demonstraram possuir em sua totalidade menos de 1 rio por km², evidenciando assim, uma baixa capacidade de drenagem natural de acordo com a proposta de Sthraler (1957), o que pode trazer problemas para o escoamento das águas devido à dificuldade em gerar novos cursos d'água (SILVA et al., 2018). Tais resultados refletem no maior número de sub-bacias classificadas em grau 1, destacando-se 3 sub-bacias com valores mais elevados rio/km² (grau 3 e 5), todas localizadas no município de Francisco Beltrão.

A Densidade de Drenagem (Dd) indica o nível de desenvolvimento do sistema de drenagem, valores baixos estão relacionados às áreas permeáveis e de relevo plano e suave (OLIVEIRA et al.,2010). Os valores da pesquisa foram menores que 1,08 Km/Km² podendo ser classificados segundo a Beltrame (1994) em sub-bacias com drenagem pobre a mediana, classificadas em sua maioria, em sub-bacias de grau 3 (23 unidades), totalizando juntas 49,36% da área total de estudo, ou seja, 350,47 km². Sub-bacias de maiores áreas, localizadas ao noroeste da área de estudo, próximas da cidade de Francisco Beltrão, foram classificadas em grau 4, totalizando juntas 321,38 km² (45,26%).

Os valores para o Índice de Sinuosidade (Is) foram menores que 1,5 e de acordo com a classificação Riccomini et al. (2009) representa que as sub-bacias do estudo possuem maior porcentagem de canais retilíneos. Nesse contexto, o parâmetro Is se destacou dentre os demais parâmetros, pois apresentou o maior número de sub-bacias classificadas em grau 5 (30 sub-bacias), totalizando em uma área de 272,04 km² (38,32%), tais resultados permitem inferir que nessas sub-bacias a probabilidade para a ocorrência de enchentes e inundações é maior, uma vez que nestes canais ocorrerá maior velocidade do escoamento das águas, destacando-se além destas, 7 sub-bacias em grau 4 (61,12%/ 433,94 km²) localizadas em sua maioria no município de Francisco Beltrão.

A Figura 4, apresenta a média dos graus de perigo vinculados aos parâmetros morfométricos discutidos, nenhuma sub-bacia ficou classificada em grau de perigo 1 e 5, no entanto 5 unidades foram classificadas em Gp 4 compreendendo 13,0 km² (1,83%). A característica predominante das sub-bacias foi em Gp 3 (19 unidades), que juntas totalizaram em 223,64 km² (31,50%) e que em sua maioria estão localizadas ao Sul da bacia, abrangendo os municípios de Flor da Serra e Marmeleiro seguidas de sub-bacias em Gp 2 (14 unidades) correspondem a 433,75 km² (61,00 %) e compreendem boa parte da área do município de Francisco Beltrão.

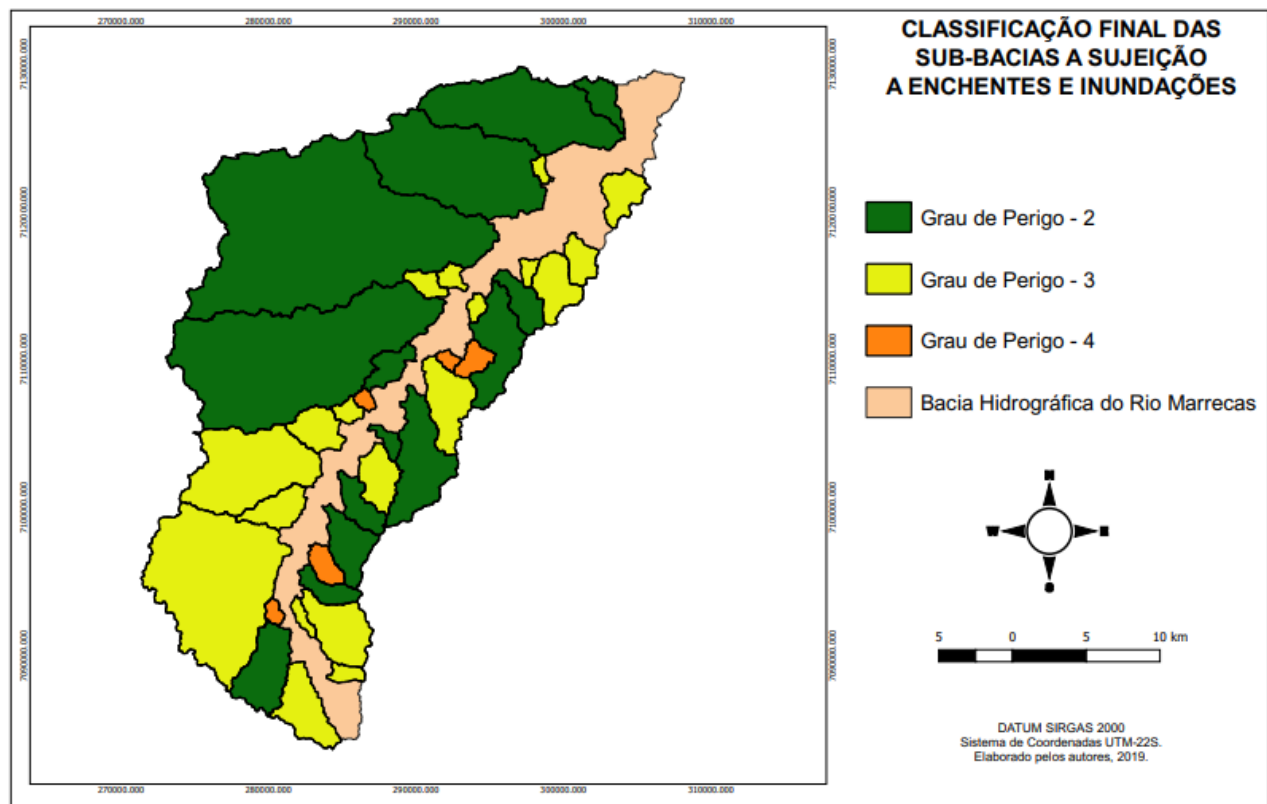


Figura 4 - Classificação final das sub-bacias considerando o Gp à sujeição a enchentes e inundações.

Características do relevo

Considerando as 38 sub-bacias analisadas, 27 apresentaram diferença de altitude entre o sentido nascente e exutório menor que 95 m, visto que as nascentes das sub-bacias apresentaram variação nas altitudes de 525 a 825 m, bem como nos exutórios, de 475 a 730 m. Assim segundo a classificação de Piedade (1980) para a Relação do Relevo (Rr), o desnível da área de estudo foi enquadrado como baixo, variando de ondulado a suave ondulado, o que vêm de encontro com o Gradiente de Canais (Gc), visto que para a maioria dos canais das sub-bacias foram encontrados valores abaixo de 4%, indicando que o caimento dos cursos d'água são suaves com baixa declividade (Figura 5).

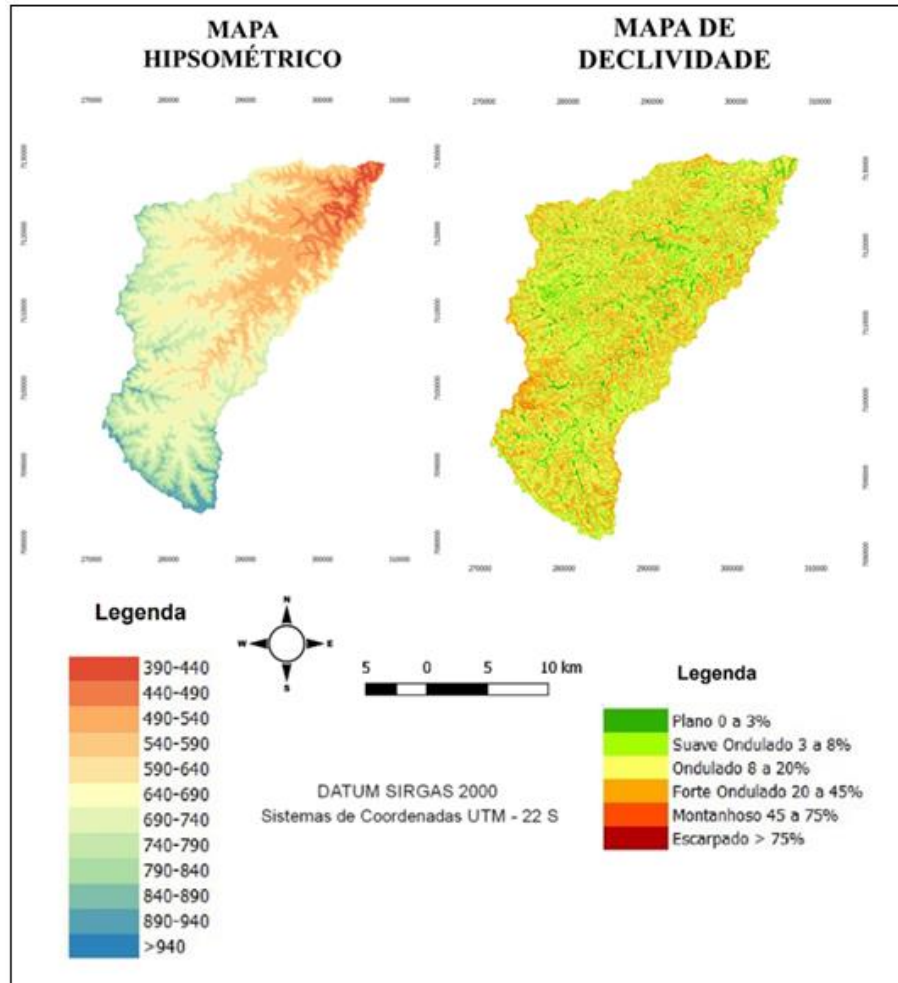


Figura 5 – Mapa Hipsométrico e Declividade da área de estudo.

Associando os baixos valores de Dd com a declividade suave ondulado da área de estudo, tem-se que a capacidade de escoamento das águas de precipitações são baixas, porém, isto pode potencializar a infiltração das águas no solo, ampliando a recarga do lençol freático, reduzindo os efeitos dos picos de vazão e diminuindo os riscos de extravasamento dos canais fluviais até o momento do solo ficar saturado (FRAGA et al., 2014), sendo que após a saturação, a infiltração se torna difícil e toda a precipitação sobre esta porção saturada esco superficialmente.

As áreas com declividade mais acentuadas, como as localizadas na região Sul da área de estudo, podem apresentar maior susceptibilidade à erosão, uma vez que culminam na aceleração da transformação da energia potencial da água em energia cinética e, portanto, maior é a velocidade da massa de água carregar partículas para regiões mais baixas (CREPANI et al., 2001), tal fato pode ser observado pela concentração de sub-bacias de

grau 3 localizadas em áreas de maior declividade e altitude, principalmente na região do município de Flor da Serra.

Os resultados estão de acordo com demais parâmetros já discutidos enfatizando que tais áreas podem contribuir para o fluxo a montante da bacia e influenciar inclusive na dinâmica de sub-bacias classificadas com grau de perigo menos elevados, podendo contribuir com a ocorrência de eventos de enchentes e inundações no perímetro urbano de Francisco Beltrão, principalmente quando associado ao fato de que segundo Minuzzo (2016) a maior parcela do perímetro urbano do município ocupa áreas correspondentes a declividades moderadas (8 e 20%), se tornando um grande fator para ocasionar tais eventos em curto tempo nessa região.

Avaliação do uso e cobertura da terra

A classificação supervisionada MAXVER permitiu observar a grande diversidade encontrada no uso e cobertura da terra nas sub-bacias do Rio Marrecas, visualizou-se destaque em relação à área para a classe vegetação (54,76%), solo exposto (22,75%) e solo impermeabilizado (20,58%), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de classes de uso do solo, área e proporção.

Classes	Área (km ²)	MATRIZ ERRO	Classes	Água	Solo Exposto	Vegetação	Solo Impermeabilizado	TOTAL
Água	13,57		Água	160	0	0	0	160
Solo Exposto	161,51		Solo Exposto	0	1882	0	306	2188
Vegetação	388,82		Vegetação	0	0	4586	0	4586
Solo Impermeabilizado	146,08		Solo Impermeabilizado	0	23	0	1417	1440
Total	709,98	TOTAL	160	1905	4586	1723	8374	

Ao analisar a matriz de confusão, obteve-se o índice Kappa de 0,935, permitindo constatar segundo Fonseca (2000) que a qualidade da classificação executada para o índice de Kappa foi excelente, bem como com uma exatidão global de 96,07%, isso evidencia que, de forma geral, a classificação realizada apresenta um panorama das sub-bacias e é representativa para as classes temáticas analisadas (Figura 6), sendo observada a menor exatidão temática entre as classes de solo exposto e solo impermeabilizado, as análises dos registros de campo levantaram a hipótese de que isso ocorreu, provavelmente, devido à resposta espectral do solo exposto quando há algum tipo de palhada em sua superfície, se assemelhando a coloração de solo impermeabilizado.

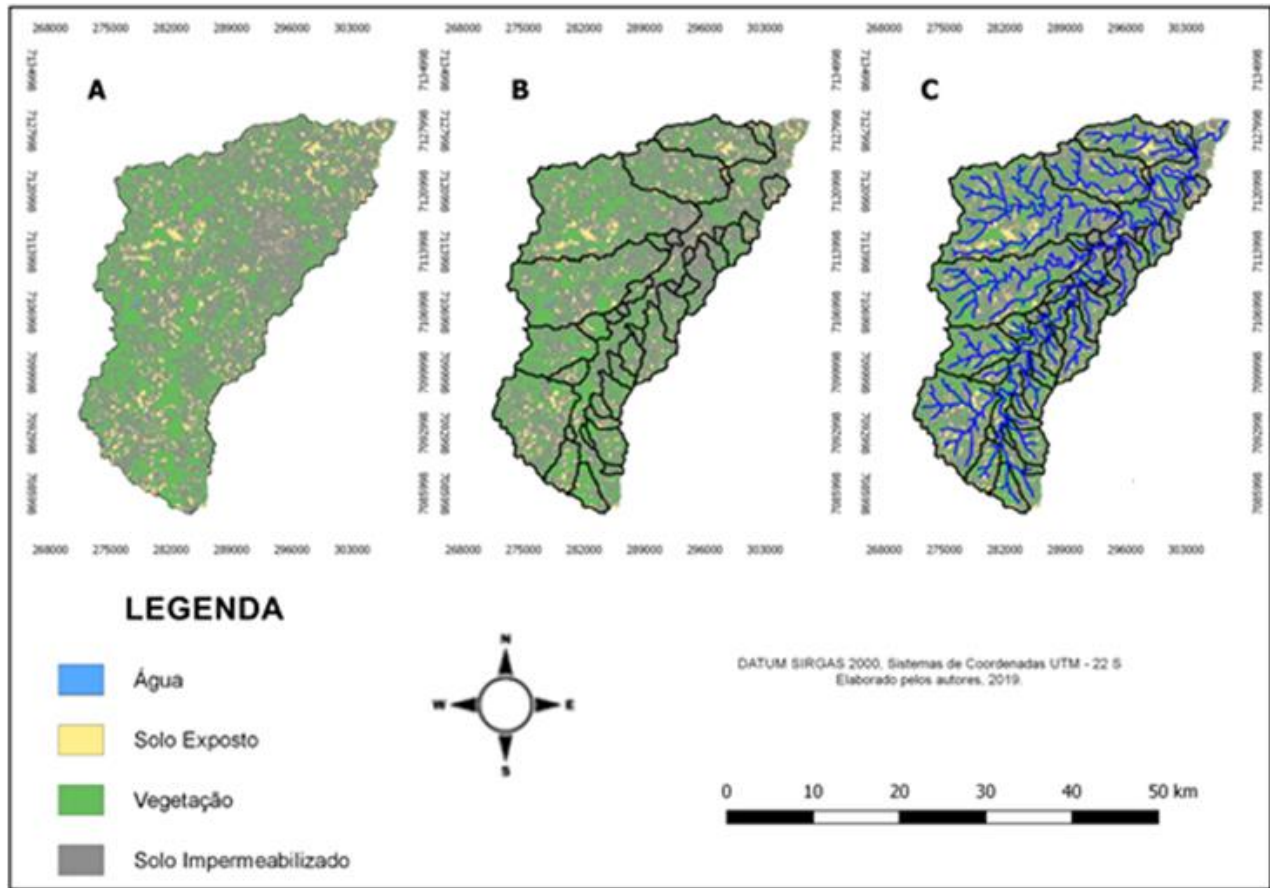


Figura 6 – Mapa de uso e cobertura da terra (A), com as sub-bacias (B) e corpos d’água (C).

A presença da vegetação, principalmente, a nativa nas margens dos cursos d’água, são importantes pelas funções de preservar o recurso hídrico (NASCIMENTO et al.,2016), observa-se que em relação à essa classe, as maiores proporções compreendem sub-bacias localizadas ao sul da área de estudo, sendo visível a concentração das áreas de vegetação no entorno dos percursos d’água, em sua maioria próxima as nascentes, o que contribui para o aumento da taxa de infiltração nessas áreas.

Destaca-se que, em contrapartida, praticamente metade da área de estudo, que corresponde a 43,33%, equivale a áreas com solo impermeabilizado e solo exposto. Otsuschi, Souza e Pereira Filho (2018) relatam que a impermeabilização do solo através de obras de engenharia constitui um fator determinante para a descaracterização das bacias de drenagem devido à diminuição das áreas de recarga e aumento do escoamento superficial e conseqüentemente, o valor do coeficiente de escoamento, contribuindo para o aumento da frequência de inundações.

O mesmo ocorre para as superfícies que não estão protegidas com vegetação ou cobertura morta, pois a precipitação e o vento atuam diretamente no solo reduzindo a taxa de infiltração e conseqüentemente, aumentando a vazão superficial, além de maior possibilidade de ocorrência de erosão do solo exposto e carreamento de sedimentos para o leito dos rios (RODRIGUES; BITTENCOURT; FERNANDES, 2018).

Conforme exposto as características quando ao uso e ocupação da bacia pode contribuir para a ocorrência de eventos de enchentes e inundações, realizando uma análise do uso e cobertura com a classificação final quanto ao Gp observa-se um agravante para a área de estudo ao se identificar sub-bacias em Gp 3 em regiões com a maior influência da impermeabilização do solo e a supressão da vegetação, como na área urbana do município, em destaque na Figura 7.

Os resultados vêm de encontro com o apresentado no Relatório Ambiental Simplificado (RAS, FB-PR, 2019) onde afirmam que o crescimento acelerado e desordenado, associado a interferência contínua do homem provocou danos irreparáveis aos rios que cortam o perímetro urbano do município, não só deteriorando a qualidade das águas, mas ocasionado significativa alteração da vegetação ciliar. Segundo Mensch Buffon e De Souza da Paz (2019) quando as áreas de preservação dos rios são ocupadas, provocam alterações no ambiente e não se tornam harmônicas com a dinâmica natural do rio, o risco de um episódio de inundação se tornar um desastre é intensificado, visto que uma área ambientalmente susceptível às inundações é alterado pela ocupação humana.

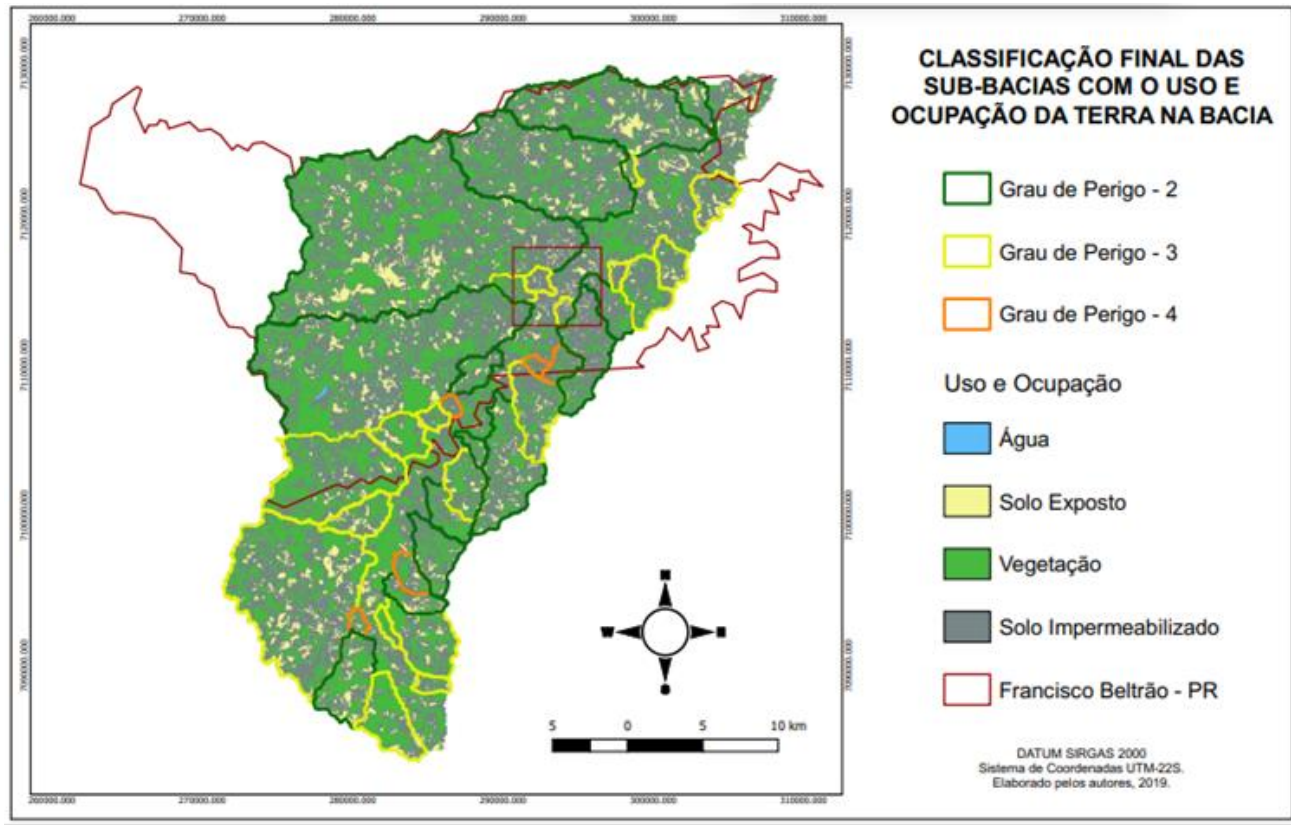


Figura 7– Destaque para sub-bacias próximas ao município associadas a influência externa de uso e cobertura solo.

Considerando o processo de urbanização e as demais variáveis já discutidas na pesquisa (classificação do Gp, altimetria e declividade) destaca-se que sub-bacias intermunicipais podem estar contribuindo para a ocorrência desses eventos no município de Francisco Beltrão, o que vêm de encontro com Farias (2019) sendo notável que o intenso processo de urbanização se estende às sub-bacias, formadas pelos afluentes do rio Marrecas.

Ressalta-se que os resultados aqui apresentados são considerando o MDE (TOPODATA), contudo têm-se consciência que diversos fatores podem influenciar na precisão do MDE, incluindo: a fonte dos dados, o algoritmo usado para calcular diferentes atributos, elevação e resolução espacial (LI et al., 2017); o que pode resultar em erros consideráveis dependendo da fonte dos dados e da escala utilizadas nas análises (CAMPOS et al., 2019), como foi constatado por Carvalho e Latrubesse (2004) que áreas de baixa declividade e cobertura vegetal densa podem apresentar maiores problemas, podendo ser identificadas divergências entre mapeamentos conforme relatado por Sopchaki e Sampaio (2013) refere à identificação de formas de vertentes em perfil de curvatura a partir de dois modelos do Topodata e o mapeamento efetuados por Boiko (2004), sendo

pertinente se analisar a qualidade altimétrica de MDTs com distintas formas de obtenção (DE SOUZA DA PAZ e SAMPAIO, 2017; DE SOUZA DA PAZ e SAMPAIO, 2021).

Considerando a possível influência do erro vertical do MDE torna-se importante a comparação e validação de informações levantadas (CAMPOS et al., 2019), sendo assim os resultados obtidos na pesquisa são contrapostos com o Plano de Contingencia Municipal de Proteção e Defesa Civil de Francisco Beltrão (DEFESA CIVIL/PR, 2018) o qual considera dez áreas de atenção no perímetro urbano, referente a localidades que historicamente já tiveram ou estão envolvidas com ocorrências de inundações, as quais estão localizadas nos bairros Cristo Rei, Júpiter, Luther King, Marrecas, Padre Ulrico, Pinheirão, São Miguel, Linha Santa Barbara e Parque Alvorada.

Utilizando dados vetoriais do tipo ponto para representar tais áreas, torna-se possível observar que as áreas com histórico de ocorrências vêm de encontro com os resultados deste estudo, pois em sua maioria estão concentrados próximo as sub-bacias caracterizadas com Gp 3 (Figura 8). Destaca-se ainda, que diversas outras sub-bacias com Gp 2 compreendem o município de Francisco Beltrão, inclusive tem-se pontos de ocorrências em áreas urbanas dessas bacias, tais sub-bacias também merecem atenção em função de terem apresentado graus de perigo elevados para os parâmetros de densidade de drenagem (D_d) e índice de sinuosidade (I_s).

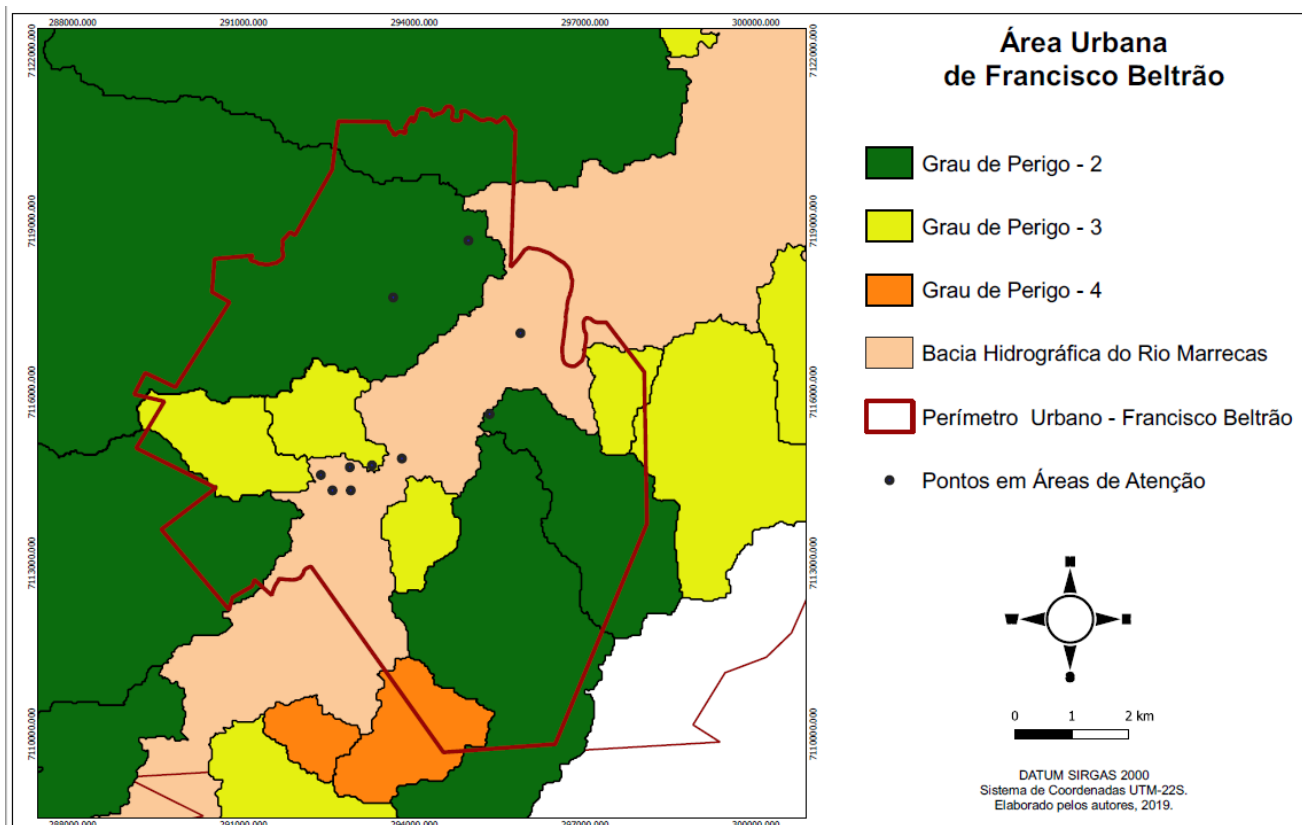


Figura 8 – Pontos em áreas de atenção.

IV. CONCLUSÕES

A análise morfométrica permitiu a detecção da configuração dos cursos de água fornecendo um retrato das 38 sub-bacias delimitadas, a divisão da área de estudo em sub-bacias facilitou a análise dos resultados bem como a determinação do grau de perigo (Gp).

A avaliação dos graus de perigo (Gp) permitiram verificar similaridades e diferenças entre os dados de sub-bacias contíguas, possibilitando auxiliar no planejamento de ações que possam minimizar a ocorrência de enchentes e inundações no município de Francisco Beltrão.

A característica predominante foi de sub-bacias classificadas em Gp 3, algumas delas localizadas na área urbana do município de Francisco Beltrão, próximas a localidades que historicamente já tiveram envolvidas com ocorrências de inundações, tendo destaque ainda nessa região sub-bacias de grau 2, principalmente por apresentarem grau de perigo elevados para os parâmetros de densidade de drenagem (Dd) e índice de sinuosidade (Is).

A análise de áreas de contribuição a montante de Francisco Beltrão permitiu identificar sub-bacias com graus de perigo mais elevados e áreas de declividade mais acentuadas, principalmente na região Sul da bacia (Flor da Serra do Sul e Marmeleiro), indicando que sub-bacias intermunicipais podem estar contribuindo para a ocorrência desses eventos no município de Francisco Beltrão, inclusive na dinâmica de fluxo de sub-bacias classificadas com grau de perigo menos elevados, principalmente quando associado ao fato de metade da área (43,33%) equivale a áreas impermeabilizadas e com solo exposto.

Ressalta-se que apesar de observado que as áreas com histórico de ocorrências vêm de encontro com os resultados da pesquisa, considera-se que, a propensão das sub-bacia a eventos e enchentes e inundações devem ainda ser avaliadas de forma integrada com outras variáveis, além do uso e ocupação da terra, sendo assim, em relação a pesquisas futuras, pretende-se considerar dados fluviométricos/pluviométricos e demais variáveis que possam ser associadas a eventos de enchentes e inundações. É pertinente, conforme relatado por outros autores, a realização do estudo em outras áreas, bem como a utilização de distintas formas de obtenção de MDE a fim de observar divergências entre os mapeamentos, visto que vários fatores podem influenciar na precisão da qualidade altimétrica.

Considera-se que tais resultados contribuem para o planejamento de ações que possam minimizar a ocorrência desses eventos no município de Francisco Beltrão, incentivando uma gestão descentralizada e intermunicipal.

V. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, W. DE, SAMPAIO, S. C., PAISANI, J. C., & ~~(retirar)~~ REIS, R. R. DOS. Implications for peak flows of the Marrecas river basin due to changes in the brazilian forest code. *Engenharia Agrícola*, v.38(2), p.277–283, 2018.
- AGUIAR, W. de. Simulações hidrológicas de cenários de uso e ocupação do solo na bacia drenada pelo alto vale do Rio Marrecas (PR). 2017. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Cascavel, 2017.
- ALVES, J.M.P; CASTRO, P.T.A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*, p. 117-1245, 2003.
- ANDRES, J.; CANEPARO, S; C.; HENDGES, E. R. Riscos de Inundação na Cidade de Francisco Beltrão (PR) por meio de Combinação Linear Ponderada Difusa. *Anais. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE, João Pessoa-PB*, 2015.
- ASSIS DIAS, M.C.; SAITO, S.M.; ALVALÁ, R.C.S.; STENNER, C.; PINHO, G.; NOBRE, C.A.; FONSECA, M.R.S.; SANTOS, C.; AMADEU, P.; SILVA, D.; LIMA, C.O.; RIBEIRO, J.; NASCIMENTO, F., & ~~(retirar)~~ CORRÊA, C.O. Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in brazil, on an intra-urban scale. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 31(1), p. 459-469, 2018.
- BARROS, D. V, SILVA, Q.D, TEIXEIRA, E. C, COSTA, C.M, SANTANA, R.G. 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(5), p. 217-226, 2016.
- BELTRAME, A. V. Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1994.
- CAMPOS, M. M de. ; PAES, R. P. de. ; SILVA, A. R.de C. B.; FANTIN-CRUZ, I. Precisão do modelo digital de elevação (SRTM-Topodata) com base em dados de projetos de aproveitamentos hidrelétricos. *Nativa, Sinop*, v. 7, n. 2, p. 184-188, 2019.
- CAPRARIO, J.; RECH, A. S.; CAPRARIO, G. N.; FINOTTI, A. R. Hydrossedimentological simulation of the quatorze river watershed, Francisco Beltrão (Paraná, Brazil). *Anuário Do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 40(1), p. 102–114, 2017.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CARVALHO, T. M., LATRUBESSE, E. M. Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 5, 85-93, 2004.

CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/municipios-monitorados-2/>. Acesso em: 12/Novembro/2018.

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

COHEN, J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. Educational and Psychological Measurement. v.20, n. 1, p. 37-46, 1960.

COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DO PARANÁ - CEPDEC. Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil – Plano para deslizamentos, alagamentos, inundações, granizo, vendavais e tempestades no município de Francisco Beltrão – PR. Versão 9. Curitiba: Defesa Civil do Paraná, 2018.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos, São Paulo, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 345p. 2001.

DE SOUZA DA PAZ, O. L.; SAMPAIO, T.V.M. Análise estatística dos parâmetros geomorfométricos do relevo em bacias hidrográficas de primeira ordem perenes e intermitentes no oeste paranaense. Revista do Departamento de Geografia, v.41, p.1-13, 2021.

DE SOUZA DA PAZ, O. L.; SAMPAIO, T.V.M. Influência da acurácia altimétrica do modelo digital do terreno na elaboração do índice de concentração de rugosidade global (ICR – Global). Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento. PEREZ FILHO, A; AMORIM, R.R. (org), Campinas, Instituto de Geociências – UNICAMP, p. 4810-482, 2017.

ELSADEK, W. M.; IBRAHIM, M. G.; MAHMOD, W. E. Runoff hazard analysis of Wadi Qena Watershed, Egypt based on GIS and remote sensing approach. Alexandria Engineering Journal, v.58, p. 377-385, 2019.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos: Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro: 1979. Embrapa-SNLCS, Micelânea, p. 83, 1979.

FARIAS, A. S. de. Inundações urbanas em Francisco Beltrão - PR: riscos e vulnerabilidades socioambientais. 2019. Tese. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2019.

FONSECA, L. M. G. Processamento digital de imagens. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 105p, 2000.

FRAGA, M. S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D. P.; BARROS, F. M.; MARTINS, I, S, B. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. Nativa, v. 2, n. 4, p. 214-218, 2014.

FRANCO, A. C. V.; DAL SANTO, M. A. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do Rio Luís Alves. Mercator, Fortaleza, v.14, n.3, p.151-167, 2015.

GIAROLA, I. B. S.; AMARAL, C.; M.; OLIVEIRA, D. E. de. Análise morfométrica das sub-bacias de 3ª ordem da bacia hidrográfica do Rio do Peixe, Minas Gerais. Confins, Revista Franco-Brasileira de Geografia, n. 43, 2019.

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

HUDSON, W. E RAMM, C. Correct Formula of the Kappa Coefficient of Agreement. Engenharia Fotogramétrica e Sensoriamento Remoto, 53, 421-422, 1987.

ITT. Visual Information Solutions. ENVI feature extraction module user's guide. Boulder, USA. 2008.

LEITE, M. E.; ROCHA, A. M. Sistema de Informações Geográficas (SIG) aplicado ao cálculo de índices morfométricos em bacia hidrográfica. Geo UERJ, Rio de Janeiro, n.28, p.44-65, 2016.

LI, X.; ZHANG, Y.; JIN, X.; HE, Q.; ZHANG, X. Comparison of digital elevation models and relevant derived attributes. Journal of Applied Remote Sensing, Bellingham, v. 11, n. 4, p. 1-23. dez. 2017.

LOLLO, J. A. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MARION, F.A.; SANTOS, E.B.; HENDGES, E.R. Análise de modelos digitais de elevação para modelagem do relevo no município de Francisco Beltrão – PR. Revista Geografia Acadêmica, v.9, n.2, xii, 2015.

MENSCH BUFFON, E. A.; DE SOUZA DA PAZ, O.L. Geoprocessamento para mapeamento das áreas de risco de inundações: uma aplicação na sub-bacia hidrográfica do Rio Palmital, Colombo e Pinhais – Paraná. Revista Brasileira de Geografia Física, [S.l.], v. 11, n. 6, p. 2186-2200, jan. 2019.

MINUZZO, S. Análise das características do solo de Francisco Beltrão-PR e suas influências nas inundações do perímetro urbano. 2016. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

NARDINI, R. C.; POLLO, R. A.; CAMPOS, S.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; GOMES, L. N. Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. Irriga, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013.

NASCIMENTO, M. C. DO, SOARES, V. P., RIBEIRO, C. A. Á. S., & SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo. Ciência Florestal, v. 15(2), 207, 2016.

NEUMAN, G; SILVEIRA C. T. DA; SAMPAIO, T.V.M. Análise da influência da escala na obtenção dos atributos topográficos derivados de MDE. O Espaço Geográfico em Análise - Ra'e Ga, Curitiba, v.43 Temático de Geotecnologias , p. 179 -199 , 2018.

NOVAES, C. P.; PERUSI, M. C. Determinação do grau de risco à enchente na Bacia do Córrego Morumbi, município de Piracicaba-SP. Revista Formação (online), v.3, n.23,p. 143-162, 2016.

OLIVEIRA, P. T. S. DE ; 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. v.14, n.8, p.819-825, 2010.

OTSUSCHI, C.; SOUZA, B. S. P. E.; PEREIRA FILHO, W. Escoamento superficial e fragmentação da vegetação remanescente nas bacias dos lajeados São José e Passo dos Índios no oeste do estado de Santa Catarina, Brasil. Caminhos de Geografia, Uberlândia-MG, v.19, n. 66, p. 169-188, 2018.

OZDEMIR, H; BIRD, D. Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. Environmental Geology. V. 56, p. 1405-1415, 2009.

PARIZE, L.; MANZOLI, A.; CABALLERO, P. F. C. Eventos climáticos de riscos hidrometeorológicos na cidade de ARARAQUARA. *Holos Environment*, v. 11(2), 126, 2017.

PIEIDADE, G.C.R. Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP. 1980. 161f. Livre Docência (Tese de Livre Docência)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1980.

PINTO, V. G.; LIMA, R. N. de S.; SANTOS, R. C. P.; RIBEIRO, C. B. de M. Influência do número de classes de vulnerabilidade na determinação da suscetibilidade morfométrica à inundação. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, v. 11, n. 3, p. 637, 2016.

RAS - Relatório Ambiental Simplificado - Projeto de Elementos de Drenagem direcionados a contenção de cheias do município de Francisco Beltrão. Equipe técnica – Secretaria de Planejamento Instituto de Pesquisa e Planejamento de Francisco Beltrão, Prefeitura de Francisco Beltrão - PR, 2019. Disponível em: http://www.iat.pr.gov.br/sites/aguaterra/arquivos_restritos/files/documento/202007/relatorio_ambiental_simplificado_final.pdf. Acesso em: 12 de abril, 2021.

RECANATESI, F., PETROSELLI, A., RIPA, M. N., LEONE, A. Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: A study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy). *Journal of Environmental Management*, 201, 6–18. 2017.

RICCOMINI, C; ALMEIDA, R. P; GIANNINI, P. C. F; MANCINI, F. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W; FAIRCHILD, T. R; TOLEDO, M. C; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

RODRIGUES, R. S. S., FERNANDES, L. L., CRISPIM, D. L., VIEIRA, A. S. DE A., & PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do igarapé da Prata, Capitão Poço – Pará – Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 11(3), 143, 2016.

RODRIGUES, R., BITTENCOURT, G., & FERNANDES, L. Escoamento Superficial em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural da Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*, n.70(2), p.605–628, 2018.

SANTIS, D. G. DE. Resumo: Impactos de inundações em áreas urbanas: o caso de Francisco Beltrão - PR. *O Espaço Geográfico em Análise - Ra'e Ga*, Curitiba, n. 4, p. 155, 2000.

SCHUMM, S.A. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*, v.67, p.597-646, 1956.

SILVA, B, F.; SANTOS, K, A. Análise físico-funcional da bacia hidrográfica do córrego Samabaia/GO. *Rev. Geográfica Acadêmica*, v.10, n.1. 2016.

SILVA, E. L.; GURGEL, H.; FREITAS, C. M. Saúde e desastres no Brasil: uma reflexão sobre os aspectos envolvidos em eventos hidrológicos e rompimento de barragens. *CONFINS, Revista Franco-Brasileira de Geografia*, n. 42, 2019.

SILVA, G. C. DA; ALMEIDA, F. DE P.; ALMEIDA, R. T. S. MESQUITA, M.; JUNIOR, J. A. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Rangel-Piauí, Brasil. *Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia*, v.15 n.28, 2018.

SILVA, I. C. da; FURRIER, M. ANÁLISE MORFOLÓGICA E MORFOMÉTRICA DAS SUB-BACIAS DOS RIOS CASCATA E TINTO, LITORAL NORTE DO ESTADO DA PARAÍBA – BRASIL. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 20, n. 2, p. 239-254, 2019.

SOPCHAKI, C. H.; SAMPAIO, T. V. M. Estudo de metodologias para identificação de formas de vertentes na Bacia do Rio Curralinho – Região metropolitana de Curitiba/PR. Revista Geografar Curitiba, v.8, n.1, p.100-124, 2013.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. New Halen: Transactions: American Geophysical Union, v.38. p. 913-920, 1957.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, 2005.

VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M.; STORINO, M.; AMARAL, B. D. MENDES JR, J. N. LIMA, D. J. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission-90m data. Computers & Geosciences, v. 32, p. 1169–1181, 2006.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, 2009.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw- Hill do Brasil, 1975.