

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
INSTITUTO DE SANEAMENTO AMBIENTAL

Avaliação do sistema de escoamento superficial do arroio Barracão e vulnerabilidade e suscetibilidade ao risco de inundação

Relatório Final



CAXIAS DO SUL, SETEMBRO DE 2020.

FICHA TÉCNICA

Equipe Técnica:

Coordenação Geral

Biól. Prof. Dra. Vania Elisabete Schneider – CRBio 028037/03-D

Técnicos do Instituto de Saneamento Ambiental

Biól. Profa. Dra. Gisele Cemin – CRBio045784/03-D

Biól. Msc. Denise Peresin – CRBio045302/03-D

Eng. Ambiental Prof. Msc. Tiago Panizzon – CREA RS172587

Eng. Civil Geise Macedo dos Santos – CREA RS241049

Tecnólogo em Qualidade Willian De Conto

Acad. Eng. Ambiental Bianca Breda

Bolsistas de Iniciação Científica do Instituto de Saneamento Ambiental

Acad. Eng. Ambiental Maria Eduarda Ribeiro de Souza

Acad. Eng. Civil João Francisco Valentini

Contratante

Prefeitura Municipal de Guaporé, inscrita sob CNPJ 87.862.397/0001-09, localizada na Av. Silvio Sanson, nº 1135, bairro Centro, Guaporé - RS, 99200-000.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	10
Figura 2. Polígonos delimitados para o levantamento aéreo.....	11
Figura 3. Registro fotográfico das atividades de levantamento aéreo.....	12
Figura 4. Ortomosaico resultante do levantamento aéreo.....	14
Figura 5. Modelo digital de superfície resultante do levantamento aéreo.....	15
Figura 6. Exemplificação das classes de uso e cobertura do solo.....	16
Figura 7. Fluxograma de elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo.....	17
Figura 8. Fluxo de elaboração da Análise Hierárquica de Processo (AHP).....	22
Figura 9. Fluxograma de uso do ADV.....	27
Figura 10. Fluxograma operação do ADCP.....	27
Figura 11. Registro fotográfico das medições de vazão.....	28
Figura 12. Pontos coletados com RTK.....	30
Figura 13. Sub-bacias do modelo hidrológico.....	31
Figura 14. Conservação de energia.....	32
Figura 15. Seção transversal esquemática.....	33
Figura 16. Esquema representativo da modelagem em fluxo não-permanente.....	34
Figura 17. Esquema representativo da modelagem em fluxo permanente.....	35
Figura 18. Seções transversais utilizadas no modelo HEC-RAS.....	36
Figura 19. Variabilidade do uso do solo entre 1989 e 2019.....	38
Figura 20. Uso e cobertura do solo baseado nas imagens aéreas.....	40
Figura 21. Áreas de preservação permanente.....	42
Figura 22. Uso e cobertura do solo nas áreas de preservação permanente.....	43
Figura 23. Nascentes.....	45
Figura 24. Mapa de hipsometria.....	46
Figura 25. Mapa de declividade.....	48
Figura 26. Mapa de perda de solos.....	49
Figura 27. Mapa de unidades geológicas.....	51
Figura 28. Mapa de classes pedológicas.....	53
Figura 29. Mapa de fitogeografia.....	55
Figura 30. Precipitação total anual na região e no município de Guaporé ao longo de 74 anos.....	56
Figura 31. Frequência de eventos de chuva intensa na região.....	57
Figura 32. Frequência de eventos de chuva intensa no município de Guaporé.....	57
Figura 33. Precipitação média mensal no município de Guaporé.....	58
Figura 34. Máxima precipitação diária registrada no mês no município de Guaporé.....	58
Figura 35. Registro de chuva com intervalo de 1 minuto.....	59
Figura 36. Precipitação Mensal 2019/2020.....	60
Figura 37. Acumulado de uma hora.....	61
Figura 38. Acumulado de duas horas.....	61
Figura 39. Cota medida no posto fluviométrico.....	62
Figura 40. Vazão calculada a partir da curva-chave.....	63

Figura 41. Mapas dos fatores padronizados	64
Figura 42. Suscetibilidade a alagamentos pela AHP	66
Figura 43. Suscetibilidade a inundação pela AHP	67
Figura 44. Análise hierárquica de processo nas áreas de registro de alagamentos	68
Figura 45. Curva-Chave de vazões	69
Figura 46. Sub-bacias de estudo	71
Figura 47. Resultado das manchas de inundação para diferentes períodos de retorno	72
Figura 48. Resultado das manchas de inundação para diferentes períodos de retorno	73
Figura 49. �reas sujeitas à inundação	75
Figura 50. Nível do arroio barracão e cotas de atenção, alerta e inundação	77
Figura 51. Rede pluvial de Guaporé	77
Figura 52. Mapa de áreas de Ações – Recomendações	81
Figura 53. Possíveis locais de reservatórios de detenção	84
Figura 54. Comparação de vazão entre cenários para TR 50 anos	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pontos de controle para posicionamento do ortomosaico.....	13
Tabela 2. Pesos padronizados adotados.....	24
Tabela 3. Matriz de comparação pareada para alagamentos	25
Tabela 4. Matriz de comparação pareada para inundação.....	25
Tabela 5. Distribuição das áreas e porcentagens de ocupação na bacia do Arroio Barracão.....	37
Tabela 6. Uso e cobertura do solo elaborado a partir do levantamento aéreo.....	41
Tabela 7. Distribuição do uso e cobertura do solo nas áreas de preservação permanente ...	44
Tabela 8. Edificações inseridas nas áreas de preservação permanente	44
Tabela 9. Distribuição das áreas e porcentagens de hipsometria	47
Tabela 10. Distribuição das áreas e porcentagens de declividade.....	47
Tabela 11. Distribuição das áreas e porcentagens de perda do solo.....	50
Tabela 12. Distribuição das áreas e porcentagens de unidades geológicas.....	50
Tabela 13. Distribuição das áreas e porcentagens de classes pedológicas	52
Tabela 14. Eventos de Precipitação com mais de 10 mm em 1 dia.....	60
Tabela 15. Pesos calculados pela matriz de comparação ponderada para alagamentos e inundação.....	65
Tabela 16. Áreas e porcentagens das classes da AHP de alagamentos e inundação.....	67
Tabela 17. Dados quantitativos da AHP nas áreas de registro de alagamento.....	69
Tabela 18. Vazões de pico para cada bacia simuladas para diferentes períodos de retorno	70
Tabela 19. Número de edificações afetadas por bairros nos diferentes períodos de retorno simulados.....	74
Tabela 20. Área atingida pela água nos períodos de retorno simulados	74
Tabela 21. Classes de uso do solo em cada sub-bacia contribuinte ao canal	76
Tabela 22. Vazão de pico em diferentes cenários de impermeabilização	82

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Estimativa de perda de solo	18
Equação 2. Média mensal do índice de erosão	19
Equação 3. Fator L.....	19
Equação 4. Fator LS.....	20
Equação 5. Equação Potencial.....	28
Equação 6. Vazão	33
Equação 7. Convergência para a subdivisão	33
Equação 8. Vazão ajustada	69

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	8
2	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA DO ARROIO BARRACÃO... 8	
2.1	DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO E SITUAÇÃO PROBLEMA	8
2.2	METODOLOGIAS APLICADAS.....	10
2.2.1	Levantamento aéreo.....	10
2.2.2	Avaliação temporal do uso e ocupação do solo	15
2.2.3	Áreas de preservação permanente.....	17
2.2.4	Hipsometria	17
2.2.5	Declividade.....	17
2.2.6	Perda de solos	18
2.2.7	Geologia	20
2.2.8	Pedologia.....	20
2.2.9	Fitogeografia.....	20
2.2.10	Análise Hierárquica de Processo – AHP.....	21
2.2.11	Modelagem Hidráulica e Hidrológica	26
2.2.11.1	Medição de vazão.....	26
2.2.11.2	Curva-Chave	28
2.2.11.3	Levantamento do canal e Modelo Digital de Elevação (MDE)	29
2.2.11.4	Modelagem Hidrológica.....	30
2.2.11.5	Modelagem Hidráulica.....	32
2.2.11.6	Condições de Contorno	34
2.2.12	Levantamento da rede pluvial	36
2.3	RESULTADOS.....	37
2.3.1	Avaliação de Uso e cobertura do solo.....	37
2.3.2	Áreas de preservação permanente.....	41
2.3.3	Hipsometria	45
2.3.4	Declividade.....	47
2.3.5	Perda de solos	48
2.3.6	Geologia	50
2.3.7	Pedologia.....	51
2.3.8	Fitogeografia.....	53

2.3.9	Caracterização da precipitação e vazões locais.....	55
2.3.10	Análise Hierárquica de Processo – AHP.....	63
2.3.11	Modelagem hidrológica	69
2.3.11.1	Curva-chave	69
2.3.11.2	Simulação hidráulica-hidrológica	70
2.3.11.3	Levantamento da rede pluvial	77
2.3.11.4	Definição de práticas e procedimentos para minimização de riscos de inundação	78
2.3.11.5	Práticas agrícolas para controle da erosão.....	86
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	89
4	REFERÊNCIAS.....	90
	ANEXOS	93
	APÊNDICES	96

1 APRESENTAÇÃO

Este relatório parcial apresenta os resultados alcançados até o presente momento no contrato 396/2019 firmado entre a Universidade de Caxias do Sul e a Prefeitura Municipal de Guaporé.

O objetivo deste trabalho é a avaliação do sistema de escoamento superficial do Arroio Barracão no município de Guaporé no que tange à vulnerabilidade e suscetibilidade ao risco de inundação, e proposição de medidas mitigadoras.

São apresentadas neste relatório, as informações do diagnóstico ambiental da Bacia do Arroio Barracão, envolvendo os aspectos físicos que caracterizam a bacia tais como: avaliação do uso e ocupação do solo e sua evolução temporal, pedologia, geologia e relevo, os quais se relacionam diretamente no comportamento do escoamento superficial do recurso hídrico que se agrava em períodos de intensa precipitação.

Também são apresentadas as etapas associadas à modelagem hidráulica-hidrológica do sistema de escoamento definindo as áreas afetadas com eventos de inundação para diferentes períodos de retorno ao longo do canal. Por fim, são indicados possíveis cenários de intervenção estrutural e não estrutural a fim de minimizar os efeitos dos eventos de precipitação intensa na bacia hidrográfica.

2 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA BACIA DO ARROIO BARRACÃO

Por meio de mapeamento temático, pesquisa em dados existentes e observação direta, é possível identificar fragilidades que auxiliam na compreensão do comportamento da bacia sob eventos climáticos. Para tanto, o maior número possível de informações deve ser analisado na tentativa de identificar sua importância na dinâmica da bacia. Na sequência são apresentadas as metodologias utilizadas e resultados obtidos.

2.1 DESCRIÇÃO DO MUNICÍPIO E SITUAÇÃO PROBLEMA

O município de Guaporé possui uma população estimada de 25.727 habitantes, distribuídos em área de 297,54 km², com densidade demográfica de 86,46 hab./km² (IBGE, 2019). Deste total de habitantes, mais de 90% residem na área urbana, elevando a densidade demográfica para 3.322 hab./km², considerando a área urbanizada do município.

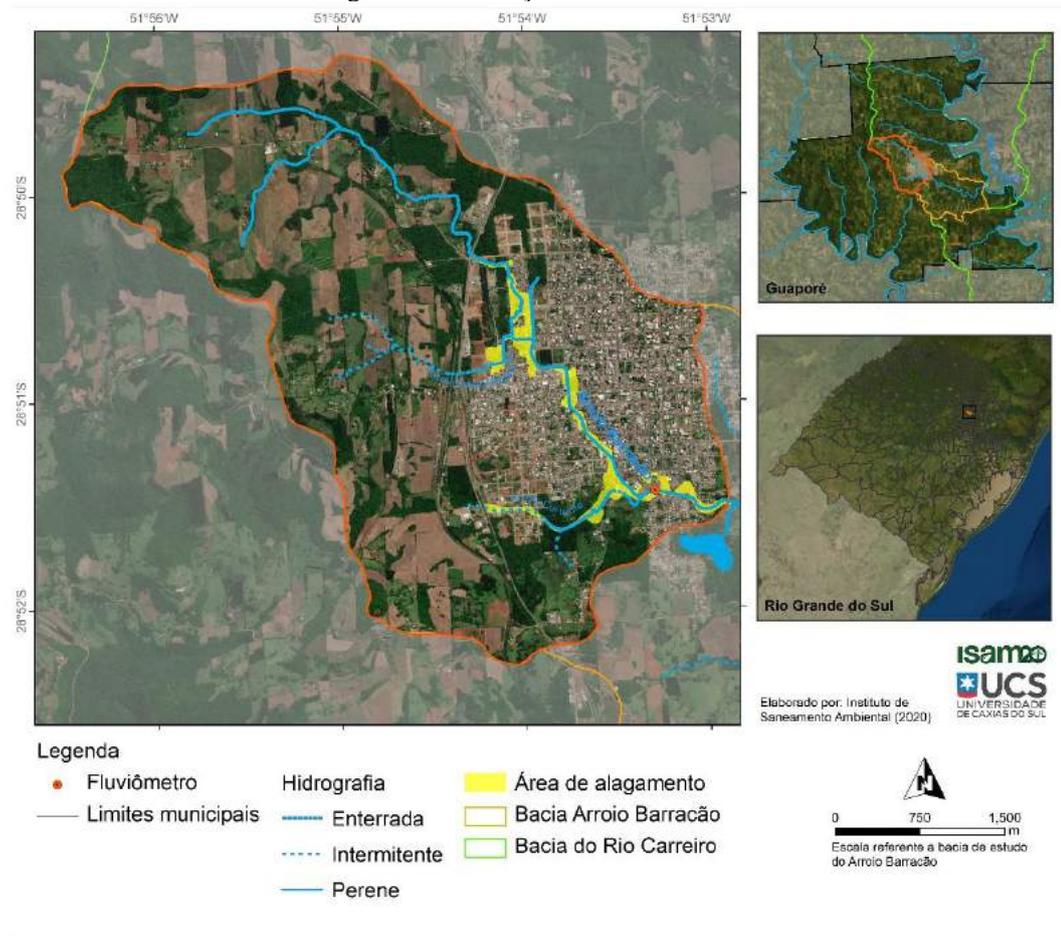
A bacia hidrográfica do Arroio Barracão, alvo deste estudo (Figura 1), está inserida na sua totalidade no município de Guaporé, abrangendo uma área de 38,79 km², equivalente a 13% da área total do município, enquanto a área urbana ocupa 2,34% (6,97 km²). As suas nascentes estão na porção Noroeste e sua foz, na porção Sudeste do município, junto ao Rio Carreiro, perpassando pela área municipal no sentido Noroeste-Sudeste, incluindo em sua área, parte da zona urbana de Guaporé.

Para este trabalho, considerou-se como exutório da bacia do Arroio Barracão o final da área urbana para a modelagem hidráulica e o fluviômetro como exutório para a modelagem hidrológica. Um fluviômetro foi inserido na bacia localizado nas coordenadas geodésicas Latitude Sul 28°51'26,35" e Longitude Oeste 51°53'17,63". Assim, considerando esta delimitação, a bacia de estudo passou a ocupar uma área de 16,70 km², dos quais, 29,50% (4,90 km²) correspondem a área urbana, região onde o arroio está canalizado. Partindo do fluviômetro, a montante, são cerca de 1,8 quilômetros de canal construídos. Entre a nascente e a região canalizada, são mais 1,5 quilômetros de canal, mas de conformação natural. A jusante do fluviômetro, até o exutório da bacia de estudo, são 0,60 quilômetros do arroio Barracão, cerca de 0,4 quilômetros canalizados artificialmente. Na região de canal construído é onde ocorrem as inundações como mostra a Figura 1.

Destacam-se os arroios Cristo Redentor localizado na porção central da bacia e o arroio Curtume, próximo ao exutório da bacia, ambos contribuem para a vazão do arroio Barracão, além do arroio não nomeado que se une ao arroio Barracão na porção rural da bacia.

Os constantes alagamentos alertam para uma condição crônica da região, a qual necessita de informações técnicas para a mitigação dos efeitos adversos da precipitação, resultantes não só da precipitação, mas também da ocupação das margens do arroio e sua planície de inundação.

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: ISAM (2020).

2.2 METODOLOGIAS APLICADAS

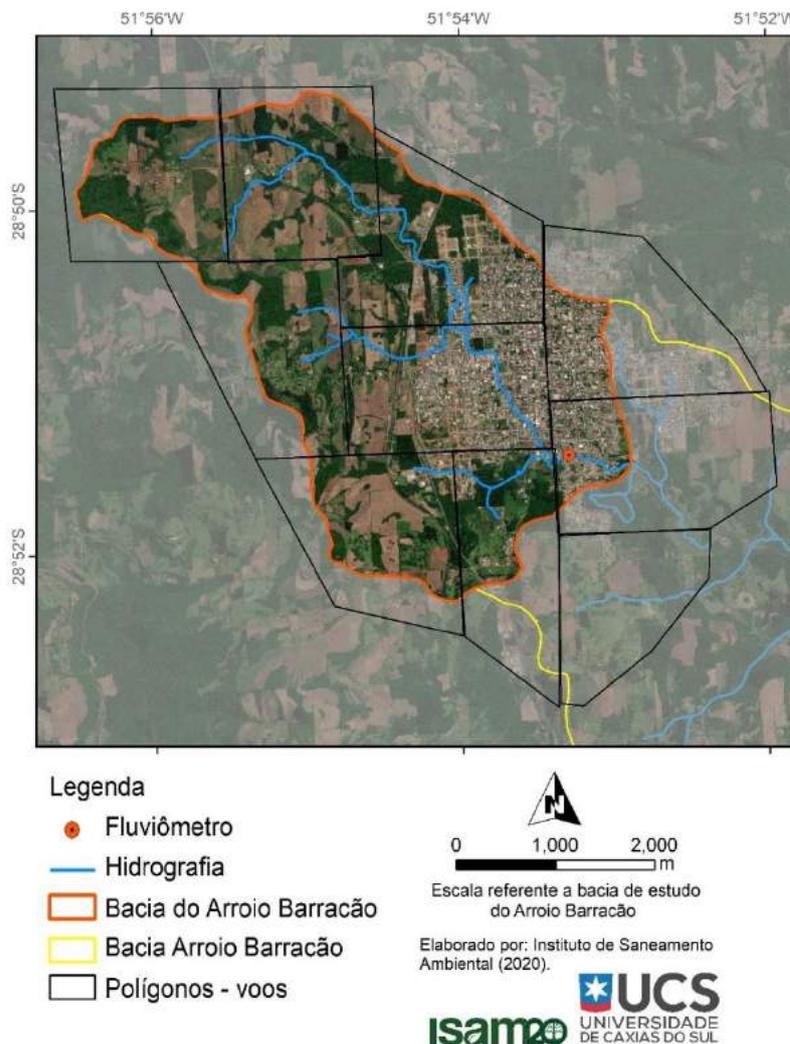
2.2.1 Levantamento aéreo

Como contribuição para a avaliação da bacia, foi realizado o levantamento aéreo da região com objetivo de gerar um imageamento de alta resolução e modelo digital de elevação. A área montante a instalação do fluviômetro contempla grande parte da área urbana. Os resultados do imageamento serão disponibilizados para o solicitante, no formato TIFF, juntamente com este relatório.

Para a realização do levantamento aéreo, utilizou-se o Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) de asa fixa Maptor fabricado pela Hórus Aeronaves. Os VANTs de asa fixa necessitam de uma área plana, livre de obstáculos e com cobertura composta de vegetação rasteira para o lançamento e pouso da aeronave. Dessa forma, a área utilizada para tal fim foi do Autódromo Internacional de Guaporé, localizado a leste da bacia, fora da área de estudo.

O Maptor trabalha com a programação dos voos em plataforma Windows® no software denominado de *Mission Planner*. No programa são definidas as características de cada voo, como área a ser sobrevoada, a altitude do voo, direção do vento, ponto de decolagem e pouso. A altura dos voos foi de 400 metros visando um sobrevoo seguro da área de estudo. Informações como direção do vento e área a ser sobrevoada foram atualizadas a cada novo voo. Foram observadas também as condições climáticas para a execução dos voos, sendo que o vento não pode passar de 10 m/s e não pode haver risco de chuva. A autonomia da aeronave de cerca de 40 minutos limitou a área a ser levantada em cada voo. Em função disso, foram necessários 10 voos para cobrir a área de interesse, como demonstrado na Figura 2, onde cada voo ocorreu sobre cada um dos polígonos. Os voos ocorreram nos dias 21, 23, 24 e 25 de outubro, quando foi verificado um clima ensolarado.

Figura 2. Polígonos delimitados para o levantamento aéreo

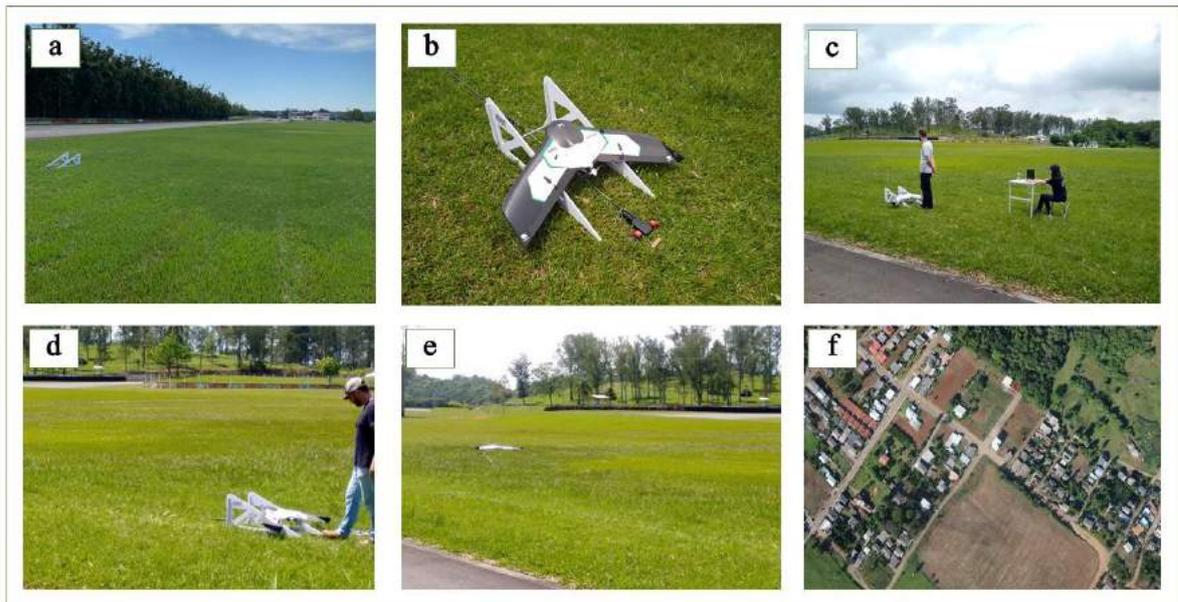


Fonte: ISAM (2020).

O registro da realização das atividades de campo, podem ser observadas na Figura 3. Na imagem (a) apresenta-se área de instalação da catapulta de lançamento do equipamento e a área de decolagem e pouso; (b) mostra o veículo aéreo não tripulado Maptor; (c) demonstra o controle de voo; (d) exemplifica o lançamento do equipamento; (e) o voo e (f) um exemplo de imagem obtida nos voos.

Os demais registros fotográficos estão contidos no Relatório Fotográfico do trabalho.

Figura 3. Registro fotográfico das atividades de levantamento aéreo



Fonte: ISAM (2019).

As imagens obtidas nos voos foram unidas utilizando o software *Photoscan*, destinado a trabalhos com fotogrametria. Foram coletados 21 pontos de controle com o RTK (Tabela 1) para melhorar o posicionamento do mosaico, os quais foram inseridos no *Photoscan* durante o processamento. Os registros fotográficos dos pontos levantados com o RTK estão contidos no Relatório Fotográfico do trabalho.

O ortomosaico (Figura 4) criado possui um tamanho de pixel de 10 centímetros, ou seja, qualquer objeto com medidas superiores a 10 centímetros pode ser identificado. O prefixo “orto” significa que a imagem possui posicionamento espacial definido.

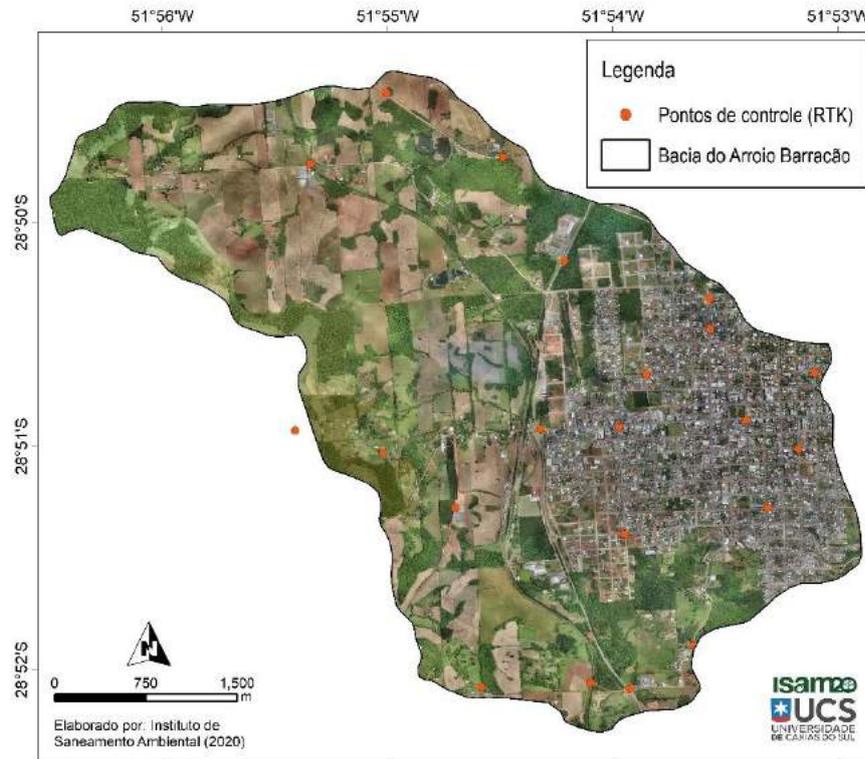
No *Photoscan*, por meio da classificação da nuvem de pontos gerada pelo próprio programa, foi possível identificar algumas classes de uso e cobertura do solo, como as edificações, a vegetação arbórea, as estradas e o solo exposto. As demais classes existentes como agricultura, vegetação rasteira e corpos hídricos precisaram ser delimitadas manualmente.

Tabela 1. Pontos de controle para posicionamento do ortomosaico

Ponto	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Altitude (m)
Controle1	413333,86	6807800,03	459,50
Controle2	412805,77	6806662,01	474,57
Controle3	412349,81	6806294,84	481,65
Controle4	412067,45	6806346,46	492,30
Controle5	411280,44	6806305,84	566,85
Controle6	412302,98	6807574,40	467,92
Controle7	412255,74	6808459,57	469,65
Controle8	413173,90	6808522,41	479,27
Controle9	413553,29	6808287,20	486,64
Controle10	413665,67	6808919,75	504,39
Controle11	412908,22	6809274,43	500,98
Controle12	412902,58	6809527,33	534,05
Controle13	412449,53	6808895,35	476,02
Controle14	411690,88	6808439,96	478,64
Controle15	411850,15	6809828,11	494,50
Controle16	411402,26	6810684,47	553,27
Controle17	410552,49	6811207,42	533,25
Controle18	410013,76	6810614,33	533,90
Controle19	411079,99	6807784,82	528,63
Controle20	410553,56	6808235,61	606,59
Controle21	409920,22	6808413,66	657,05

Fonte: ISAM (2020).

Figura 4. Ortomosaico resultante do levantamento aéreo

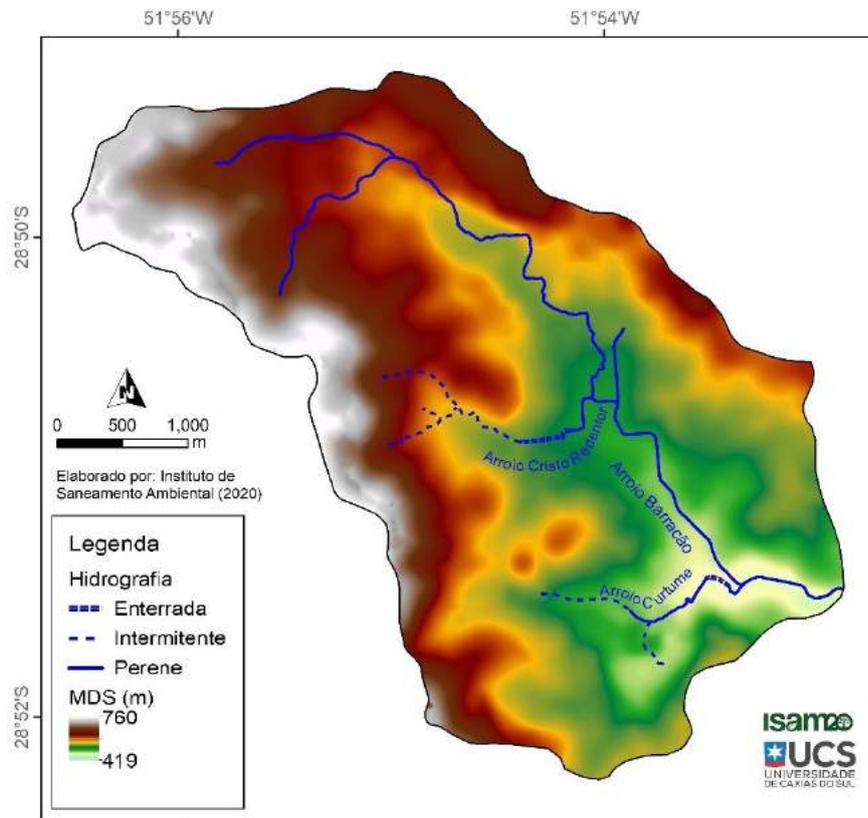


Fonte: ISAM (2020).

O modelo digital de superfície (MDS) da Figura 5, obtido no software *Photoscan* possui uma resolução 35 centímetros, diferente do ortomosaico, ocasionada pela interpolação do modelo digital de elevação para a retirada das classes de vegetação arbórea e edificações. O processo de criação do MDS envolve a classificação da nuvem de pontos para a remoção das edificações e vegetação arbórea através de interpolação.

O MDS corresponde a mesma área do ortomosaico, também possuindo um posicionamento geográfico definido. A elaboração dos mapas de hipsometria e de declividade utilizaram este dado e auxiliou na compreensão do escoamento superficial ocasionado pela precipitação.

Figura 5. Modelo digital de superfície resultante do levantamento aéreo



Fonte: ISAM (2020).

2.2.2 Avaliação temporal do uso e ocupação do solo

A avaliação das alterações de uso e ocupação do solo ao longo do tempo contribuiu para o diagnóstico ambiental ao proporcionar a identificação e o posicionamento das classes existentes na área de interesse. Essas alterações podem causar efeitos sobre o potencial da perda do solo, conformação com a legislação no que tange as áreas de preservação permanente, perda de biodiversidade, impermeabilização do solo, entre outros.

A elaboração da evolução do uso e ocupação do solo do município de Guaporé utilizou desde as imagens provenientes dos sensores TM do satélite Landsat 5 (1989, 1999 e 2009) ao sensor OLI do satélite Landsat 8 (2019), com resolução espacial de 30 metros. As imagens foram escolhidas a partir de 2019 até o período mais antigo de análises possível (2019, 2009, 1999, 1989).

Para as imagens de satélite, o processamento envolve a classificação automática das classes com o algoritmo *Isoclust*. Porém, as classes de mata exótica e área urbana envolvem a

delimitação manual por se tratar de classes com similares espectrais com as classes de mata nativa e solo exposto respectivamente. As classes identificadas estão exemplificadas na Figura 6.

No software *Idrisi Selva*, um sistema de informações geográficas (SIGs) utilizado para mapeamento, o uso e cobertura do solo com base nas imagens de satélite, foi elaborado seguindo o fluxograma apresentado na Figura 7. O mapa de uso e cobertura do solo elaborado com as imagens aéreas foi elaborado no Photoscan e no ArcMap.

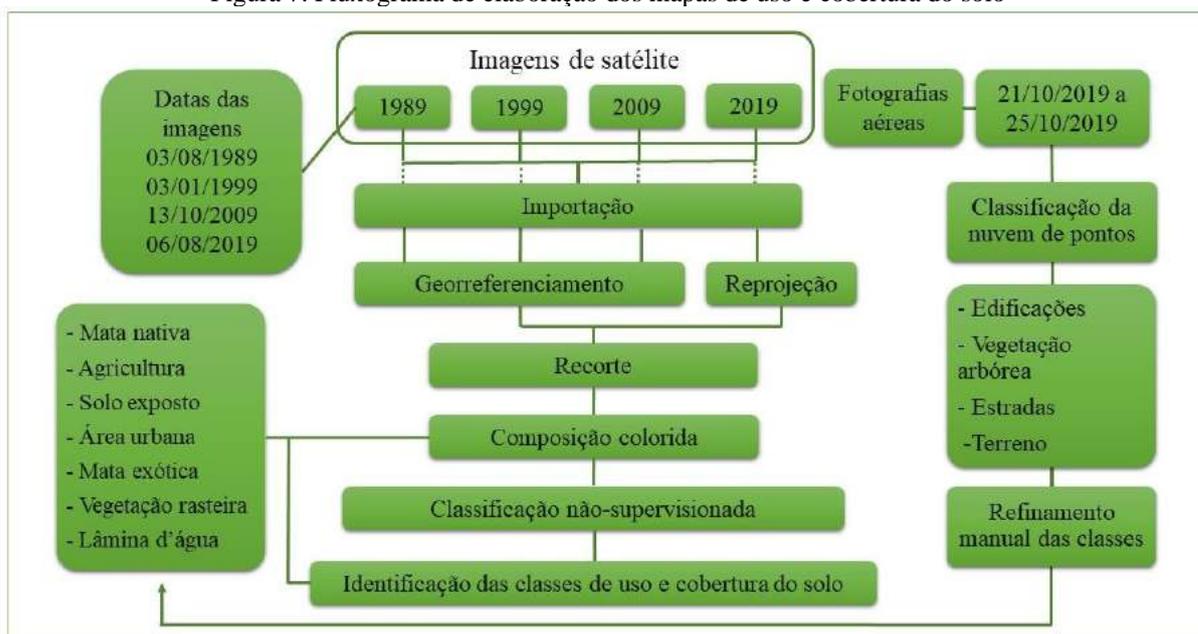
O uso e cobertura do solo elaborado com o ortomosaico apresenta a separação automática também das classes descritas no fluxograma. As classes complementares de agricultura, vegetação rasteira e lâmina d'água foram delimitadas manualmente.

Figura 6. Exemplificação das classes de uso e cobertura do solo



Fonte: ISAM (2019).

Figura 7. Fluxograma de elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo



Fonte: ISAM (2019).

2.2.3 Áreas de preservação permanente

O mapa de áreas de preservação permanente (APP) leva em consideração a Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. A partir das definições da lei, foi determinada a faixa de proteção em ambas as margens dos recursos hídricos. Por se tratar de uma região importante tanto para o recurso hídrico, quanto para a segurança humana, é importante a avaliação do uso e cobertura do solo nessas áreas.

2.2.4 Hipsometria

Juntamente com a declividade, a hipsometria trata do relevo do terreno. Também utilizando as curvas de nível para sua elaboração, no mapa de hipsometria a superfície gerada por triangulação no software SIG *Idrisi Selva* é dividida em intervalos equidistantes para facilitar a compressão e quantificação dos dados.

2.2.5 Declividade

O mapa de declividade, também conhecido como mapa de clinografia indica a inclinação do terreno. É de extrema importância a observação dessa informação tanto em

ambientes urbanos quanto rurais. A declividade do solo deve ser considerada tanto para construções, as quais exercem força sobre o solo, quanto em situações de solo descoberto, onde há grande influência da declividade sobre o escoamento superficial, o qual é acelerado nas áreas de maior declividade.

O mapa de declividade é obtido através das curvas de nível na área de interesse. Para esse trabalho utilizou-se as curvas de nível obtidas no levantamento aéreo. A declividade foi elaborada no programa SIG *Idrisi Selva*. A declividade é calculada por meio da triangulação das curvas de nível para criar uma superfície contínua e em seguida a declividade é calculada para cada pixel. Além do mapa, é possível quantificar a porcentagem de cada classe. As classes nas quais o gradiente de declividade foi dividido corresponde ao critério utilizado pela Embrapa (1979).

2.2.6 Perda de solos

Uma das informações a serem consideradas quando se estudam bacias hidrográficas, especialmente com problemas de inundação, é o potencial de perda de solos. Esse indica as áreas mais frágeis da bacia quantificando este potencial. Entende-se que mudanças constantes de uso e cobertura do solo, podem alterar esse potencial e a variação mensal da pluviosidade contribui para alterações no potencial. Ainda assim, essa informação fornece indicações de áreas mais suscetíveis a erosão para ações mitigatórias.

A RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) é uma metodologia proposta por Wischmeier & Smith (1965) para o cálculo da perda de solos. Primeiramente são elaborados os mapas com as variáveis que fazem parte da $A = R.K.L.S.C.P$

(Equação 1).

$$A = R.K.L.S.C.P \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo,

A = estimativa de perda de solo em t/ha.ano;

R = erosividade da chuva em MJ.mm/(ha.h.ano), fator que expressa a capacidade da chuva em provocar erosão;

K = erodibilidade dos solos em t.h/(MJ.mm), fator relativo às propriedades inerentes ao solo, tais como textura, estrutura, matéria orgânica e permeabilidade, refletindo sua maior ou menor susceptibilidade à erosão;

L = fator relativo ao comprimento de declive da encosta (adimensional);

S = fator relativo à declividade da encosta (adimensional);

C = fator relativo ao uso e manejo dos solos, variando desde zero, para coberturas que proporcionam uma proteção total do solo, a 1, para solos inteiramente expostos;

P = fator relativo à prática conservacionista adotada (adimensional).

Para a obtenção do fator R , a erosividade da chuva, é necessário analisar as informações existentes referentes à pluviosidade através da $E_{\text{Imensal}} = 89,823.(P_m^2/P_a)^{0,759}$

(Equação 2.

$$E_{\text{Imensal}} = 89,823.(P_m^2/P_a)^{0,759} \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo,

E_{Imensal} = média mensal do índice de erosão em MJ.mm/(h.ha) para o mês considerado;

P_m = precipitação média mensal em milímetros (mm) do mês considerado;

P_a = precipitação média anual, em milímetros (mm).

Já a erodibilidade dos solos (K) foi obtida a partir das bibliografias existentes, sendo adotados valores de erodibilidade específicos para cada tipo de solo presente na bacia. Os fatores C (fator relativo ao uso e manejo dos solos) e P (fator relativo à prática conservacionista adotada), também foram adotados com base na bibliografia consultada.

Os fatores L e S foram calculados por meio do terreno, de acordo com as metodologias algébricas de Mendonça *et al.* (2014) e Bertoni e Lombardi Neto (2012) de acordo com a

$$L = \sqrt{P^2 + \left(\frac{D}{100} \cdot P\right)^2} \quad (\text{Equação 3 e } LS = 0,00984.L^{0,63}.D^{1,18})$$

(Equação 4.

$$L = \sqrt{P^2 + \left(\frac{D}{100} \cdot P\right)^2} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo,

L = comprimento de rampa (adimensional);

P = tamanho do pixel adotado;

D = declividade em porcentagem.

$$LS = 0,00984.L^{0,63}.D^{1,18} \quad (\text{Equação 4})$$

Sendo,

LS = fator topográfico (adimensional);

L = comprimento de rampa (adimensional);

D = declividade em porcentagem.

2.2.7 Geologia

A geologia auxilia o entendimento da constituição estratigráfica de uma região. Para esse mapa utilizou-se os dados do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM, 2010) que apresentam de forma digital e editável as informações geológicas na escala de 1:750.000.

2.2.8 Pedologia

Além da importância do discernimento do tipo de solo para o cultivo, especialmente para a identificação de áreas de expansão de culturas, as diferentes tipologias de solo possuem diferentes potenciais erosivos, relevantes nas situações de solo descoberto. Para a elaboração do mapa pedológico foram utilizados os dados digitais vetoriais disponibilizados por Streck et. al (2008) na escala de 1:750.000.

2.2.9 Fitogeografia

A fitogeografia identifica os diferentes conjuntos de vegetação existentes no ambiente. No Projeto Radam Brasil, publicado em 1986, todo o território brasileiro foi classificado em regiões fitogeográficas. Essas regiões estão relacionadas com características ecológicas e fisionômicas da vegetação encontrada no país (JOLY et al., 1999).

O primeiro nível da classificação, a classe propriamente dita, descreve a vegetação predominante em cada estrutura. A subclasse está relacionada com o clima, seguida da distinção fisiológica da vegetação, além de outras características representativas da região (JOLY et al., 1999).

2.2.10 Análise Hierárquica de Processo – AHP

O modelo de Análise Hierárquica do Processo (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) foi desenvolvido por Saaty na década de 1970, para o auxílio no processo de tomada de decisões. Saaty (1996) explica que este modelo se desenvolve através de comparações pareadas, com base em julgamentos para obtenção de escalas de prioridade. As comparações devem ser realizadas em uma escala que todos os critérios pré-estabelecidos possam ser comparados entre si, relacionando a prioridade que cada critério tem sobre o outro.

No método AHP, o problema de decisão é dividido em níveis, para que as atribuições de pesos sejam realizadas de forma mais fácil, passando do objetivo principal, pelos critérios, atributos e alternativas. O funcionamento do método consiste em hierarquizar elementos e atribuir um determinado grau de importância para cada um. Os elementos de mesmo nível hierárquico são comparados em pares, com relação a sua influência ao elemento posicionado no nível superior (RAFFO 2012; ARUEIRA 2014).

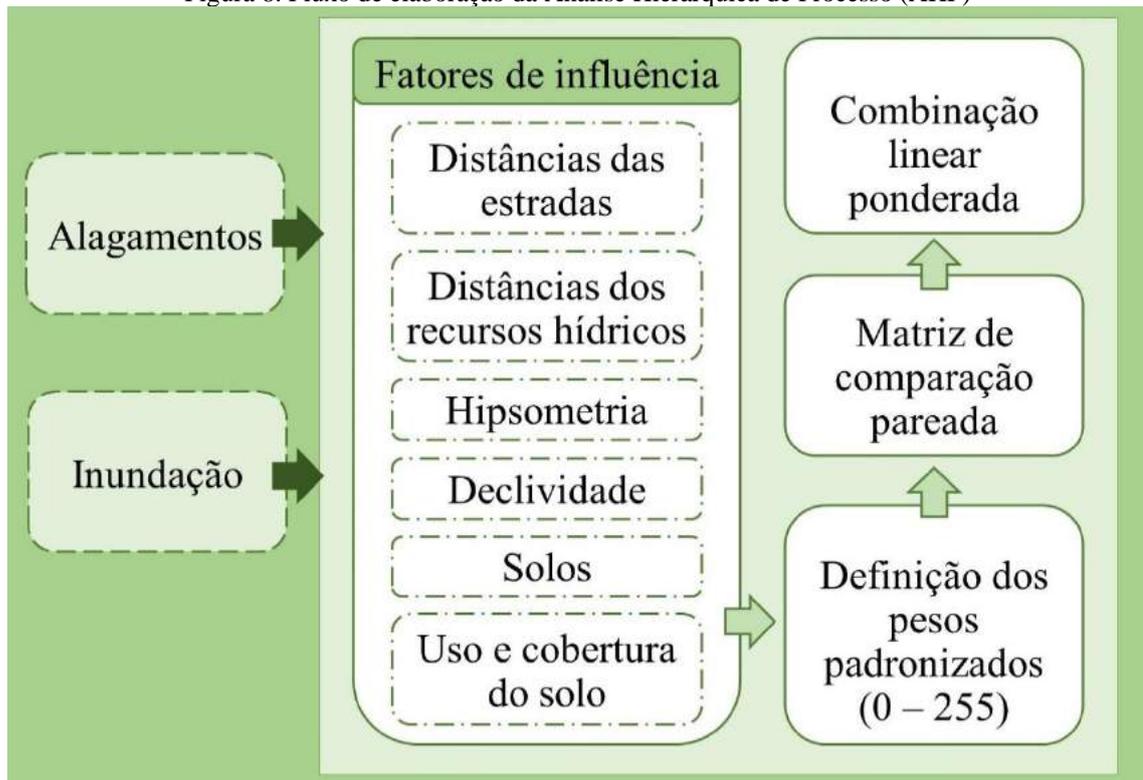
Para a determinação dos pesos de cada critério avaliado, devem-se construir matrizes de referência, onde são realizadas as confrontações par a par, gerando uma matriz quadrada de decisão (MORIMOTO, OLIVEIRA, 2019).

Inicialmente foram identificados os fatores com maior influência para ocasionar inundações e alagamentos, baseados em estudos da temática como Menegasso (2019), Pessôa et al. (2019) e Rezende e Marques (2017). Os fatores adotados foram: declividade, distância dos recursos hídricos, distância das estradas, hipsometria, solos e uso e ocupação do solo, utilizados como dados de entrada para aplicação do método AHP.

Na sequência, cada classe dos fatores escolhidos foi reescalada para uma escala contínua, padronizada, não-*Booleana*, variando de menos suscetível (0) a mais suscetível (255), possibilitando a comparação par a par entre todos os fatores.

A Figura 8 apresenta a sequência de trabalho para a elaboração da Análise Hierárquica de Processo. Como resultados são gerados dois mapas, um da análise referente a inundação e outro relacionado aos alagamentos. A diferenciação entre os mapas ocorre na padronização do mapa de uso e cobertura do solo.

Figura 8. Fluxo de elaboração da Análise Hierárquica de Processo (AHP)



Fonte: ISAM (2020).

Para o fator uso e ocupação do solo, considerou-se que regiões urbanizadas, são mais impermeáveis, devido a retirada da vegetação e existência de edificações e calçadas por exemplo, contribuindo assim para o aumento do escoamento superficial. Além do aumento do volume que esco superficialmente, há também o aumento da vazão de pico nos corpos hídricos localizados na região.

Além da classe de malha viária presente no mapa de uso e ocupação do solo, foi elaborado um mapa de distância das estradas, a qual também foi utilizado como fator de comparação, pois são áreas extremamente impermeáveis que favorecem o acúmulo de águas das chuvas, resultando em alagamentos.

Já o fator altitude contribui para as inundações e alagamentos de modo que, quanto maior a altitude, menor a probabilidade de inundação para uma determinada região devido à ação da gravidade que direciona o escoamento para as regiões mais baixas.

Para o fator declividade, considerou-se que em áreas planas a água se movimenta de maneira mais lenta, e por consequência sofre acúmulos, ao contrário de áreas mais íngremes, onde isso não ocorre.

Na hidrografia, foram consideradas as distâncias entre os recursos hídricos presentes na região de estudo. Como já abordado, as inundações ocorrem em locais onde há rios e suas vazões são extrapoladas para seu entorno. Sendo assim, para aplicação do método AHP, o fator hidrografia foi avaliado de forma que áreas mais próximas aos recursos hídricos são mais propensas a inundações do que áreas mais afastadas, ou onde não há presença de rios.

Para o fator solos, considerou-se as classes presentes na área de estudo, classificadas de acordo com Streck et al. (2008). Para aplicação do método AHP nesse fator, foram levadas em consideração as características de cada tipo de solo de acordo com sua textura e capacidade de drenagem, ou seja, quanto maior a capacidade de drenagem do solo, menor a probabilidade de eventos de alagamento e inundação daquela área.

Na Tabela 2 estão compilados os valores associados a cada classe de cada um dos fatores considerados na análise. Esses valores foram determinados com base na literatura (MENEGASSO, 2019; PESSÔA et al., 2019; REZENDE, MARQUES, 2017) de forma qualitativa considerando valores mais próximos de zero como menor suscetibilidade a inundação e alagamentos, e mais suscetíveis conforme mais próximo de 255.

Os mapas de uso e cobertura do solo, declividade, hipsometria e solos foram reclassificados no programa *Idrisi* de acordo as informações da Tabela 2. Os fatores hidrografia e estradas foram utilizados como dados de entrada para a ferramenta *Distance* e na sequência a ferramenta *Fuzzy* para o cálculo das distâncias das feições e padronização para o intervalo de 0 a 255.

Tabela 2. Pesos padronizados adotados

		Peso padronizado para inunda�o	Peso padronizado para alagamentos
Classes de uso e cobertura do solo	Agricultura	110	110
	Edifica�es	200	255
	Estrada	200	255
	Lâmina d'�gua	255	125
	Mata exótica	85	85
	Mata nativa	75	75
	Solo exposto	125	200
	Vegeta�o rasteira	100	100
		Peso padronizado	
Declividade (%)	0 – 3	255	
	3 – 8	200	
	8 – 20	150	
	20 – 45	100	
	45 – 75	50	
	> 75	25	
Hipsometria (m)	456 – 475	250	
	475 – 500	250	
	500 – 525	250	
	525 – 550	200	
	550 – 575	100	
	575 – 600	50	
	600 – 625	25	
	625 – 650	25	
	650 – 675	25	
	675 – 700	25	
	700 – 725	25	
	725 – 750	25	
750 – 768	25		
Classifica�o pedológica	Latossolo Vermelho Distrófico argiss�lico	200	
	Chernossolo Argilúvico Férrico t�pico / Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico	100	
Distância dos recursos hídricos		0 - 255	
Distância das estradas		0 - 255	

Fonte: ISAM (2020).

Na sequência foram elaboradas as matrizes de compara o pareada para o cálculo dos pesos a serem atribuídos para cada um dos fatores através da ferramenta *Weight* do *Idrisi*

conforme a Tabela 3 e Tabela 4. As matrizes foram baseadas nos trabalhos estudados (MENEGASSO, 2019; PESSÔA et al., 2019; REZENDE, MARQUES, 2017), com a diferenciação da matriz para a inundação e alagamentos. Após o cálculo dos pesos foram elaborados os mapas finais através da Combinação Linear Ponderada, ferramenta MCE do *Idrisi*.

Tabela 3. Matriz de comparação pareada para alagamentos

	Declividade	Distância das estradas	Distância dos recursos hídricos	Hipsometria	Solos	Uso e cobertura do solo
Declividade	1					
Distância das estradas	1/7	1				
Distância dos recursos hídricos	7	9	1			
Hipsometria	1/3	5	1/5	1		
Solos	1/5	2	1/7	1/3	1	
Uso e cobertura do solo	2	8	1/2	6	7	1

Fonte: ISAM (2020).

Tabela 4. Matriz de comparação pareada para inundação

	Declividade	Distância das estradas	Distância dos recursos hídricos	Hipsometria	Solos	Uso e cobertura do solo
Declividade	1					
Distância das estradas	5	1				
Distância dos recursos hídricos	1/9	1/9	1			
Hipsometria	2	1/3	8	1		
Solos	1/7	1/7	3	1/7	1	
Uso e cobertura do solo	1/3	1/5	7	1/3	5	1

Fonte: ISAM (2020).

2.2.11 Modelagem Hidráulica e Hidrológica

As simulações hidrológicas contidas neste relatório, visam identificar as zonas de maior impacto em função de eventos de precipitação extrema, ocorridos na bacia do Arroio Barracão especialmente no perímetro urbano do município de Guaporé.

Para a realização do estudo, um modelo hidrodinâmico foi utilizado empregando dados de precipitação, informações de elevação do terreno, uso e ocupação do solo da bacia e hidrogramas de cheias. A validação do modelo foi feita a partir de dados registrados por uma estação fluviométrica localizada no corpo hídrico em questão e por dados coletados em campo de vazão e nível da água.

Uma das principais fontes de dados para empregar no modelo foi uma estação fluviométrica instalada e operada pela Prefeitura Municipal de Guaporé (28°51'26.32"S - 51°53'17.61"W). A estação conta com um medidor de nível que coleta dados a cada minuto e armazena em sua memória interna, podendo ser acessada remotamente por telemetria. Além disso, ela conta com um sensor de pressão atmosférica e com um pluviômetro, e, da mesma forma do medidor de nível, coleta dados a cada minuto.

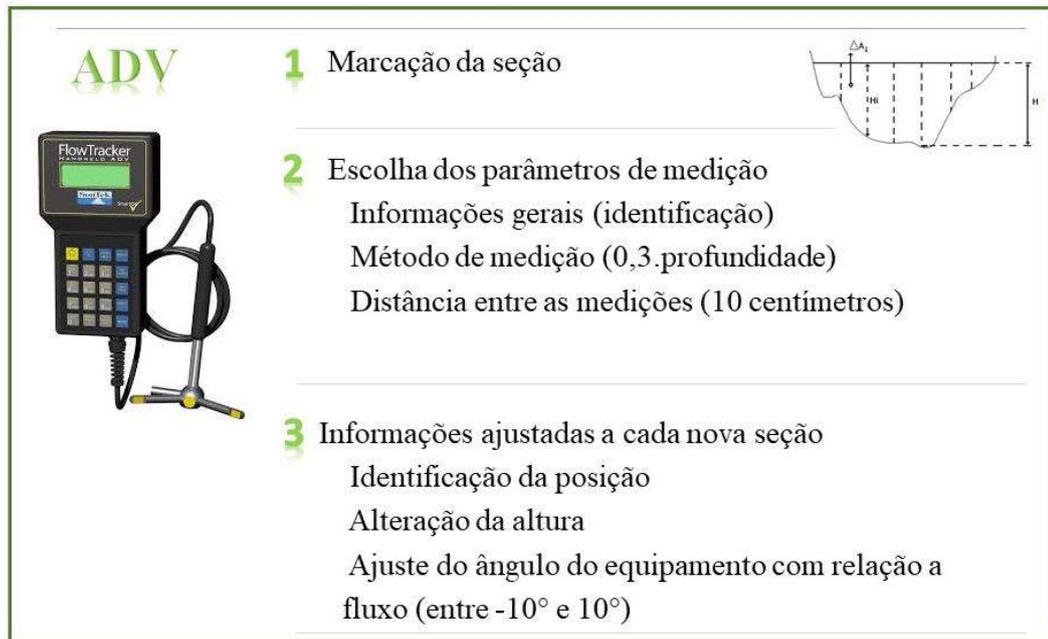
Para a escolha do ponto de instalação, foi levada em conta a área de alagamento da cidade, estando o ponto a jusante das maiores contribuições de corpos hídricos afluentes e, de certa forma, no final da área urbana. Outra característica levada em conta na escolha do local de instalação do fluviômetro foi a regularidade do canal em relação a sua geometria. Na seção transversal em questão, o corpo hídrico encontra-se canalizado.

2.2.11.1 Medição de vazão

Além da caracterização física da bacia como um todo, são necessárias informações sobre a vazão na bacia para a elaboração da curva de chave do fluviômetro. Essa curva permite a relacionar o nível d'água com a vazão, inferindo a vazão a partir do nível.

Em situações de nível abaixo de 70 centímetros, utilizou-se o equipamento de medição de vazão *ADV Sontek Flowtracker*. O equipamento funciona de forma acústica utilizando o efeito *Doppler*. A velocidade do fluxo é calculada através das partículas suspensas durante a medição. As informações da seção são inseridas no sistema do equipamento, o qual ao final fornece as informações de cada seção e o valor médio da seção. O processo de operação do ADV está descrito na Figura 9.

Figura 9. Fluxograma de uso do ADV



Fonte: ISAM (2019).

Quando o nível do corpo hídrico ultrapassou o nível de segurança de 70 centímetros, utilizou-se o *Acoustic Doppler Profiler* (ADCP). O ADCP funciona como um ecobatímetro que, a partir da interação das partículas sólidas suspensas no fluxo de água com os feixes sonoros emitidos pelos transdutores, é capaz de estimar a velocidade do fluxo e, relacionando com a área da seção transversal, também a vazão. Seu processo de operação de uso está descrito no fluxograma da Figura 10.

Figura 10. Fluxograma operação do ADCP



Fonte: ISAM (2019).

A Figura 11 apresenta alguns registros fotográficos das medições de vazão realizadas no município de Guaporé, especialmente no ponto de instalação do fluviômetro. As medições ocorreram no período de julho a novembro de 2019.

Os demais registros fotográficos estão contidos no Relatório Fotográfico do trabalho.

Figura 11. Registro fotográfico das medições de vazão



Fonte: ISAM (2019).

2.2.11.2 Curva-Chave

Para transformar os dados de nível coletados pelos sensores da estação fluviométrica em dados de vazão, é estabelecida uma relação entre esses dois através de uma curva-chave, geralmente uma equação potencial ($Q = a(h - h_0)^b$) (Equação 5):

$$Q = a(h - h_0)^b \quad \text{(Equação 5)}$$

Sendo,

Q = vazão (m/s);

h = cota (m);

h₀ = cota quando a vazão é zero (m);

a e b são parâmetros ajustados por critério, como erros mínimos quadrados.

Cabe ressaltar, que para se ter uma curva-chave representativa é necessário medir a vazão e nível em situações de mínimas, médias e cheias, processo que demanda tempo e uma grande quantidade de dados observados (COLLISCHONN e TASSI, 2011).

No presente estudo foram realizadas 12 medições de vazão com Velocímetro Acústico Doppler (ADV) na seção transversal na qual foi instalado o medidor de nível do fluviômetro. Em cada uma dessas medições, foi observado o nível utilizando uma régua metálica.

2.2.11.3 Levantamento do canal e Modelo Digital de Elevação (MDE)

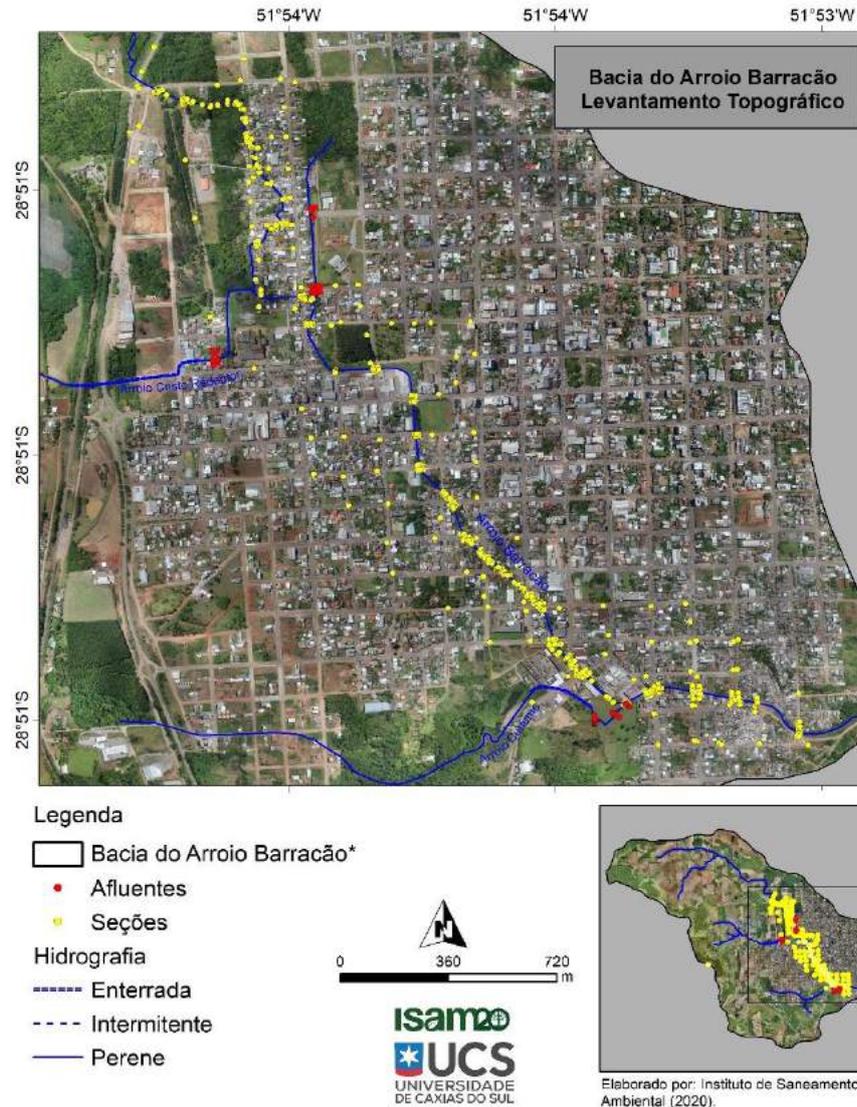
Para obtenção das características geométricas do canal foi realizado um levantamento topográfico com um RTK (*Real Time Kinematic*), no qual foram estabelecidas seções transversais ao longo do canal em um intervalo constante, onde foram coletados pontos no centro do canal, bordas, margens e áreas próximas.

O canal foi identificado a partir das imagens do levantamento aéreo realizado com VANT (Veículo Aéreo Não-Tripulado) (Figura 12).

Para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) foram levantados aproximadamente 1.000 pontos utilizando o RTK, com caminhamento ao longo das áreas com registro de inundações, nas margens e no meio do canal.

No relatório fotográfico constam os registros fotográficos realizados durante o levantamento topográfico.

Figura 12. Pontos coletados com RTK



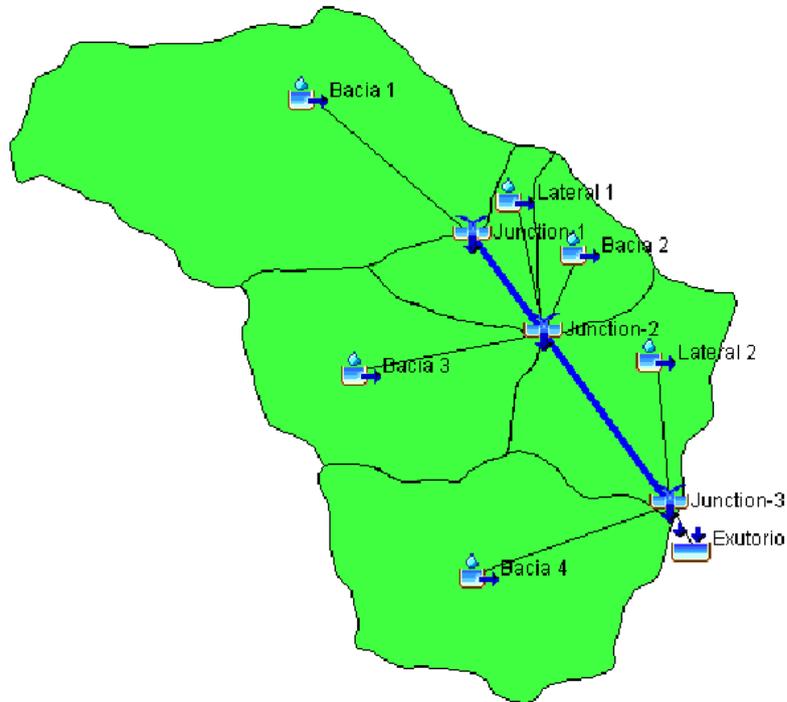
Fonte: ISAM (2020).

2.2.11.4 Modelagem Hidrológica

Para modelagem hidrológica foi utilizado o software HEC-HMS 4.5 disponibilizado pelo do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (*U.S. Army Corp of Engineers – USACE, 2016*). Para tanto, a bacia de estudo foi dividida em 6 sub-bacias de contribuição de escoamento com diferentes características de solo e uso do solo. Para cada bacia foram definidos os parâmetros de entrada do modelo, tais como área, percentual de área impermeável, valor de curva-número do método SCS, escoamento subterrâneo e perdas iniciais (por infiltração e por interceptação). Tais parâmetros foram calibrados usando o algoritmo de calibração do modelo a partir de um evento de chuva intensa e dados de vazão do posto

fluviométrico monitorado. A área urbana foi dividida em duas sub-bacias de contribuição lateral conforme mostra a Figura 13.

Figura 13. Sub-bacias do modelo hidrológico



Fonte: ISAM (2020).

Neste estudo, foram utilizados, como uma das opções do HEC-HMS, o modelo de infiltração do *Soil Conservation Service* (SCS) (KENT, 1973) e o modelo do Hidrograma Unitário SCS, Método do Reservatório Linear para o escoamento subterrâneo, método simplificado do dossel e propagação da onda de cheia com o método lag (USACE, 2020). Para avaliar qual distribuição temporal de chuva levaria ao maior pico de vazão, simulou-se a bacia utilizando-se um modelo concentrado. Nessa simulação, foram considerados diferentes hietogramas elaborados pelo método dos Blocos Alternados (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015) no qual foi considerada a curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) abaixo obtida para o município de Guaporé para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 25 e 50 anos.

$$I = \frac{901,2 \times TR^{0,172}}{(td + 9,791)^{0,724}}$$

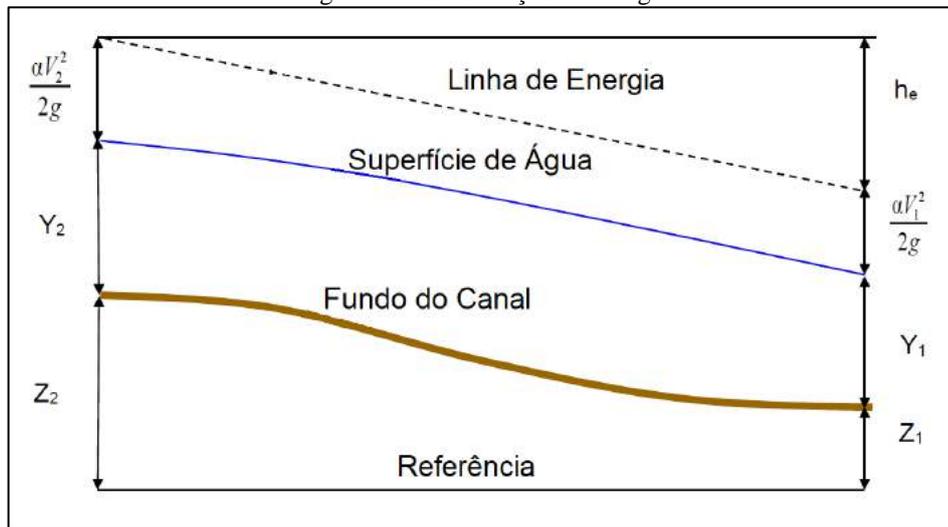
Onde, I é a intensidade em mm/h, TR o período de retorno em anos e t_d o tempo de duração da chuva, discretizado em intervalos de 10 min até o tempo de concentração da bacia calculado pelo método de Kirpich (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015).

2.2.11.5 Modelagem Hidráulica

Para realização das simulações hidráulicas foi utilizado o software aberto HEC-RAS 5.0.7 (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*) do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (*U.S. Army Corp of Engineers – USACE*, 2016).

Para calcular o perfil de água de uma seção transversal para a seção transversal a jusante, o modelo resolve a equação de conservação de energia esquematizada na Figura 14 onde Y_1 e Y_2 é altura da lâmina de água; Z_1 e Z_2 são as cotas de fundo no canal principal; V_1 e V_2 são as velocidades médias (vazão total / área total de escoamento); α_1 e α_2 são os coeficientes de ponderação da velocidade; g é aceleração gravitacional e; h_e é a perda de energia.

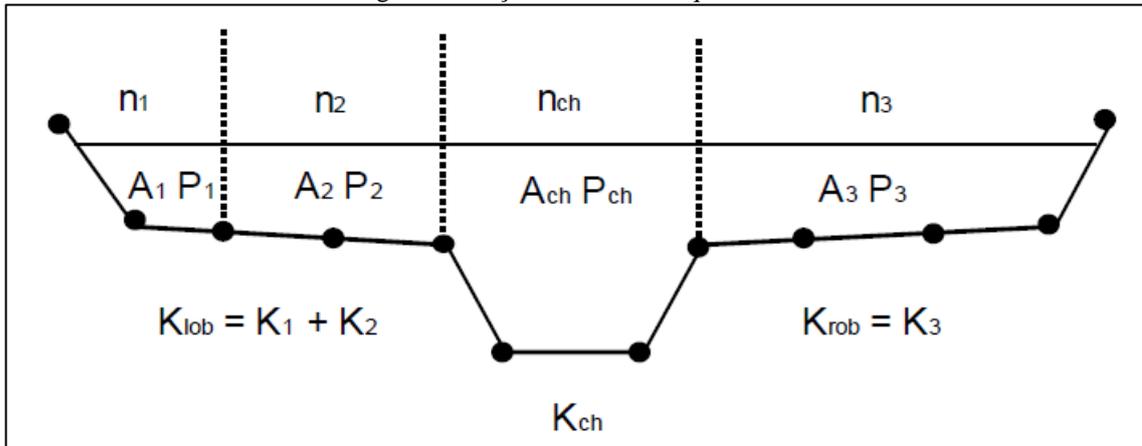
Figura 14. Conservação de energia



Fonte: adaptado de USACE (2016).

A perda de carga é dada em função do coeficiente de rugosidade de Manning (n). No caso do modelo, para cada uso e ocupação do solo é atribuído um valor de n obtido através de tabelas (CHOW, 1959) ou calibrado através de dados observados. A Figura 15 exemplifica uma seção transversal com diferentes coeficientes de rugosidade (n_1 , n_2 , n_3 e n_h).

Figura 15. Seção transversal esquemática



Fonte: USACE (2016).

Desta forma, calcula-se a vazão (Q) pelas expressões descritas na $Q = KS_f^{\frac{1}{2}}$

$$\text{(Equação 6) e } K = \frac{1,486}{n} AR^{2/3}$$

(Equação 7:

$$Q = KS_f^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Equação 6)}$$

$$K = \frac{1,486}{n} AR^{2/3} \quad \text{(Equação 7)}$$

Sendo,

K = convergência para cada subdivisão;

n = coeficiente de rugosidade de manning;

A = área molhada de cada subdivisão;

R = raio hidráulico de cada subdivisão (área molhada/perímetro modelado) e

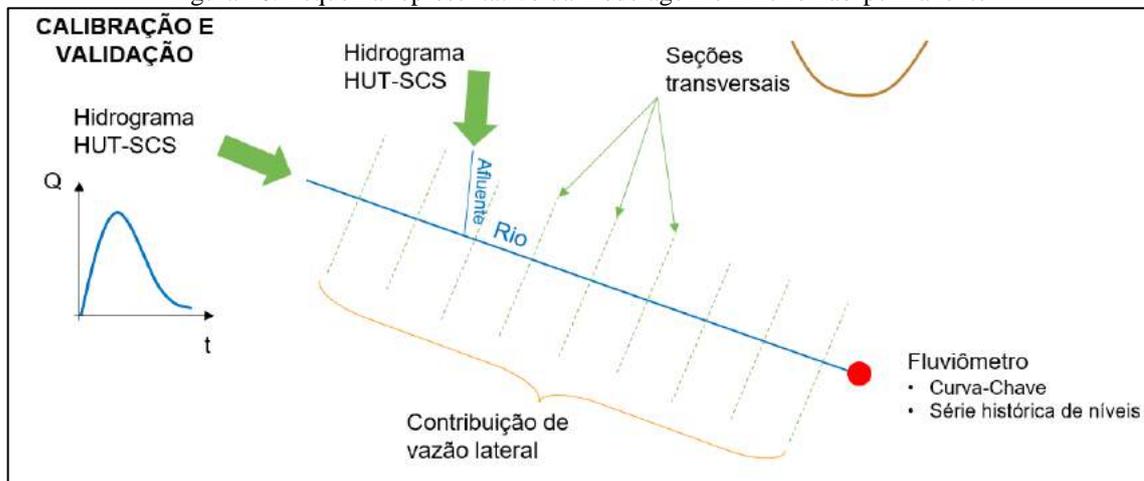
S_f = declividade da linha de energia.

Por fim, para que sejam realizados os cálculos, as condições nos extremos da extensão do canal, precisam ser já determinadas. Isso se dá atribuindo condições de contorno obrigatoriamente nas seções extremas a montante e jusante. As condições a montante podem ser séries históricas de vazão, um hidrograma proveniente de um episódio de chuva ou um nível de lâmina de água. Já para as condições de contorno de jusante é possível inserir uma curva-chave, relacionando elevação do nível de água com a vazão, ou o gradiente de energia da equação de Manning.

2.2.11.6 Condições de Contorno

A modelagem ocorreu em duas etapas, a calibração e validação em regime de fluxo não permanente e geração dos mapas de inundação em fluxo permanente. Na primeira etapa (Figura 16), em regime não-permanente, foram gerados hidrogramas de acordo com a metodologia HUT-SCS para um episódio de chuva intensa registrado na estação fluviométrica os quais foram utilizados como condição de contorno de montante do corpo hídrico principal e seus afluentes.

Figura 16. Esquema representativo da modelagem em fluxo não-permanente

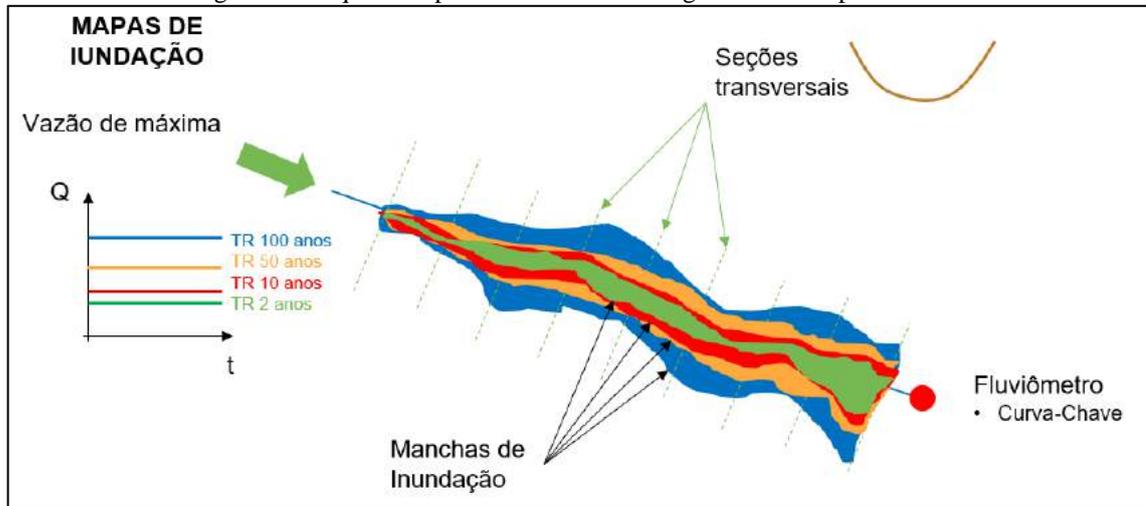


Fonte: ISAM (2019).

Como condição de contorno de jusante, insere-se a curva-chave de vazão gerada a partir de coletas em campo. A vazão lateral é utilizada como condição de contorno nas seções intermediárias e considerada como um parâmetro de calibração junto com o coeficiente de rugosidade de Manning (n).

Calibrado e validado o modelo em regime de fluxo não-permanente, foram realizadas simulações em regime de fluxo permanente (Figura 17) com vazões de tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 anos. Nessa simulação a vazão é considerada como condição de contorno de montante e a curva-chave ou níveis monitorados de jusante.

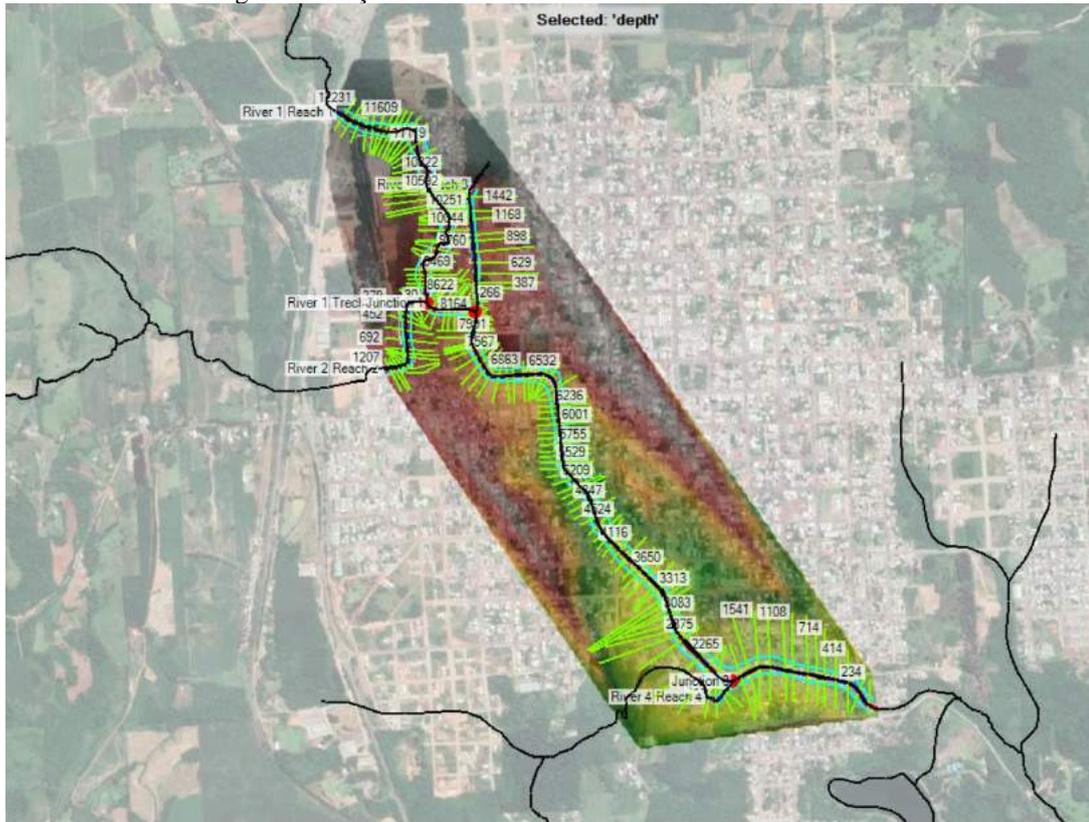
Figura 17. Esquema representativo da modelagem em fluxo permanente



Fonte: ISAM (2019).

Uma vez que o canal possui pequena largura (<10 m) na maioria dos casos e pequena profundidade (<4 m), não foi possível sua identificação adequada diretamente do MDE. Desta forma, foi necessário realizar a retificação das informações de fundo e das margens do canal, a qual foi realizada com a obtenção de 234 seções transversais obtidas de levantamento de campo e interpoladas com o MDE. Após a obtenção do MDE foram criadas 162 seções transversais e organizadas as informações de margem para o uso no HEC-RAS, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18. Seções transversais utilizadas no modelo HEC-RAS



Fonte: ISAM (2020).

Os valores de rugosidade de *manning* do canal utilizados foram 0,055 para as seções que cruzavam trechos do rio natural, com rochas e pedras e 0,011 para os trechos do canal que possuíam revestimento de concreto, os quais foram calibrados a partir do escoamento encontrado na curva-chave do posto fluviométrico.

2.2.12 Levantamento da rede pluvial

O levantamento da rede pluvial foi realizado a partir de informações secundárias originárias do Plano de Saneamento Ambiental do município de Guaporé elaborado no ano de 2017. Para tanto, foram utilizados os mapeamentos existentes da tipologia de tubulações, sua localização e diâmetro, confrontadas com dados de campo. Tais informações são úteis para a definição de problemas com alagamento nas áreas urbanas, cuja avaliação ainda deverá ser realizada.

Para a investigação de pontos de alagamento, o qual se trata do acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem, há a necessidade de se ter cadastro georreferenciado do Sistema de Micro e Macrodrenagem do município e

identificação das redes deficitárias, pois apenas a informação quanto à sua localização e diâmetro não permitem simular o escoamento a fim de identificar pontos de sobrepressão e de falha no atendimento da rede. Dessa forma, é necessário um árduo trabalho de campo, pois o município não possui todas as informações necessárias que permitem realizar a análise nos trechos de rede de drenagem, uma vez que faltam dados de cota fundo, cota topo e declividade de toda a rede, além de que em uma parte da cidade também faltam informações de diâmetro e tipo de tubulação. Com estes dados, será possível utilizar o modelo Storm Water Management Model – SWMM (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana – SWMM), da U. S. Environmental Protection Agency (US EPA), por bairros e sub-bacias, a fim de identificar todos os pontos deficitários e propor alternativas para o sistema de drenagem, como alteração de diâmetro de tubulação ou declividade, por exemplo.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Avaliação de Uso e cobertura do solo

Na Figura 19 são apresentados os mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1989, 1999, 2009 e 2019. O mapa de uso e cobertura do solo de 1989, indica uma antropização elevada na área da bacia, a qual possui cerca de 60% da sua área correspondente a classes de uso e cobertura não naturais (Figura 19), por estar posicionada sobre parte da área urbana e suas proximidades.

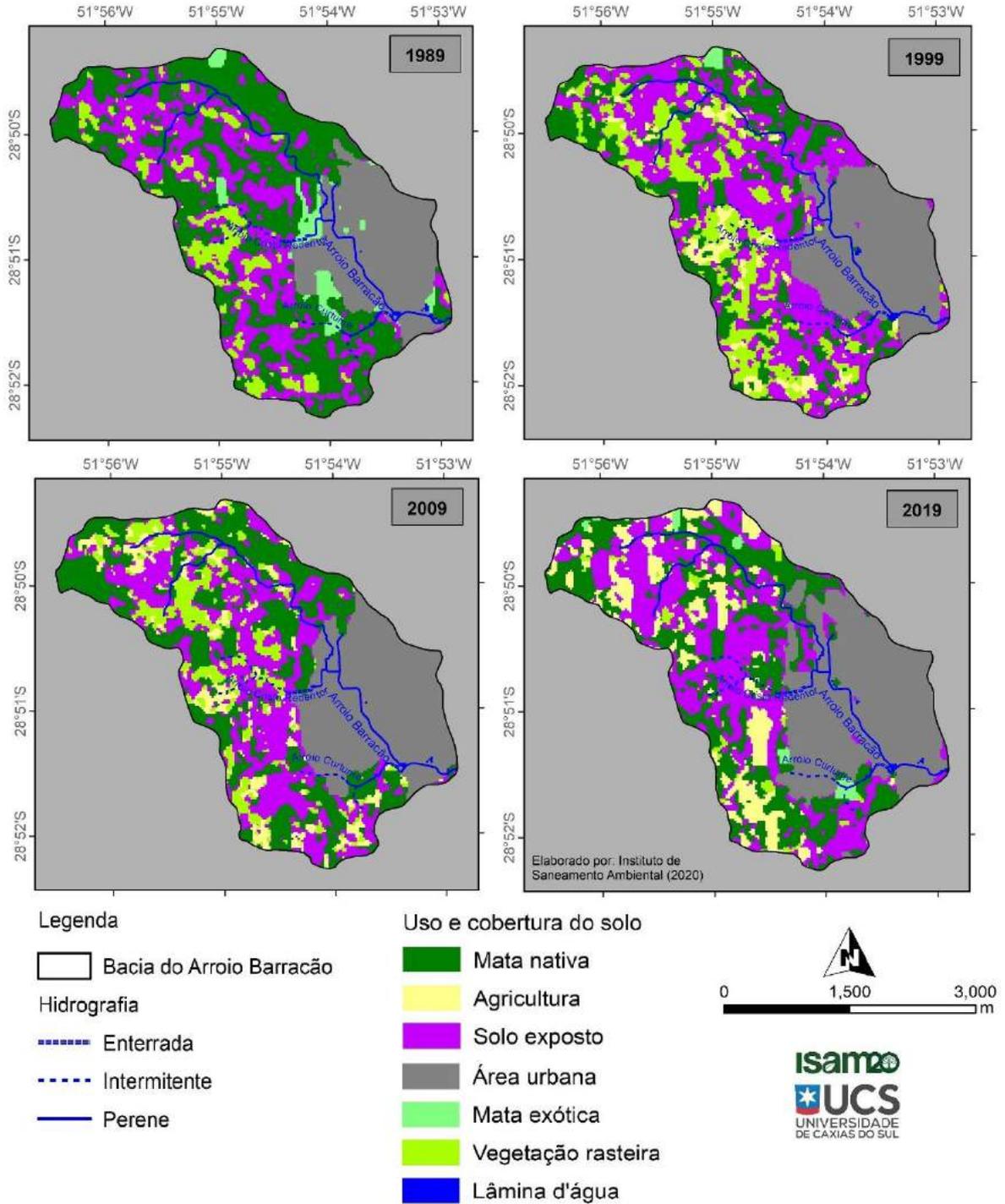
Percebe-se espacialmente a fragilidade dos recursos hídricos já em 1989 (Tabela 5), que além do arroio Barracão possuir influência da área urbana, parte dos afluentes passam por trechos de solo exposto.

Tabela 5. Distribuição das áreas e porcentagens de ocupação na bacia do Arroio Barracão

Classes	1989		1999		2009		2019	
	Área (ha)	%						
Mata nativa	654,84	39,22	568,26	34,03	460,98	27,61	409,95	24,55
Agricultura	0,00	0,00	102,51	6,14	139,05	8,33	206,73	12,38
Solo exposto	442,53	26,50	461,43	27,63	419,13	25,10	318,87	19,10
Área urbana	349,65	20,94	376,11	22,52	438,30	26,25	492,75	29,51
Mata exótica	63,63	3,81	6,93	0,42	0,00	0,00	20,16	1,21
Vegetação rasteira	149,13	8,93	144,54	8,66	202,32	12,12	211,32	12,65
Lâmina d'água	10,08	0,60	10,08	0,60	10,08	0,60	10,08	0,60
Total	1.669,86	100,00	1.669,86	100,00	1.669,86	100,00	1.669,86	100,00

Fonte: ISAM (2019).

Figura 19. Variabilidade do uso do solo entre 1989 e 2019



Fonte: ISAM (2020).

Para o ano de 1999 pode-se notar a redução das áreas de mata nativa, comprovada pelos dados da Tabela 5, em cerca de 13% da área de mata nativa existente em 1989 (86,58 ha) as quais foram substituídos por agricultura e vegetação rasteira, que também configura uma classe antrópica. Ressalta-se que a classe de solo exposto, indica áreas destinadas a cultivo, nos períodos entressafras. A escolha por não agregar essas áreas na classe de agricultura, se refere a consideração do potencial de perda de solos, que é maior nas áreas descobertas.

Em 2009, a redução da mata nativa na bacia do arroio Barracão continuou, com a perda de 18,87% com relação a área de mata nativa existente em 1999 (107,28 ha) de acordo com a Tabela 5. Observa-se o aumento da fragmentação da mata nativa e nos trechos de área rural onde há presença de solo exposto, a possibilidade de assoreamento do canal é potencializada.

Considerando as mudanças de uso e cobertura do solo ocorridas dentro da bacia de estudo, houve a redução de 37,39% (244,89 ha) da mata nativa no período entre 1989-2019. Ocorreu também o aumento de 143,10 ha (40,92%) de área urbana nesse mesmo período. Observa-se então no mapa a pior situação com relação a fragmentação da mata nativa. Da mesma forma, atualmente há menos áreas naturais ao longo dos recursos hídricos.

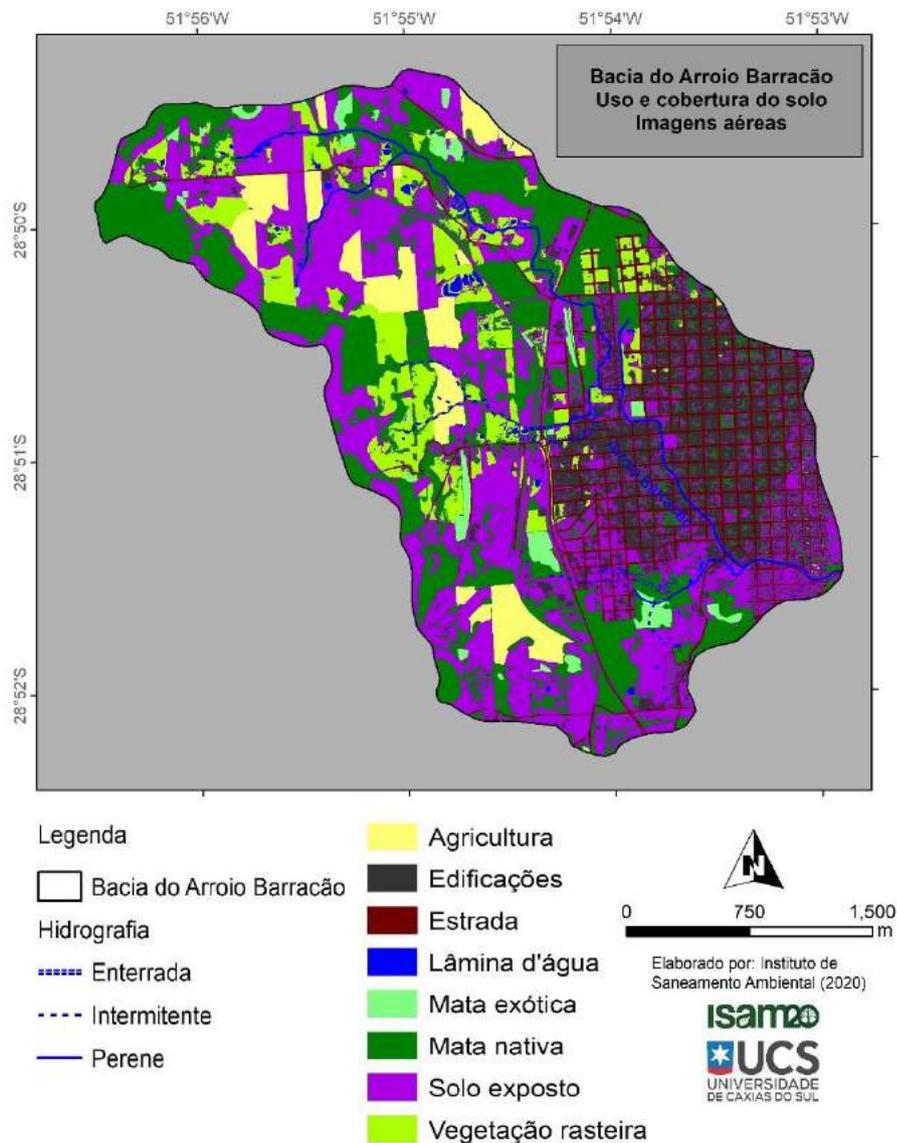
A evolução destes cenários, de uma bacia mais vegetada para uma bacia mais urbanizada, mostra o agravamento dos problemas relacionadas a inundações e perda de solos na bacia. Ao longo dos 30 anos analisados, percebe-se alterações na paisagem da bacia, as quais estão diretamente relacionadas ao aumento de áreas impermeáveis que reduzem a infiltração e favorecem o escoamento superficial, tornando as vazões de pico e o volume escoado maiores, ainda que ocorram uma chuva de mesma duração e intensidade.

O mapa de uso e cobertura do solo apresentado na Figura 20, foi elaborado com base no ortomosaico de fotografias aéreas mostradas na Figura 4.

É possível perceber diferenças nos mapas de uso e cobertura do solo de 2019 utilizando imagens de satélite, com resolução espacial de 30 metros e o mapa de uso e cobertura do solo baseado nas fotografias aéreas, como resolução espacial de 10 cm. As principais mudanças estão na mata nativa, que é menos fragmentada no mapa das imagens aéreas. Percebem-se conexões entre os fragmentos e remanescentes de mata nativa e a presença dessa classe na área urbana.

Na região urbanizada, podem ser discriminadas outras classes, como edificações, arruamento e vegetação arbórea, que compõem a arborização urbana. Esse nível de detalhamento facilita a avaliação das áreas mais próximas ao canal, permitindo identificar inclusive o número de residências no seu entorno.

Figura 20. Uso e cobertura do solo baseado nas imagens aéreas



Fonte: ISAM (2020).

Observando a Tabela 6, ao somar as classes de estrada e edificações, presentes majoritariamente na área urbana, resulta em 18,12% (303 ha) da área da bacia. Em comparação com o mapa elaborado com base nas imagens de satélite, a área urbana ocupa 29,51% (492,75 ha), isso indica a presença de 190 ha de outras classes presentes na área urbana, dentre elas mata nativa e vegetação rasteira, na forma de fragmentos de vegetação e exemplares isolados espalhados pela área urbana.

As classes de uso agrícola (agricultura e solo exposto) ocupam 35,07% (585,66 ha). Em comparação com o uso e cobertura do solo elaborado com base nas imagens de satélite para 2019, são 32,85 ha a menos de agricultura e solo exposto somados. Esse tipo de diferença ocorre

pela dificuldade de classificação das imagens de satélite em pequenas áreas. No mapa elaborado com base no levantamento aéreo, essas áreas (32,85 ha) foram classificadas como vegetação rasteira.

O mesmo ocorreu com relação a classe de mata exótica, a qual é facilmente confundida com mata nativa. Já o aumento da classe de lâmina d'água, 7,29 ha para 8,39 ha está relacionado ao tamanho dos açudes e lagos. Onde a lâmina d'água é inferior a 900 m², que corresponde ao tamanho do pixel nas imagens de satélite, esse pixel é classificado erroneamente. Assim, na delimitação manual no levantamento aéreo, foram identificadas mais áreas, o que resultou no aumento na área de açudes e lagos.

De maneira geral, a mata nativa ocupa 30,68% (512,36 ha) da área da bacia, sendo essa a classe de ocupação natural, pois as demais áreas correspondem a classes de cobertura antrópica, mesmo a vegetação rasteira (255,77 ha; 15,32%) e lâmina d'água (8,39 ha; 0,50%).

Tabela 6. Uso e cobertura do solo elaborado a partir do levantamento aéreo

Classes	Área (ha)	%
Agricultura	94,58	5,66
Edificações	184,13	11,03
Estrada	118,49	7,10
Lâmina d'água	8,39	0,50
Mata exótica	5,06	0,30
Mata nativa	512,36	30,68
Solo exposto	491,08	29,41
Vegetação rasteira	255,77	15,32
Total	1.669,86	100,00

Fonte: ISAM (2020).

2.3.2 Áreas de preservação permanente

A faixa de proteção para os recursos hídricos do porte encontrado na bacia, é de 30 metros em cada uma das margens segundo a Lei nº12.651 de 25 de maio de 2012. Não houve a delimitação das áreas de preservação permanente nas nascentes, pela incerteza do seu posicionamento (Figura 21).

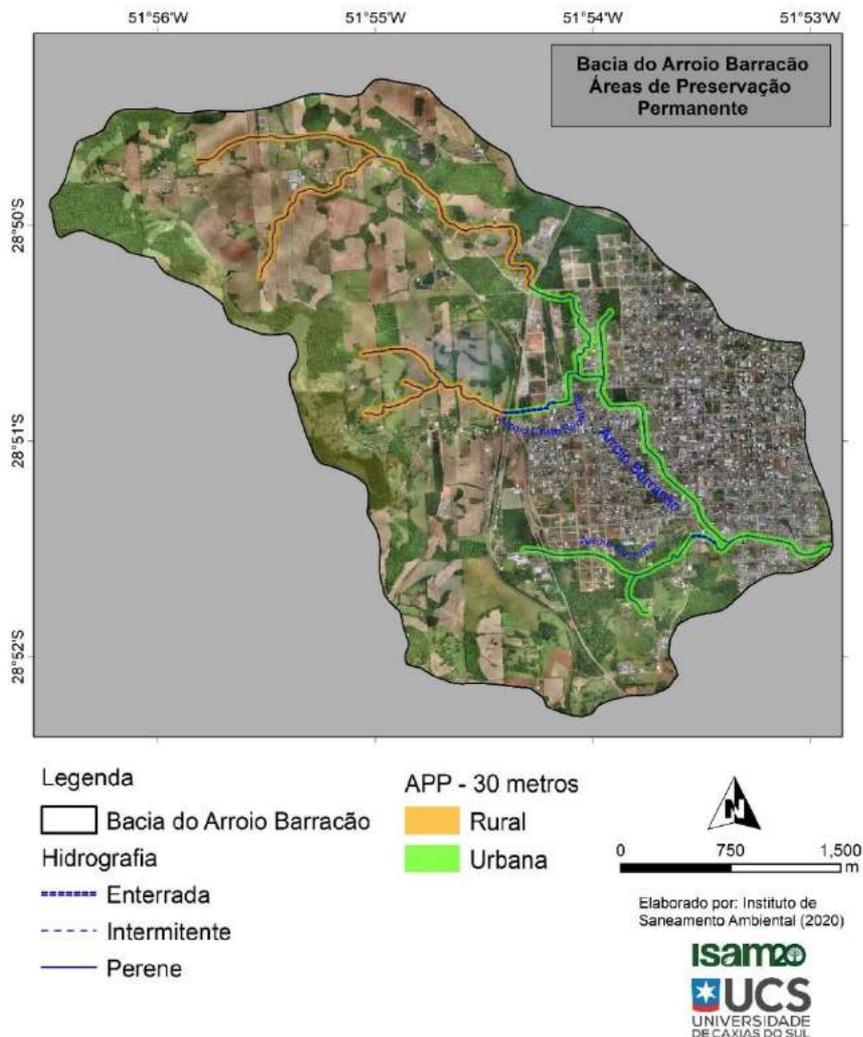
De acordo com o Artigo 61 da Lei nº12.651 de 25 de maio de 2012, as áreas rurais utilizadas para fins de turismo e uso agrossilvipastoril até 22 de julho de 2008 não possuem obrigatoriedade de recuperação de toda a faixa de proteção, conforme o número de módulos fiscais. Porém, essa particularidade não foi observada nesse trabalho pelo desconhecimento das

propriedades rurais inseridas na bacia. Em caso da elaboração de práticas referentes a recuperação das APPs em meio rural, é necessária a avaliação de cada propriedade.

O cruzamento das áreas de APP com o uso e cobertura do solo elaborado a partir das imagens aéreas indica uma região de cobertura mista (Figura 22). Existem 97,06 ha de APPs ao longo de toda a bacia, nas quais estão presentes todas as classes de uso e cobertura do solo (Tabela 7).

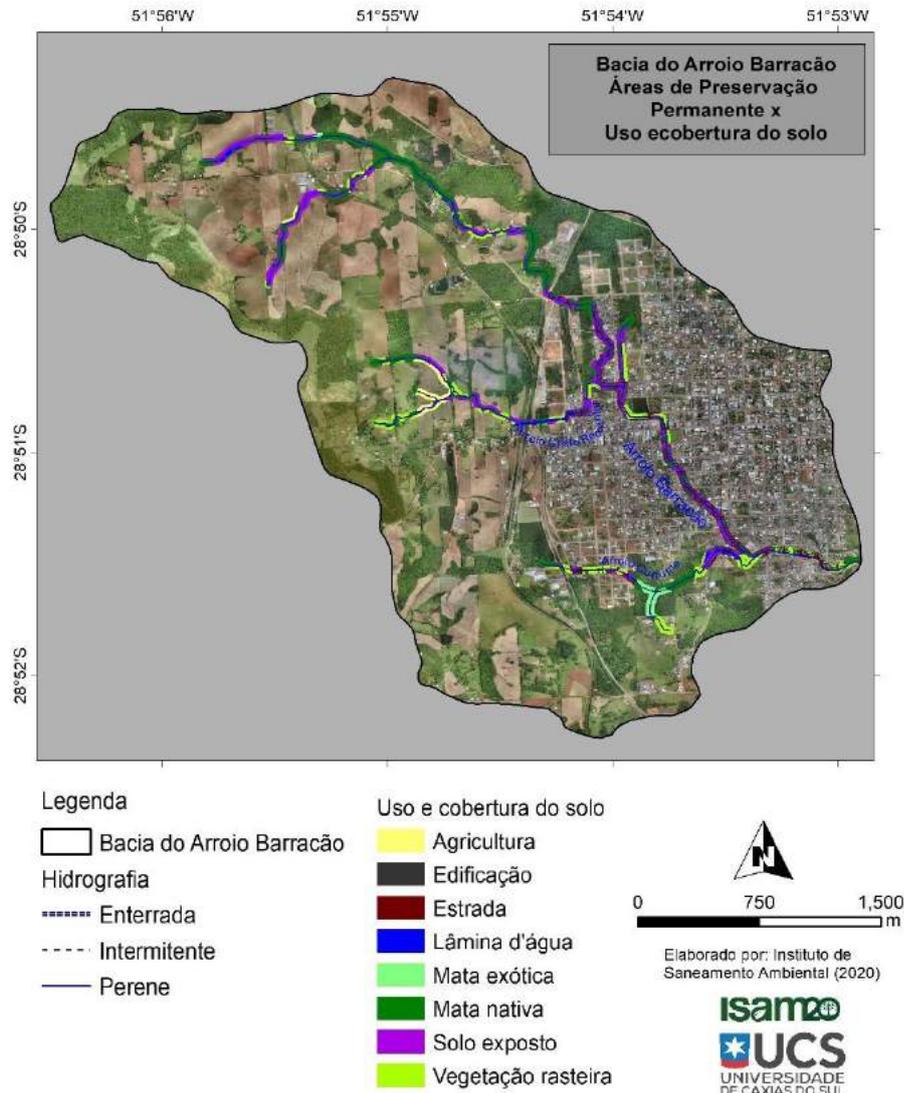
Observa-se que apesar de 39,33% (37,71 ha) das APPs da bacia corresponderem a classe de vegetação nativa, há praticamente a mesma área sendo ocupada por agricultura e solo exposto (29,83%; 27,85 ha). São 60% (57,97 ha) das áreas correspondentes a classes de uso antrópico em áreas de preservação permanente. Destaca-se a classe de edificações, ocupando 8,84% (9,45 ha) das APPs.

Figura 21. Áreas de preservação permanente



Fonte: ISAM (2020).

Figura 22. Uso e cobertura do solo nas áreas de preservação permanente



Fonte: ISAM (2020).

Considerando apenas o curso hídrico principal, o arroio Barracão, 35% das APPs estão associadas a ele. Nessa situação, existe o aumento da cobertura de mata nativa, com relação a porcentagem geral de 39,32% (APP total) para 56,18% (APP curso hídrico principal). Juntamente com a mata nativa, que pode ser entendida como fragmentos de vegetação e exemplares isolados, destaca-se a vegetação rasteira, ocupando 10,78% (3,43 ha) das APPs do arroio Barracão. Isso indica que 67% das APPs do arroio Barracão possuem cobertura de vegetação.

São 17,98% (5,72 ha) de edificações nas APPs relacionadas ao curso hídrico principal, destaca-se também a presença de estradas, as quais correspondem as galerias que atravessam o arroio.

Tabela 7. Distribuição do uso e cobertura do solo nas áreas de preservação permanente

Classe	Total		Curso hídrico principal		APP rural		APP urbana	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Agricultura	3,48	3,73	0	0	3,48	7,74	0,00	0,00
Edificações	8,25	8,84	5,72	17,98	0,13	0,29	8,12	16,76
Estrada	3,52	3,77	2,83	8,90	0,05	0,11	3,47	7,16
Lâmina d'água	1,00	1,07	0,59	1,85	0,75	1,66	0,25	0,52
Mata exótica	24,37	26,11	0,22	0,69	12,72	28,35	11,65	24,05
Mata nativa	36,70	39,32	17,87	56,18	22,10	49,25	14,60	30,13
Solo exposto	2,48	2,66	1,15	3,62	0,26	0,57	2,22	4,58
Vegetação rasteira	13,53	14,50	3,43	10,78	5,39	12,01	8,14	16,80
Total	93,33	100	31,81	100	44,88	100,00	48,45	100,00

Fonte: ISAM (2020).

As APPs divididas entre as áreas rurais e urbanas indicam de forma geral, uma similaridade entre suas quantidades, sendo 44,88 ha APPs rurais e 48,45 ha de APPs urbanas. Observa-se que na área rural as áreas naturais, especialmente a classe de mata nativa, as APPs são mais preservadas (22,10 ha – rural, 14,60 ha – urbana). Na área urbana destaca-se a presença de edificações localizadas nas APPs (8,12 ha).

Considerando ainda a porção do Arroio Barracão, a jusante do fluviômetro até o final da área urbana, são mais 7,46 ha de APPs, dos quais se destacam as edificações (1,20 ha) e a mata nativa (1,00 ha).

Considerando as edificações presentes nas áreas de preservação permanente do curso hídrico principal, conforme a Tabela 8, possui 328 edificações inseridas, das quais 78 estão inseridas parcialmente e 250 inseridas totalmente. Das edificações inseridas nas APPs de toda a bacia, 80% destas estão localizadas no curso hídrico principal.

Tabela 8. Edificações inseridas nas áreas de preservação permanente

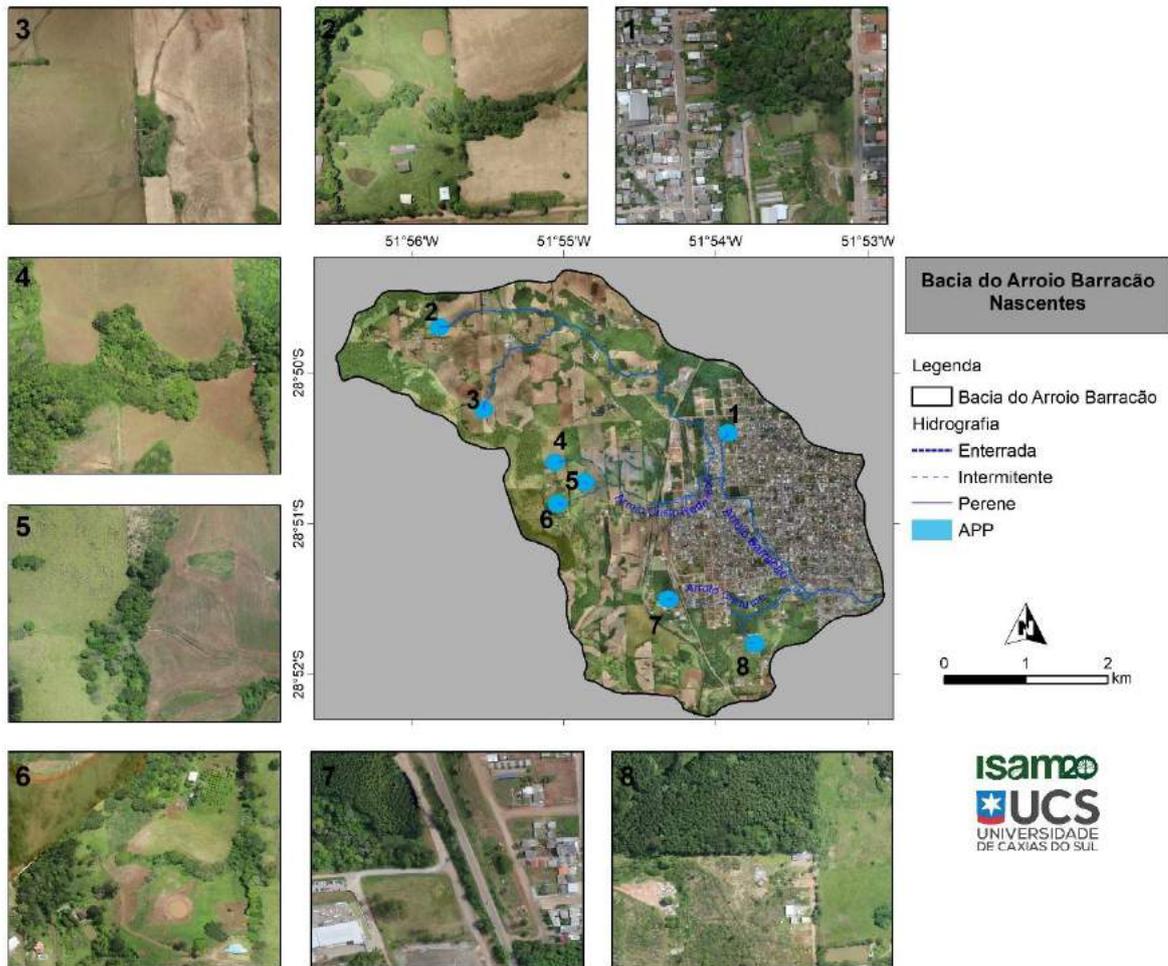
Situação	APP (ha)	
	Total	Curso hídrico principal
Inserida parcialmente	92	78
Inserida totalmente	320	250
Total	412	328

Fonte: ISAM (2020).

Apesar das APPs das nascentes não terem sido delimitadas pela incerteza de suas localizações, baseadas em observação visual do orto mosaico e bases de dados cartográficos,

foram aproximadas e avaliadas as áreas de localização teórica dessas que estão apresentadas na Figura 23. Verifica-se que a nascente nomeada como 1 apesar de estar localizada na área urbana, tem sua APP totalmente preservada, assim como a nascente 4, localizada na área rural. A nascente 2 localizada na área rural necessita de recuperação parcial, assim como as nascentes 3, 5, 6, 7 e 8.

Figura 23. Nascentes



Fonte: ISAM (2020).

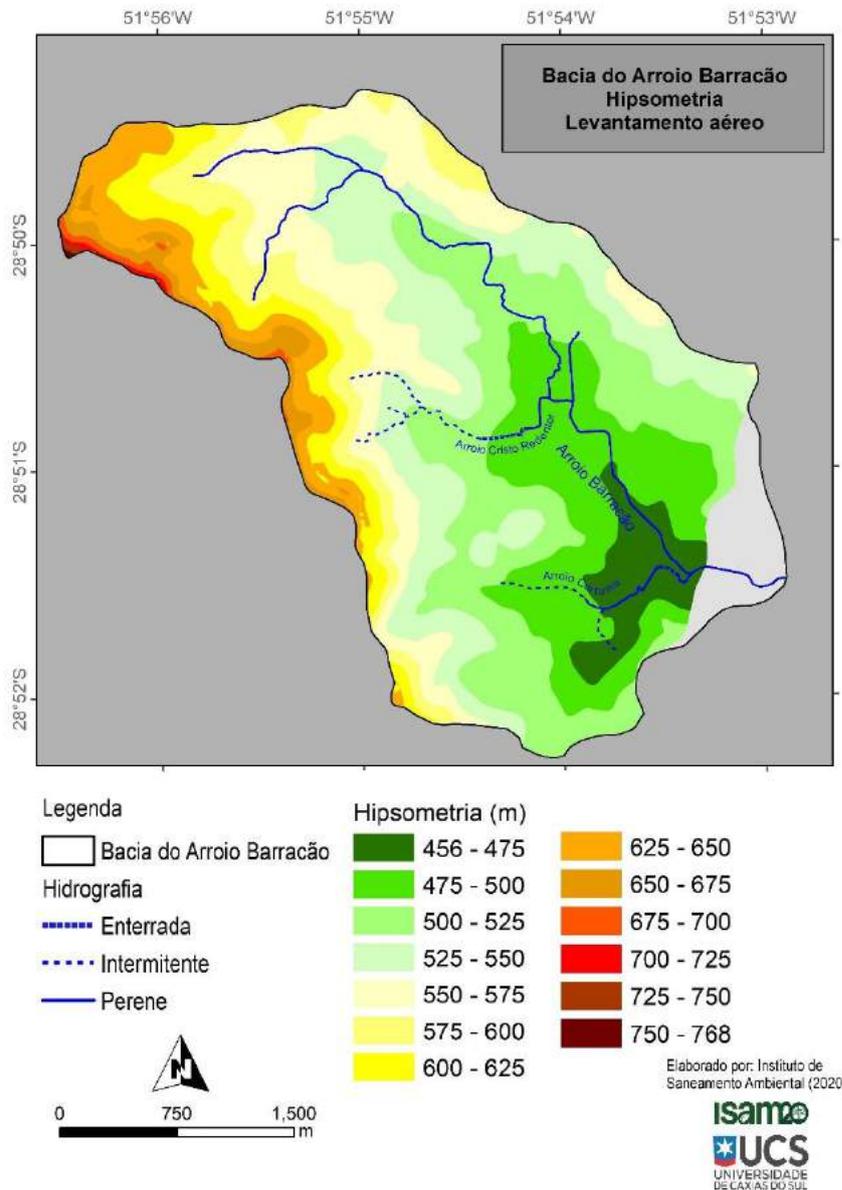
2.3.3 Hipsometria

A diferença entre o ponto mais elevado da bacia do arroio Barracão e seu exutório, considerado como referência o ponto de instalação do fluviômetro, é de 312 metros (Tabela 9). Observa-se no mapa da Figura 24, que as classes de maiores altitudes possuem uma largura horizontal menor que as classes de menores altitudes. Como o intervalo de variação de cada

classe é de 25 metros, isso indica que nas partes mais altas da bacia, o aumento de altitude ocorre em um espaço menor que nas áreas baixas, corroborando com os dados de declividade.

Identificou-se que 0,27% (4,50 ha) da área da bacia possui altitude de mais de 700 metros (Tabela 9). Apenas 14% (236,10 ha) da bacia possui mais de 600 metros de altitude. Identificam-se recursos hídricos abaixo dos 600 metros, onde a variação de altitude se torna menos acentuada.

Figura 24. Mapa de hipsometria



Fonte: ISAM (2019).

Tabela 9. Distribuição das áreas e porcentagens de hipsometria

Hipsometria (m)	Área (ha)	%
456 - 475	108,88	6,52
475 - 500	276,61	16,57
500 - 525	362,99	21,74
525 - 550	303,04	18,15
550 - 575	249,91	14,97
575 - 600	132,28	7,92
600 - 625	93,49	5,60
625 - 650	93,16	5,58
650 - 675	36,71	2,20
675 - 700	8,24	0,49
700 - 725	3,32	0,20
725 - 750	0,83	0,05
750 - 768	0,36	0,02
Total	1.669,81	100,00

Fonte: ISAM (2019).

2.3.4 Declividade

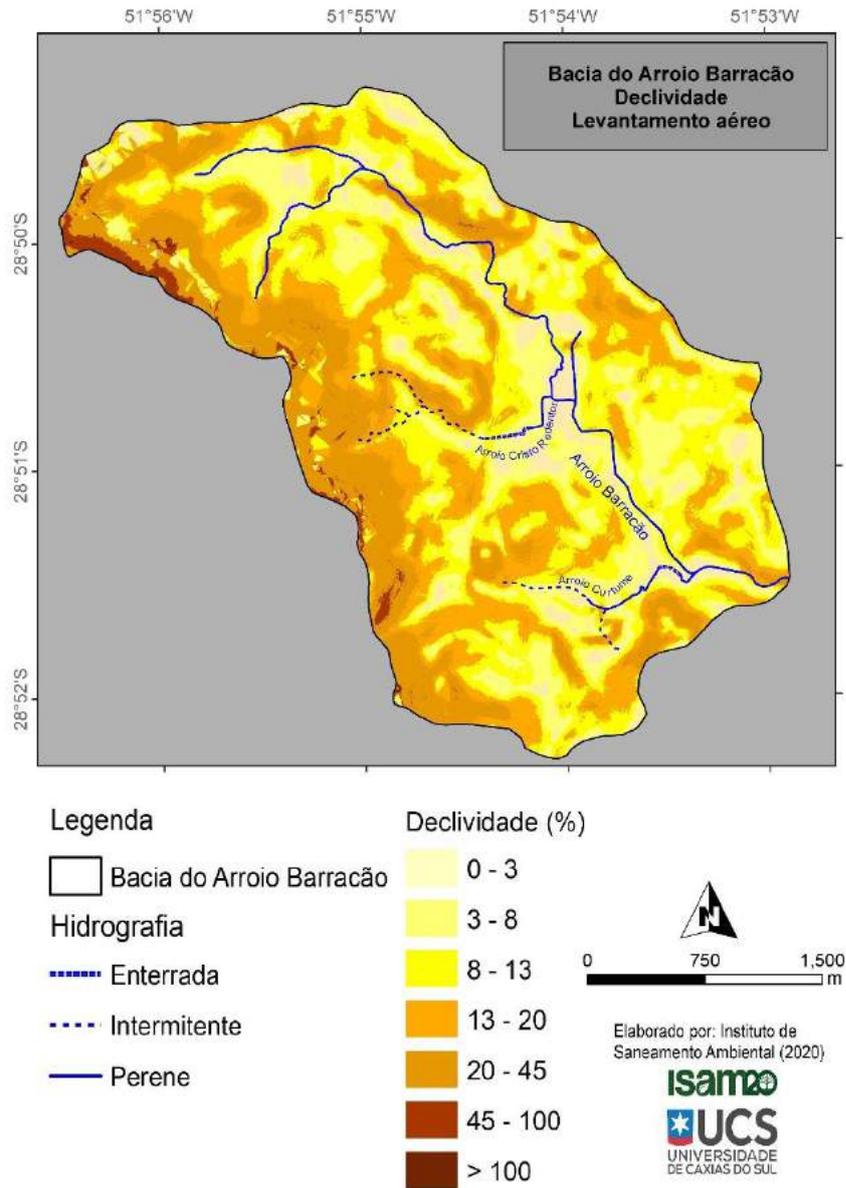
A declividade da bacia é mais acentuada na área rural (Figura 25), característica que contribui para maior velocidade de fluxo nas porções iniciais dos cursos hídricos, além do aumento do possível arraste de partículas de solo nessas regiões, onde o solo está descoberto. Essas áreas, conforme a Tabela 10, ocupam 19% da área da bacia (317,31 ha). As classes de declividades mais baixas até 20%, totalizam 1.352,51 ha, o que corresponde a 81% da área da bacia.

Tabela 10. Distribuição das áreas e porcentagens de declividade

Declividade (%)	Área (ha)	%
0 - 3	93,05	5,57
3 - 8	383,19	22,95
8 - 13	463,62	27,76
13 - 20	412,64	24,71
20 - 45	292,90	17,54
45 - 100	22,96	1,38
> 100	1,45	0,09
Total	1.669,81	100,00

Fonte: ISAM (2020).

Figura 25. Mapa de declividade



Fonte: ISAM (2020).

2.3.5 Perda de solos

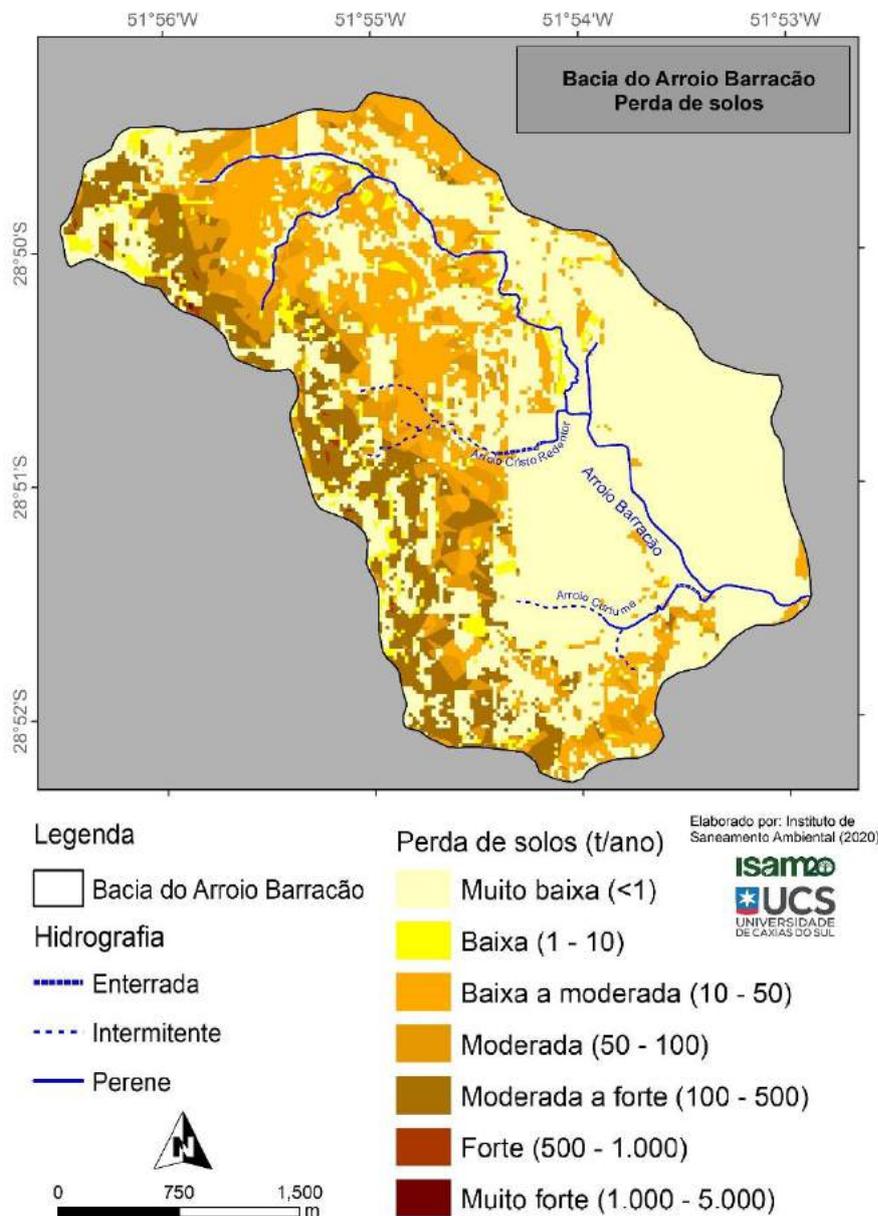
Na área urbana (Figura 26) é encontrada a menor taxa de perda de solo por arraste em função principalmente da impermeabilização por asfalto, concreto ou paralelepípedos. Taxas baixas de perda de solo também são identificadas nas áreas de remanescentes de mata nativa, devido a proteção do solo tanto pela vegetação arbórea, quanto pela vegetação arbustiva e herbácea.

Na região rural, há o aumento do potencial de assoreamento em virtude das áreas agricultáveis, com predomínio de culturas anuais (soja e milho), as quais quando descobertas

apresentam o maior potencial. Identifica-se também nessa região as áreas mais altas e de maior declividade. Ainda assim, 61% (1.013,55 ha) da área da bacia possui classificação de muito baixa e baixa perda de solo, de acordo com a Tabela 11, enquanto 11,28% (188,39 ha) encontram-se na classificação moderada a forte.

O diagnóstico que aponta as maiores perdas de solo em áreas de nascentes, aponta a necessidade de intensificar a proteção destas áreas, contribuindo para o controle do assoreamento do curso de água, favorecendo também a existência de áreas mais propícias para a infiltração da água da chuva.

Figura 26. Mapa de perda de solos



Fonte: ISAM (2020).

Tabela 11. Distribuição das áreas e porcentagens de perda do solo

Classe	(t/ano)	Área (ha)	%
Muito baixa	<1	947,09	56,72
Baixa	1 - 10	66,46	3,98
Baixa a moderada	10 - 50	323,67	19,38
Moderada	50 - 100	139,88	8,38
Moderada a forte	100 - 500	188,39	11,28
Forte	500 - 1000	4,06	0,24
Muito forte	1000 - 5000	0,13	0,01
Total		1.669,69	100,00

Fonte: ISAM (2020).

2.3.6 Geologia

São identificadas na Figura 27 duas unidades geológicas diferentes na Bacia do Arroio Barracão, as Fácies Caxias e as Fácies Gramado. Percebe-se especialmente a mudança da unidade geológica nas partes mais altas da bacia. Além disso, de forma geral, a unidade Fácies Caxias acompanha as nascentes e trechos iniciais dos corpos hídricos. Essas ocupam, conforme a Tabela 12, 57,14% (954,52 ha) da área da bacia.

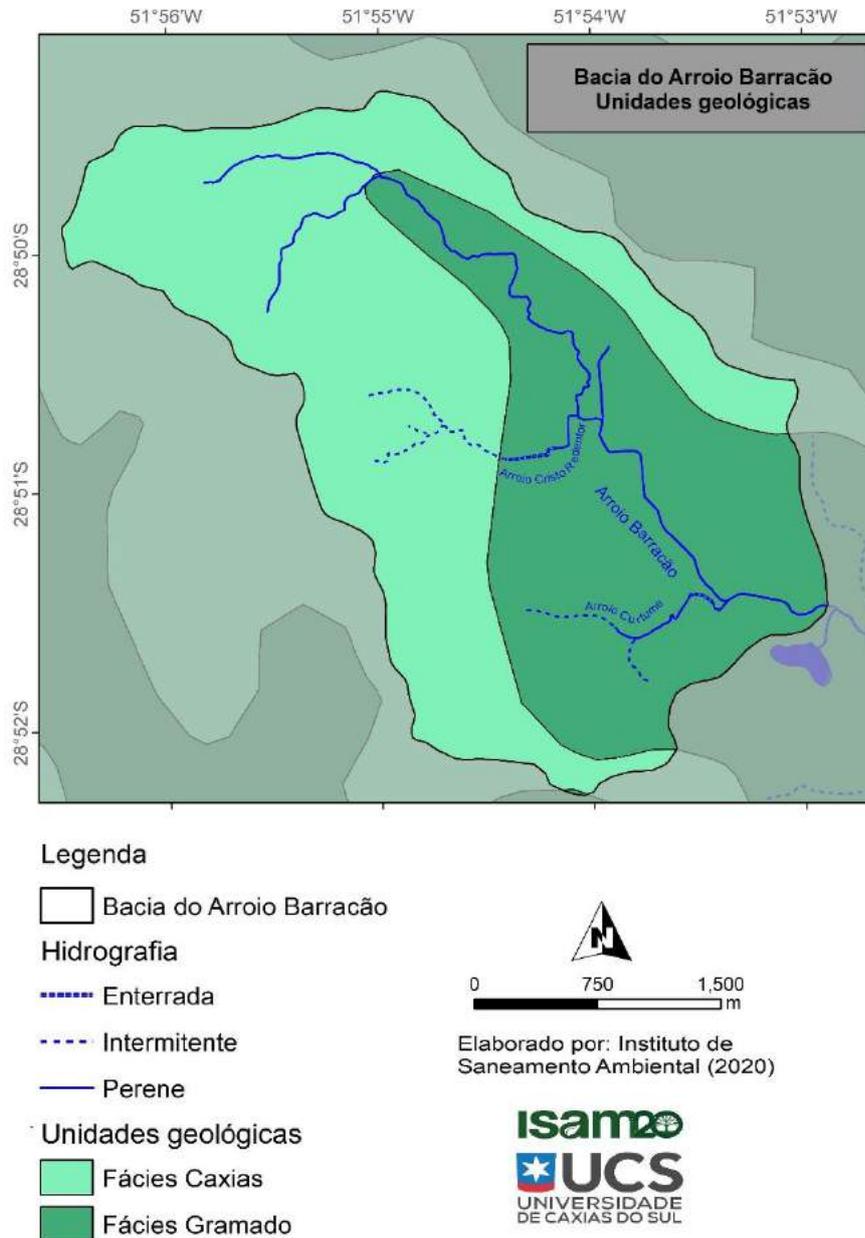
As Fácies Caxias são rochas de lavas vulcânicas ácidas, posicionadas estratigraficamente acima das rochas básica, ou seja, estão posicionadas acima das Fácies Gramado. Essas são rochas vulcânicas básicas a intermediárias, que ocorrem normalmente entre 150 e 650 metros de altitude (CPRM, 2010; GARCIA, 2012).

Tabela 12. Distribuição das áreas e porcentagens de unidades geológicas

Unidades geológicas	Área (ha)	%
Fácies Caxias	954,52	57,14
Fácies Gramado	716,07	42,86
Total	1670,60	100,00

Fonte: ISAM (2020).

Figura 27. Mapa de unidades geológicas



Fonte: ISAM (2020).

2.3.7 Pedologia

A mudança do tipo de solo identificada na Figura 28 coincide de maneira geral com a mudança de altitude e declividade. Isso possui influência na perda de solo pelas características erosivas de cada tipologia que segundo a literatura, os Chernossolos possuem maior potencial erosivo que Latossolos, contribuindo para a atenção recomendada com relação a perda de solos, a qual contribui para o maior potencial de perda de solos na região rural da bacia, justamente nas áreas de nascente (NASCIMENTO *et al.*, 2018).

Os Latossolos Vermelhos que ocupam 1.206,74 ha (72,27%) da área da bacia (Tabela 13). São solos altamente intemperizados e sem incremento de argila em profundidade. Com relação a erodibilidade, essa é considerada baixa, sendo encontrada na bibliografia valores entre 0,013 e 0,016 t.h/(MJ.mm) (BAPTISTA, 1997; NASCIMENTO *et al.*, 2018; EMBRAPA, 2019).

O restante da área da bacia é ocupado por Chernossolo Argilúvicos entremeado por Neossolo Litólico. Os Chernossolos são caracterizados pela presença de horizonte superficial relativamente espesso, escuro, com boa agregação e muito férteis. Enquanto os Neossolos são solos pouco evoluídos pedogeneticamente, são jovens e apresentam predomínio de características herdadas do material originário. Essas tipologias de solo possuem erodibilidade considerada média a alta. Os Chernossolos Argilúvicos possuem uma erodibilidade de cerca de 0,036 t.h/(MJ.mm) e os Neossolos Litólicos pode chegar até a 0,042 t.h/(MJ.mm) (NASCIMENTO *et al.*, 2018; EMBRAPA, 2019).

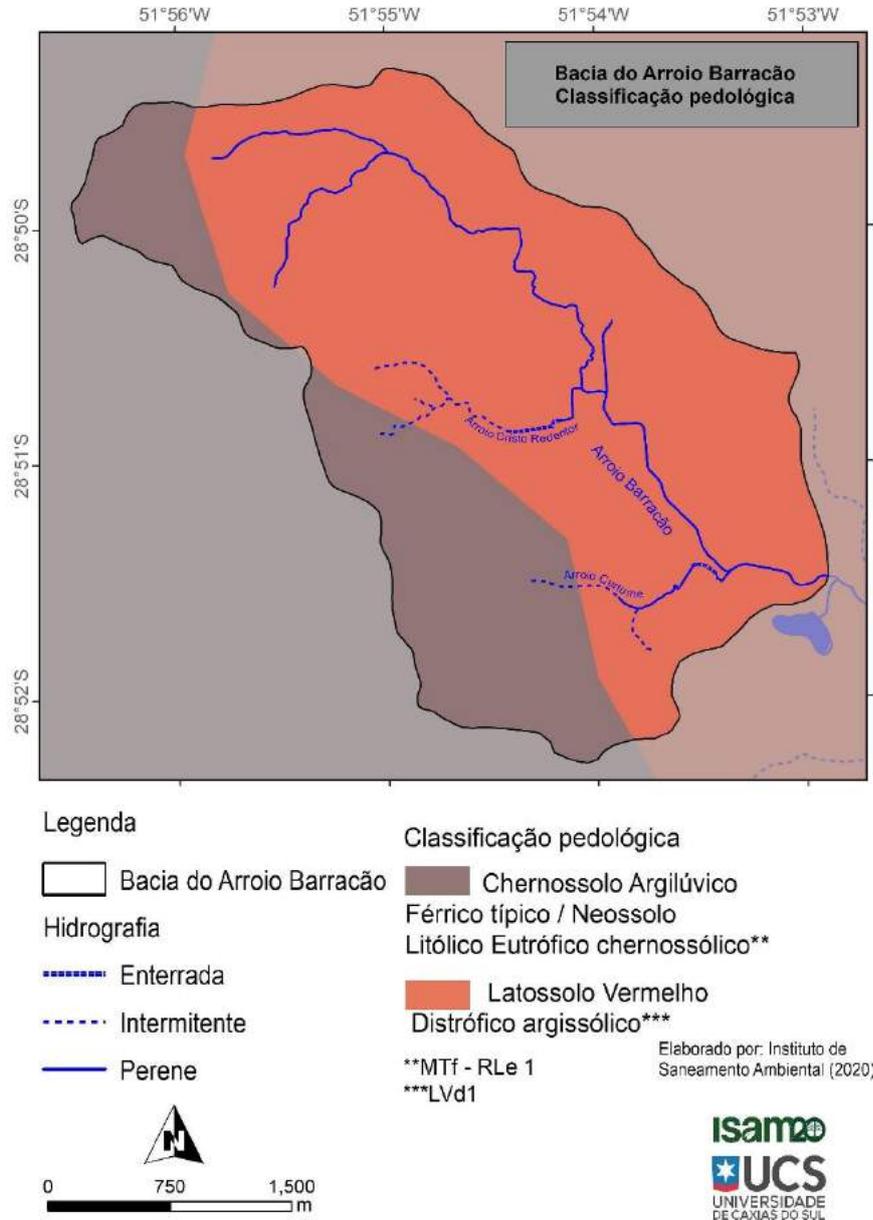
O fator preponderante para a diferenciação das características erosivas das diferentes tipologias está na permeabilidade do solo, a qual é alta em Latossolo Vermelhos, passando a ser média nos Chernossolos Argilúvicos até baixa nos Neossolos Litólicos. Onde a permeabilidade é baixa, a quantidade de água que não consegue infiltrar no solo é maior, ocasionando assim o escoamento superficial aumentando a possibilidade do arraste de partículas do solo (EMBRAPA, 2019).

Tabela 13. Distribuição das áreas e porcentagens de classes pedológicas

Classificação pedológica	Área (ha)	%
Latossolo Vermelho Distrófico argissólico	1.206,74	72,27
Chernossolo Argilúvico Férrico típico / Neossolo Litólico Eutrófico chernossólico	463,06	27,73
	1.669,80	100,00

Fonte: ISAM (2020).

Figura 28. Mapa de classes pedológicas



Fonte: ISAM (2020).

2.3.8 Fitogeografia

O município de Guaporé faz parte do Bioma Mata Atlântica (Lei Federal 11.428/2006). A bacia do arroio Barracão possui apenas Floresta Ombrófila Mista – Mata de Araucária como pode ser observado na Figura 29.

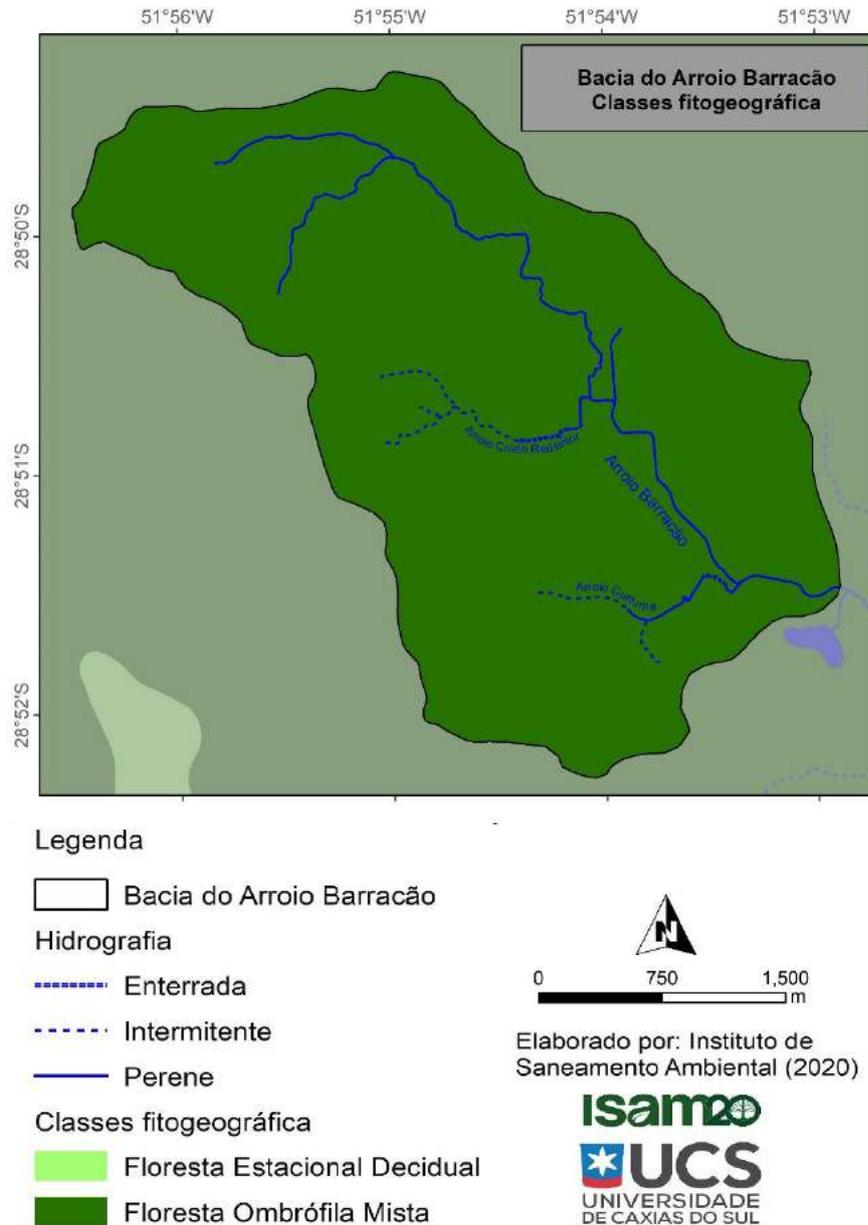
A nomenclatura Floresta Ombrófila “Mista”, é pelo fato de haver associação entre coníferas e folhosas, levantando a questão da importância da conservação da vegetação nativa, pela presença de araucárias nessa vegetação. Ocupa os locais com altitude superior a 500 metros acima do nível do mar, predominantemente sobre rochas de basaltos e rochas efusivas

ácidas. O principal elemento desta floresta é a *Araucaria angustifolia* (pinheiro-brasileiro), espécie endêmica do bioma, que, por sua relevante importância comercial, movimentou a economia de parte do sul do Brasil nas décadas de 1960 e 1970, sendo posteriormente as áreas com araucárias desmatadas para fins agrícolas, especialmente para o plantio de soja e trigo, e mais recentemente utilizadas para o reflorestamento com *Pinus* sp. (BEHLING; PILLAR, 2007).

A consequência foi a drástica redução de aproximadamente de 90% de sua área original em pouco mais de 40 anos e o empobrecimento genético das populações da espécie, hoje considerada ameaçada de extinção (RIBEIRO et al. 2009). À medida que a altitude diminui, a araucária se associa a várias espécies das famílias Lauraceae (canelas) e Myrtaceae (guamirins e outros), principalmente, além de Meliaceae e Bigniaceae (cedros e ipês). Destacam-se ainda a *Luehea divaricata* (açoita-cavalo) e *Blepharocalix* spp. (murta) no estrato emergente e *Sebastiania commersoniana* (branquilha), no estrato arbóreo contínuo. Em função da elevada concentração de umidade, observa-se a presença de uma grande quantidade de plantas epífitas (bromélias, orquídeas, musgos e líquens), além de diversas espécies de pteridófitas (samambaias) e xaxins, incluindo o xaxim-imperial *Dicksonia sellowiana*, espécie constante na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçada de extinção, juntamente com o pinheiro-brasileiro de acordo com a Instrução Normativa MMA nº 6, de 23 de setembro de 2008 (TEIXEIRA; NETO, 1986).

Essa informação possui relevância com relação ao uso e cobertura do solo, indicando a antropização da área, pois considerando inicialmente uma área intocada, hoje são remanescentes apenas 25% dessa vegetação natural na bacia do Arroio Barracão, com relação ao uso e cobertura do solo atual.

Figura 29. Mapa de fitogeografia



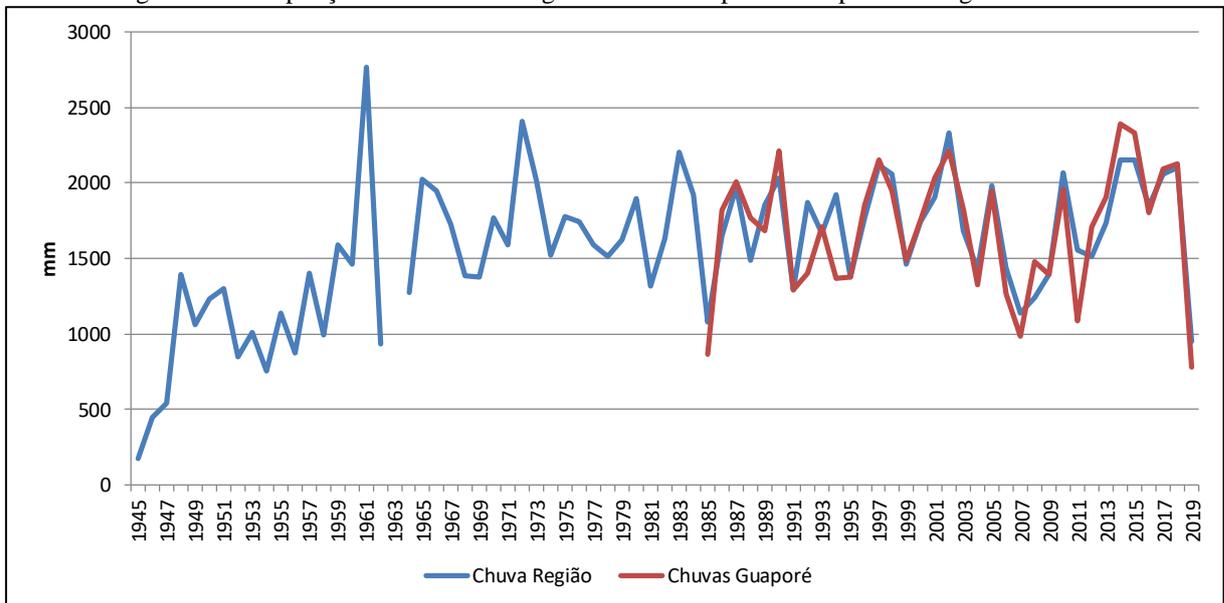
Fonte: ISAM (2020).

2.3.9 Caracterização da precipitação e vazões locais

A precipitação local é um dos principais fatores que contribuem para os eventos críticos em qualquer bacia hidrográfica. O regime de precipitação total, médio, de eventos críticos e sua frequência que podem ser obtidos através de séries históricas permitem entender o comportamento passado e sugerir tendências futuras para as chuvas de uma determinada região. A Figura 30 apresenta a precipitação total anual na região no município de Guaporé ao longo de 74 anos. Cabe destacar que especificamente no município, o registro de dados de

precipitação iniciou no ano de 1985, cujos dados são disponibilizados pela Agência Nacional das Águas no sistema Hidroweb, posto pluviométrico 2851044.

Figura 30. Precipitação total anual na região e no município de Guaporé ao longo de 74 anos

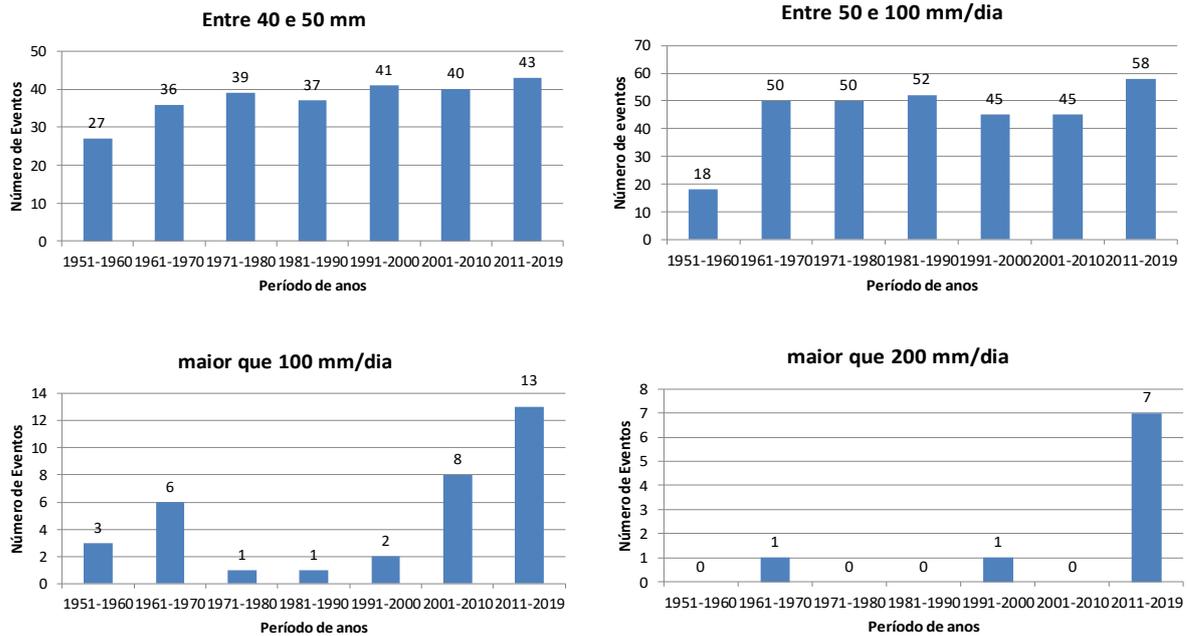


Fonte: Dados obtidos da Agência Nacional das Águas (2019).

Observa-se que a partir da década de 1970 as chuvas totais anuais na região começam a ter um comportamento médio com pouca variação caracterizando a série como estatisticamente homogênea e estacionária, apresentando valores entre 1.000 a 2.500 mm anuais, oscilando em períodos mais secos e úmidos. Entretanto, apesar da variação total anual não ser significativa, ao analisar a frequência de eventos máximos de precipitação ao longo das décadas, pode-se identificar que tais eventos têm se tornado mais recorrentes, como mostra a Figura 31 e a Figura 32.

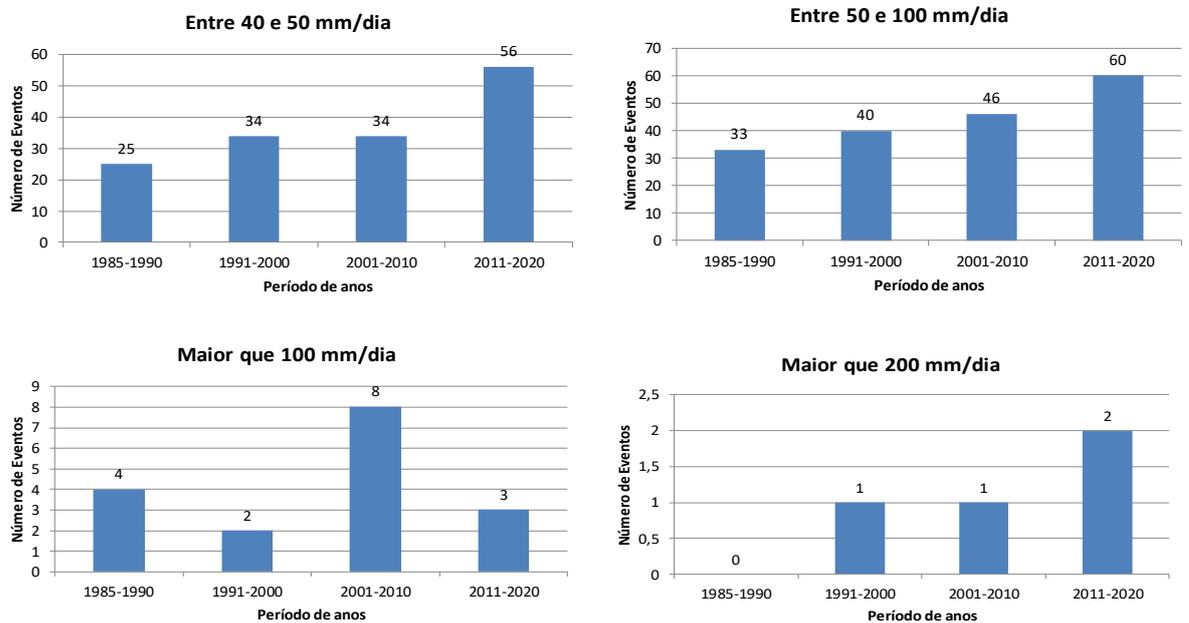
Especificamente no município de Guaporé, somente na última década foram registrados 56 eventos cuja precipitação diária esteve entre 40 e 50 mm, 60 eventos com precipitação entre 50 e 100 mm/dia e pelo menos 3 eventos com precipitação entre 100 e 200 mm/dia. Tal comportamento se assemelha aos eventos históricos da região. Este aumento da frequência de eventos extremos pode estar associado às mudanças climáticas globais, bem como o fortalecimento de fenômenos continentais como o El Niño.

Figura 31. Frequência de eventos de chuva intensa na região



Fonte: Dados obtidos da Agência Nacional das Águas (2019).

Figura 32. Frequência de eventos de chuva intensa no município de Guaporé

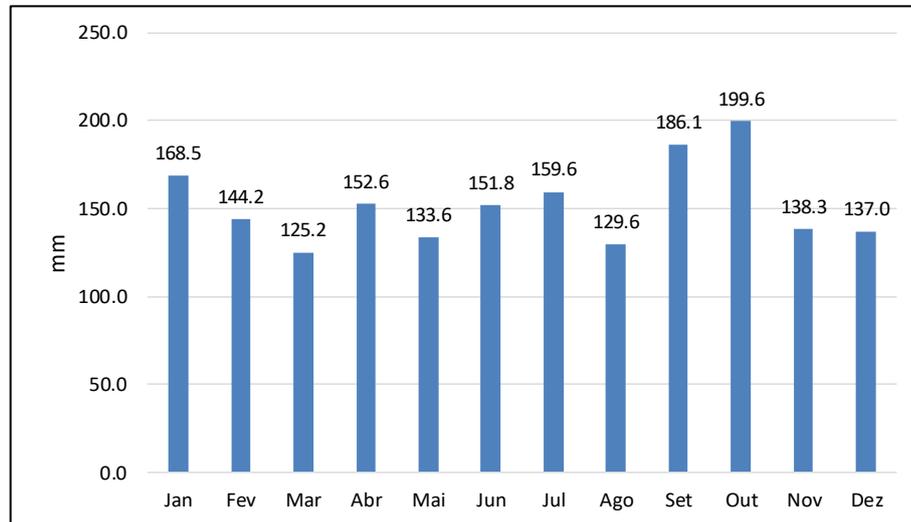


Fonte: Dados obtidos da Agência Nacional das Águas (2019).

A Figura 33 mostra a precipitação média mensal no município. Assim como em todo o estado do Rio Grande do Sul, as chuvas são regulares durante todo o ano, não ocorrendo uma diferença acentuada entre meses secos e chuvosos. Entretanto, pode-se observar que os meses

com maior volume de chuva acumulada são setembro e outubro, cujos valores são superiores a 185 mm/mês, enquanto os meses de março, maio e agosto apresentam as menores precipitações.

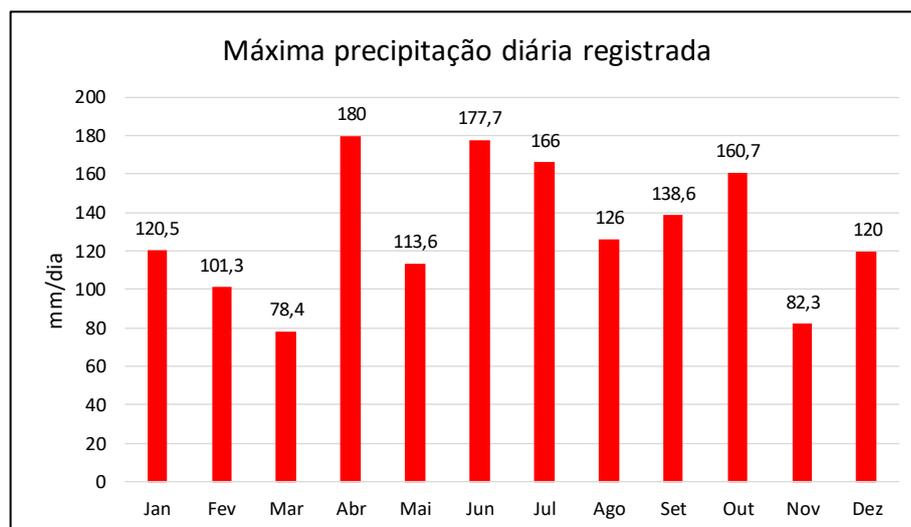
Figura 33. Precipitação média mensal no município de Guaporé



Fonte: Dados obtidos da Agência Nacional das Águas (2019).

Considerando a Figura 34, que apresenta as maiores precipitações mensais ocorridas desde 1985, pode-se verificar que estes eventos são superiores a 78,4 mm em um dia, e alguns deles superam até a média histórica mensal, como é o caso de eventos que ocorreram nos meses de abril, junho e julho.

Figura 34. Máxima precipitação diária registrada no mês no município de Guaporé



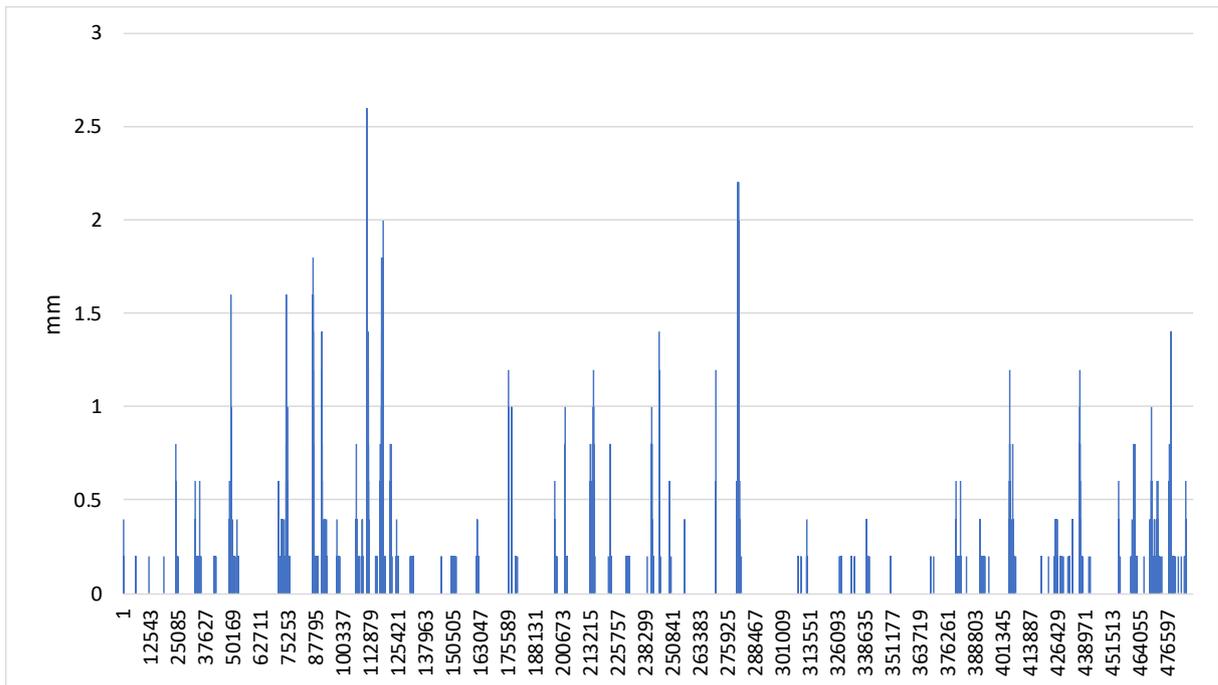
Fonte: Dados obtidos da Agência Nacional das Águas (2019).

Além dos eventos de precipitação diária intensos, também devem ser considerados os eventos cuja precipitação ao longo de vários dias seguidos acumulam um valor elevado de chuva, que associadas a um solo mais úmido por episódios antecedentes de precipitação e às características da bacia, acabam contribuindo para situações críticas de enchentes e inundações.

Destaca-se também que os eventos de precipitação apresentados anteriormente são medidos em um intervalo de 1 dia a partir de um pluviômetro, porém a duração da chuva pode ter ocorrido em um período de tempo inferior a um dia, o que é só possível de ser medido em pluviógrafos.

Na Bacia do Arroio Barracão, no mesmo local em que está o fluviômetro foi instalado um pluviógrafo que realiza registro de chuva com intervalo de 1 minuto. Desde a instalação que ocorreu em 12 de agosto de 2019, foram registrados 489.129 dados até 19 de julho de 2019, correspondendo a um pouco mais de 11 meses de registro de dados, os quais são de grande importância para o conhecimento do comportamento das chuvas neste período (Figura 35).

Figura 35. Registro de chuva com intervalo de 1 minuto

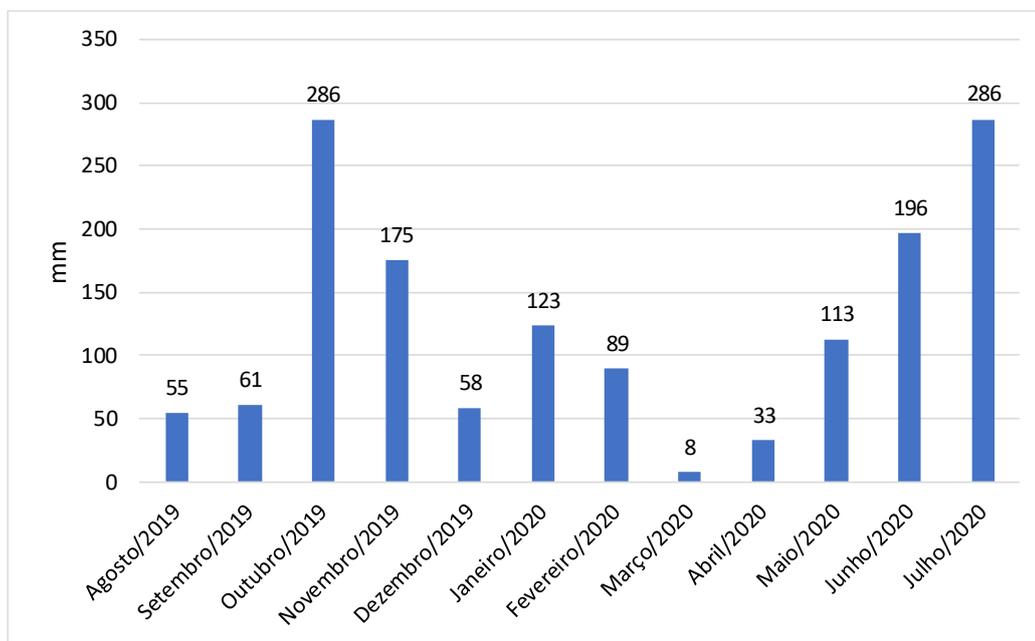


Fonte: GUAPORÉ; ISAM (2020).

A Figura 36 apresenta a precipitação total mensal do período monitorado. Observa-se que os meses de março e abril apresentaram chuvas inferiores a 50 mm, mas que foi compensada nos meses seguintes, sendo que em julho o total mensal foi de 286 mm, com um evento com chuva de 112 mm no dia 07 de julho de 2020, conforme mostra a Tabela 14. Em 2020, os meses

secos (jan a maio) ficaram abaixo da média e os meses de chuva (junho e julho) apresentaram valores acima da média.

Figura 36. Precipitação Mensal 2019/2020



Fonte: GUAPORÉ; ISAM (2020).

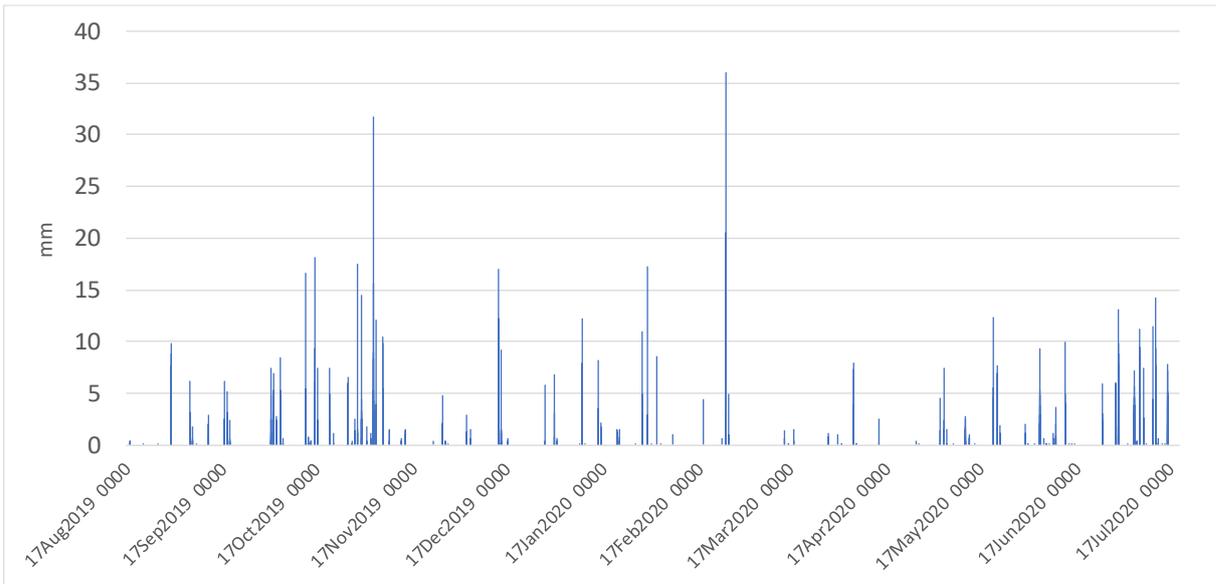
Tabela 14. Eventos de Precipitação com mais de 10 mm em 1 dia

#	Dia/Mês/Ano	P(mm)	#	Dia/Mês/Ano	P(mm)
1	31Ago2019	53,4	1	01Jan2020	10,8
2	06Set2019	12,4	2	10Jan2020	23,0
3	17Set2019	15,4	3	15Jan2020	16,2
4	18Set2019	16,6	4	29Jan2020	26,4
5	02Out2019	20,4	5	31Jan2020	20,4
6	03Out2019	28,2	6	25Feb2020	70,0
7	04Out2019	13,2	7	06Abr2020	27,6
8	05Out2019	35,0	8	04Mai2020	13,6
9	13Out2019	25,8	9	12Mai2020	11,6
10	16Out2019	42,4	10	21Mai2020	37,5
11	17Out2019	11,8	11	22Mai2020	28,1
12	21Out2019	19,8	12	05Jun2020	40,4
13	27Out2019	29,2	13	13Jun2020	21,8
14	30Out2019	20,2	14	25Jun2020	15,2
15	31Out2019	30,4	15	29Jun2020	40,6
16	04Nov2019	99,4	16	30Jun2020	65,8
17	05Nov2019	10,0	17	05Jul2020	47,6
18	07Nov2019	38,0	18	07Jul2020	112,0
19	14Dez2019	29,2	19	11Jul2020	35,0
20	15Dez2019	14,2	20	12Jul2020	35,2
			21	16Jul2020	43,8

Fonte: GUAPORÉ; ISAM (2020).

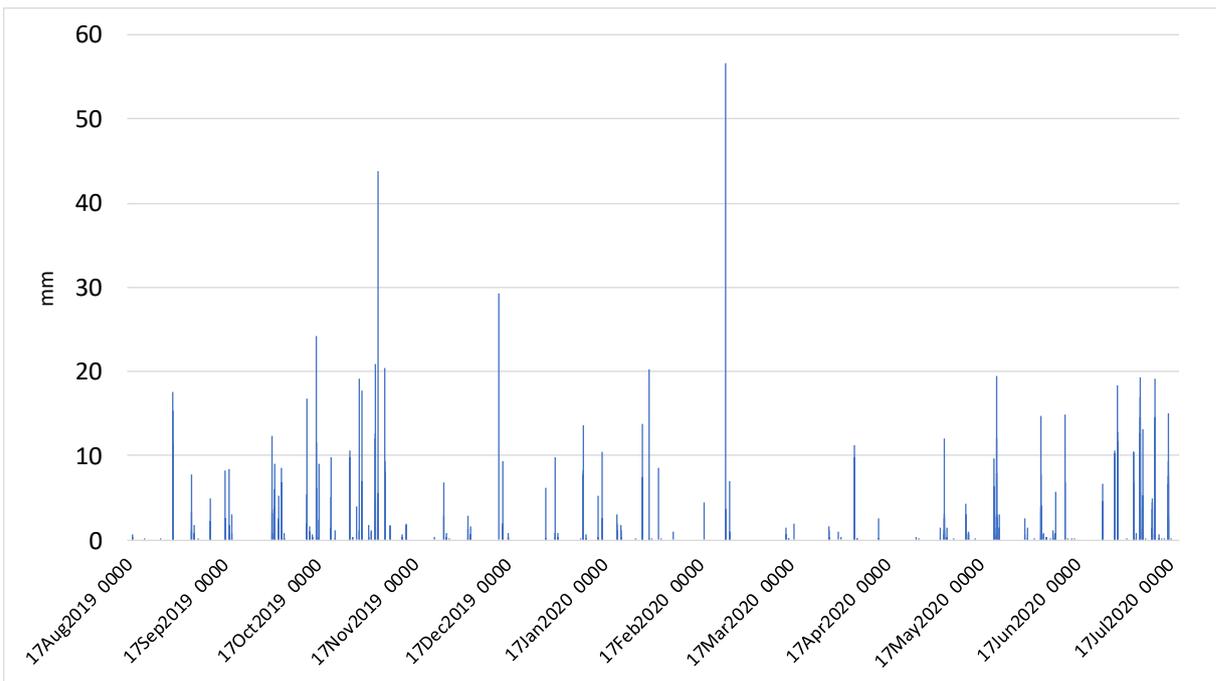
Nos 11 meses ocorreram 41 eventos com precipitação diária acima de 10 mm, e 10 eventos com precipitação acima de 40 mm em um dia. Durante este período de monitoramento, os eventos com maiores precipitações apresentaram valores de 36 mm em uma hora (Figura 37) e 56,6 mm em duas horas (Figura 38).

Figura 37. Acumulado de uma hora



Fonte: GUAPORÉ; ISAM (2020).

Figura 38. Acumulado de duas horas

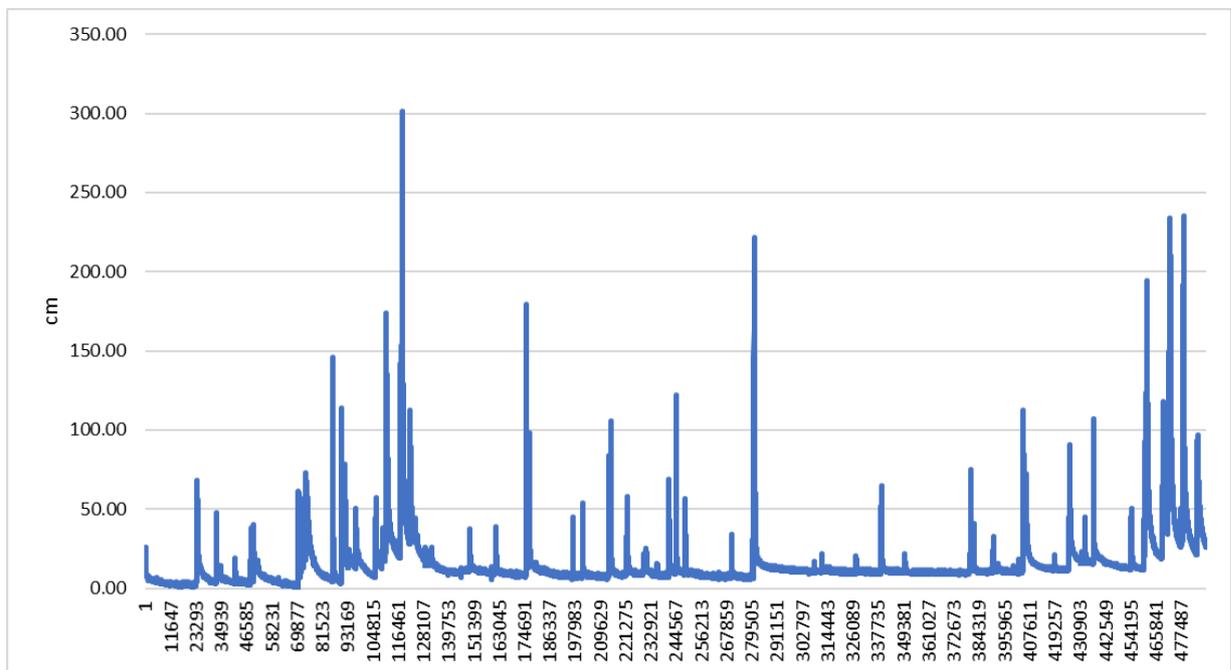


Fonte: GUAPORÉ; ISAM (2020).

Grande parte das obras de drenagem são construídas para atender um período de retorno de determinado evento, ou seja, o período que um evento demora para ser igualado ou superado. Geralmente, para obras de drenagem urbana este período de retorno é estabelecido para suportar uma precipitação máxima com 2 a 5 anos de período de retorno. Como eventos máximos têm se tornado mais recorrentes, cabe uma análise mais aprofundada quanto ao período de retorno escolhido pelos engenheiros para projetos de engenharia.

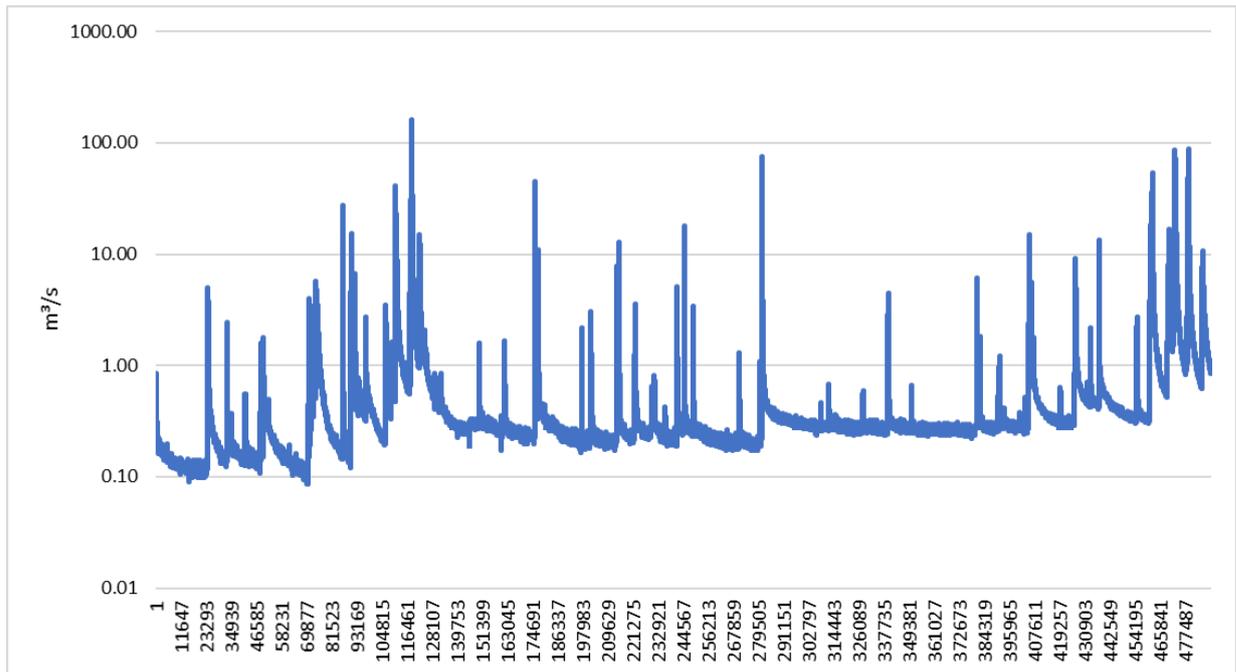
Os dados de cota monitorados e os de vazão calculados durante estes 11 meses são apresentados na Figura 39 e Figura 40, respectivamente. A vazão média corresponde a 0,76 m³/s e 14 cm de altura de lâmina de água. Observa-se que a maior cota medida foi de 300 cm apresentando vazão superior a 160 m³/s em evento ocorrido entre 04 e 05 de novembro de 2019, resposta de uma chuva de 109,4 mm. A bacia apresenta uma área de 16 km² (até o fluviômetro), com comprimento de rio principal de 3,36 km, declividade do rio principal de 0,013 m/m, tempo de concentração de aproximadamente 60 min, apresentando característica de escoamento rápido.

Figura 39. Cota medida no posto fluviométrico



Fonte: GUAPORÉ; ISAM (2020).

Figura 40. Vazão calculada a partir da curva-chave



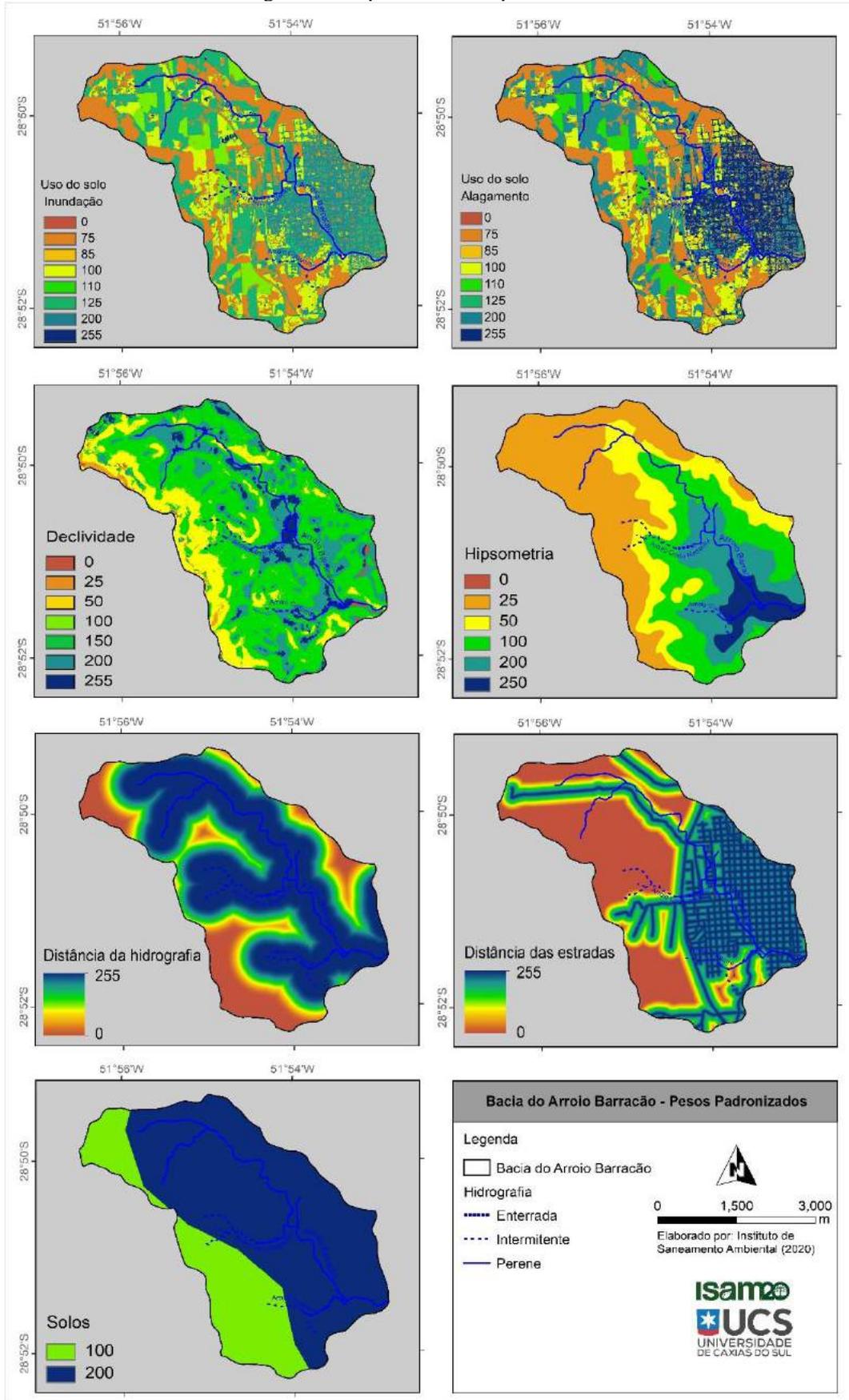
Fonte: GUAPORÉ; ISAM (2020).

2.3.10 Análise Hierárquica de Processo – AHP

A seguir, são apresentados os resultados da aplicação da Análise Hierárquica de Processo para a bacia do arroio Barracão. Os mapas compilados na Figura 41 representam os fatores de entrada (declividade, distância dos recursos hídricos, distância das estradas, hipsometria, solos e uso e cobertura do solo) padronizados na escala de 0 a 255, sendo o mapa de uso e cobertura do solo padronizado para inundações e alagamentos. Na Tabela 15 estão contidos os pesos calculados para cada um dos fatores de entrada, tanto para alagamentos, quanto para inundações.

Destaca-se que por se tratar de uma metodologia quali-quantitativa e empírica, os resultados obtidos não possuem a mesma qualidade e fidelidade a realidade que uma modelagem hidráulica-hidrológica. Isso se deve principalmente ao fato da metodologia adotar apenas parâmetros físicos da área de estudo, sem considerar parâmetros climáticos (precipitação, vazão) para a elaboração da suscetibilidade.

Figura 41. Mapas dos fatores padronizados



Fonte: ISAM (2020).

Tabela 15. Pesos calculados pela matriz de comparação ponderada para alagamentos e inundação

Fator	Ponderação dos fatores	
	Alagamentos	Inundação
Declividade	0,1462	0,1724
Distância das estradas	0,4469	0,0221
Distância dos recursos hídricos	0,0254	0,4466
Hipsometria	0,0776	0,2212
Solos	0,0381	0,0371
Uso e cobertura do solo	0,2659	0,1007

Fonte: ISAM (2020).

Como resultados finais os mapas da Figura 42 e 43 indicam as suscetibilidades a alagamentos e inundações respectivamente, em uma escala de muito baixa, baixa, média e alta, separadas conforme a Tabela 16.

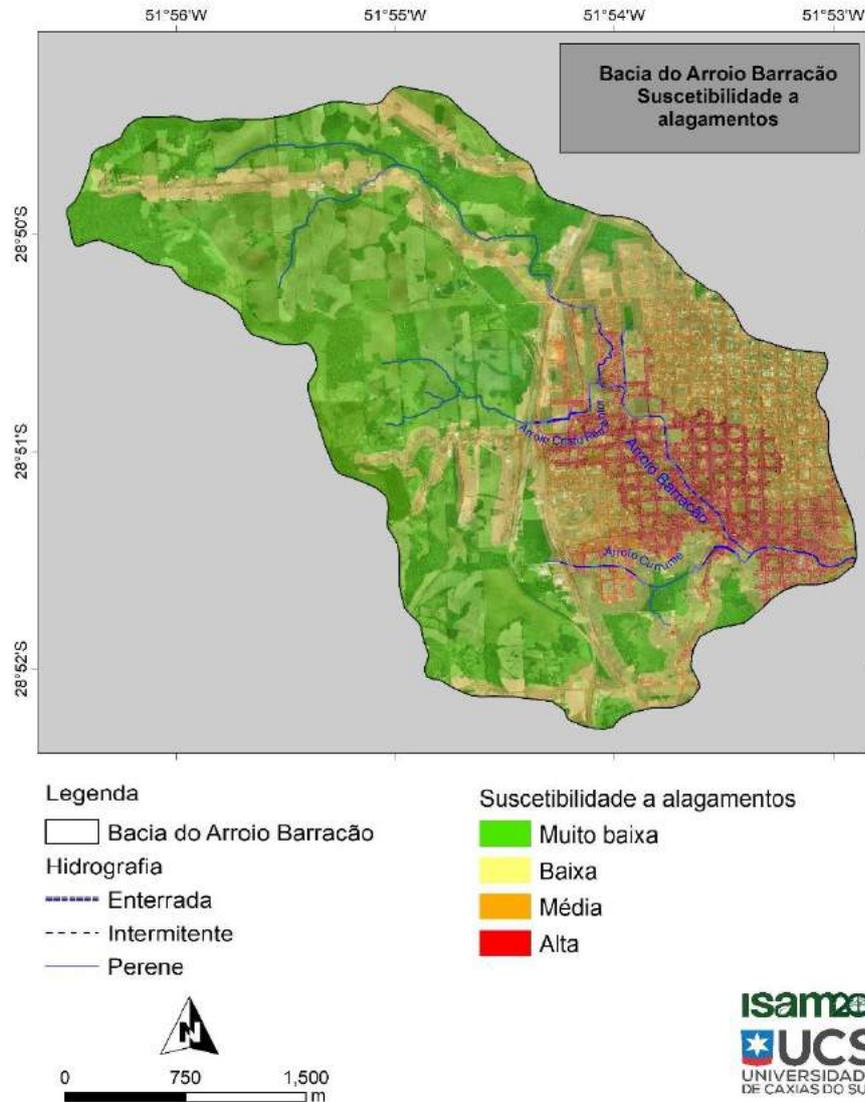
Nota-se que o mapa de suscetibilidade a alagamentos, apresenta como classes de suscetibilidade alta e média especialmente as regiões urbanas, coincidindo com o leito do arroio Barracão na área urbana, essas duas classes somando 21,04% (351,40 ha) da área da bacia. Na área rural da bacia, destacada pelas áreas de inclinação e altitudes elevadas, além das classes de uso e cobertura do solo de maior permeabilidade, correspondem a classe de suscetibilidade a alagamentos muito baixa (51,48% - 859,57 ha).

Na área urbana, nas regiões próximas ao Arroio Barracão onde há a confluência de fatores como declividade baixa e concentração de estradas, além da alta impermeabilidade, há a indicação de uma grande porção da classe de suscetibilidade alta de alagamentos, apesar de a realidade não indicar parte dessas áreas como áreas inundáveis. Demonstra-se nesse ponto a limitação da metodologia, que não trabalha diretamente com a geometria do canal e nem fatores climáticos para a elaboração da suscetibilidade a alagamentos e inundações. A metodologia abrange apenas fatores físicos da região de estudo, considerando somente esses na análise da suscetibilidade.

Diferentemente do mapa de suscetibilidade a alagamentos, que apresenta como característica mais significativa a distância das estradas, o mapa de suscetibilidade a inundação da Figura 43, possui as classes distribuídas de acordo com as distâncias dos recursos hídricos. Ainda assim, as classes de suscetibilidade alta e média, que corresponde a 14,49% (241,89 ha) da área da bacia, se encontram especialmente na área urbana. Pela associação aos recursos hídricos, a classe de suscetibilidade muito baixa possui uma área inferior ao mapa de

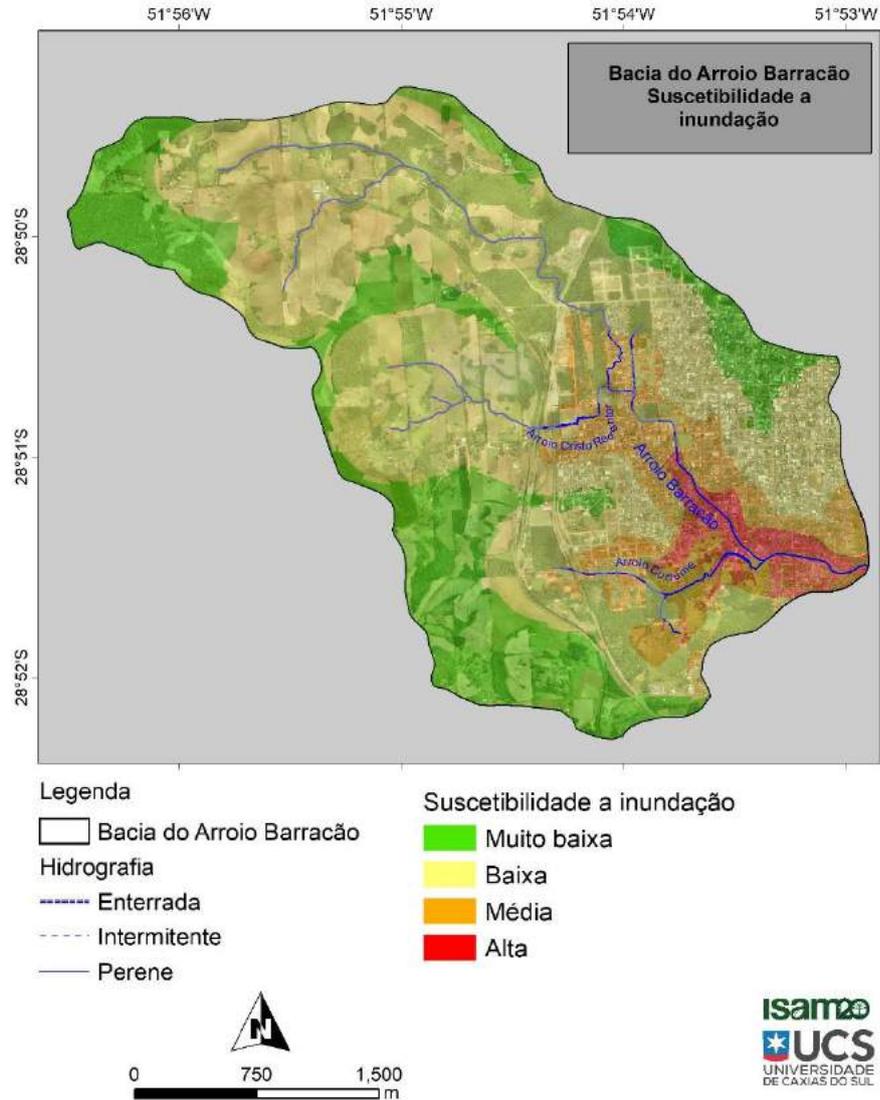
suscetibilidade a alagamentos (25,44% - 424,76 ha), pela existência de recursos hídricos na área rural.

Figura 42. Suscetibilidade a alagamentos pela AHP



Fonte: ISAM (2020).

Figura 43. Suscetibilidade a inundação pela AHP



Fonte: ISAM (2020).

Tabela 16. reas e porcentagens das classes da AHP de alagamentos e inundação

	Alagamento			Inundação		
	Intervalo	rea (ha)	%	Intervalo	rea (ha)	%
Muito baixa	0 - 130	859,57	51,48	0 - 100	424,76	25,44
Baixa	130 - 190	458,85	27,48	100 - 200	1003,16	60,08
Média	190 - 215	221,90	13,29	200 - 220	187,31	11,22
Alta	215 - 240	129,50	7,76	220 - 240	54,58	3,27
Total		1.669,81	100,00		1.669,81	100,00

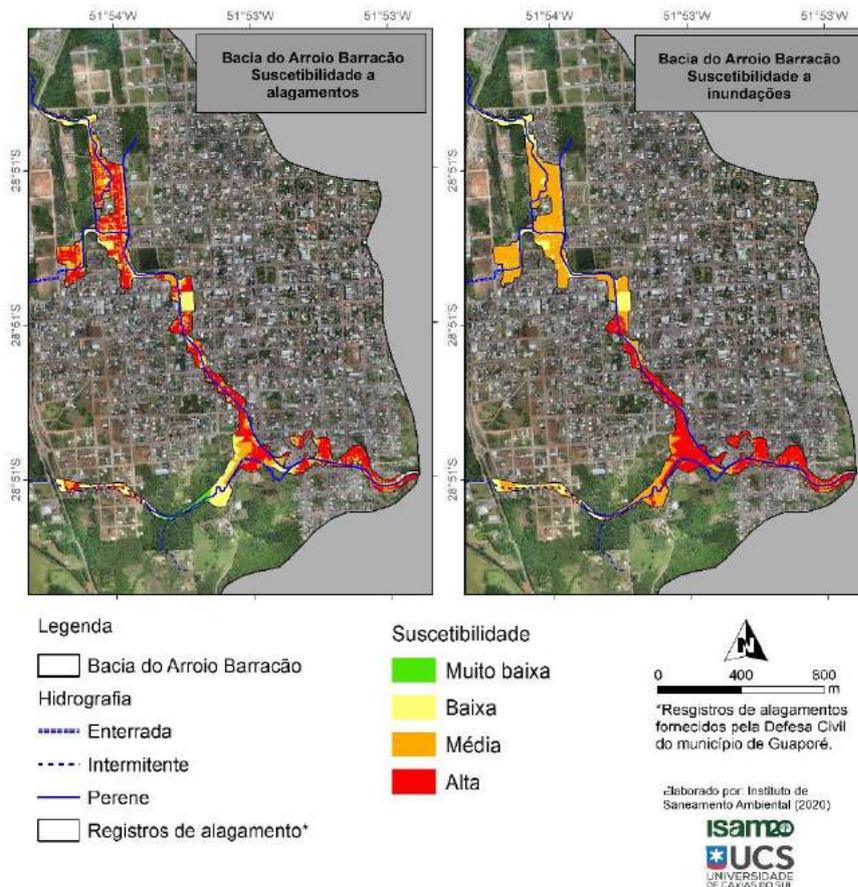
Fonte: ISAM (2020).

A metodologia AHP d indícios das áreas mais suscetíveis a inundações e alagamentos de forma qualitativa, porém uma análise mais específica traz resultados quantitativos para basear as tomadas de decisão estruturais.

Ao cruzar os resultados da análise hierárquica de processo com a mancha de alagamento fornecida pela Defesa Civil (Figura 44) percebe-se no mapa de suscetibilidade a alagamentos, menor suscetibilidade a alagamentos nas áreas de vegetação nativa, especialmente no trecho central do Arroio Curtume. Porém na área urbana, onde há edificações, a suscetibilidade assume a classificação alta. De acordo com a Figura 44 e a Tabela 17 as classes de suscetibilidade média e alta, somam 68,67% (30,48 ha).

O resultado do cruzamento da suscetibilidade a inundações e os registros de alagamento gerou apenas as classes baixa, média e alta, com destaque para a classe de suscetibilidade média ocupando 51,46% (22,84 ha). Especialmente na porção norte da mancha de registro de alagamentos, verifica-se a classe de suscetibilidade alta nas edificações e classe média, em trechos de vegetação.

Figura 44. Análise hierárquica de processo nas áreas de registro de alagamentos



Fonte: ISAM (2020).

Tabela 17. Dados quantitativos da AHP nas áreas de registro de alagamento

Susceptibilidade	Alagamento		Inundação	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Muito baixa	1,19	2,69	0,00	0,00
Baixa	12,71	28,64	7,84	17,67
Média	12,23	27,56	22,84	51,46
Alta	18,25	41,11	13,70	30,87
Total	44,38	100,00	44,38	100,00

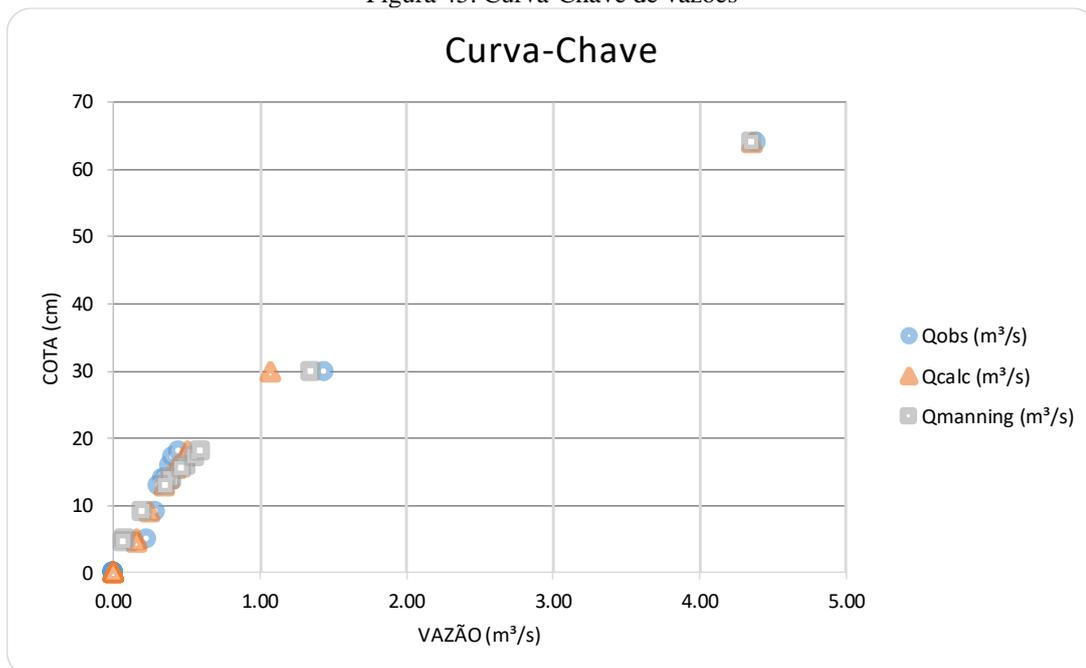
Fonte: ISAM (2020).

2.3.11 Modelagem hidrológica

2.3.11.1 Curva-chave

A curva-chave obtida a partir de medições de vazão e nível é apresentada na Figura 45.

Figura 45. Curva-Chave de vazões



Fonte: ISAM (2020).

A equação que apresentou o melhor ajuste entre os dados observados e calculados, com R² de 0,99 é apresentada a seguir $Q = 0.0000316 \cdot (h + 19,14)^{2,677}$

(Equação 8):

$$Q = 0.0000316 \cdot (h + 19,14)^{2,677} \quad \text{(Equação 8)}$$

Sendo,

$Q = \text{Vazão (m}^3/\text{s)}$;

$h = \text{nível observado (cm)}$.

É necessário que sejam realizadas medições contínuas ao longo dos anos para se obter uma melhor representatividade da curva, uma vez que a mesma carece de um número maior de dados observados em cheias, que servirá para melhorar o ajuste de modelos hidrológicos para entendimento do comportamento da variação de nível e vazão na bacia com refinamento das informações e atualização dos cenários de inundação.

2.3.11.2 Simulação hidráulica-hidrológica

A calibração, realizada com um evento de chuva intensa na bacia, apresentou resultados considerados satisfatórios de acordo com Gottshalk e Mtovilov (2000, apud. Collischonn, 2001), Schaepli (2007), Chanasyk et al. (2003), com erro percentual de 0,46%, coeficiente Nash – Sutcliffe de 0,91 e erro de previsão RMSE de 0,3.

Após a calibração foram simulados eventos com diferentes períodos de retorno, cujos resultados são apresentados na Tabela 18.

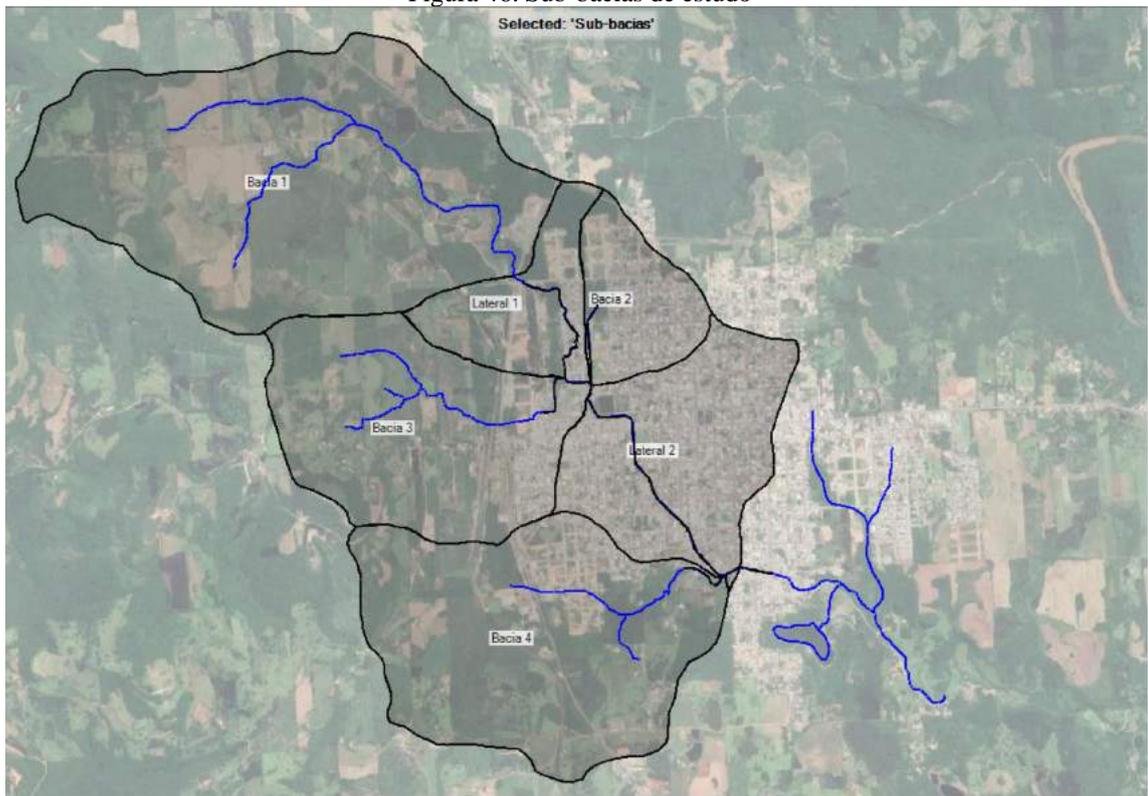
Tabela 18. Vazões de pico para cada bacia simuladas para diferentes períodos de retorno

	Bacia / Período de Retorno (Anos)	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	Área (km²)
Vazão de pico (m³/s)	Bacia 1	26,2	39,7	59,1	91,9	121,8	5,66
	Bacia 2	18,4	22,5	26,2	31,9	36,9	0,85
	Bacia 3	16,2	22,5	28,8	39,5	49,1	2,78
	Bacia 4	30,6	39,2	48	62,8	76,2	3,68
	Lateral 1	15,5	19,7	23,6	29,9	35,5	0,97
	Lateral 2	59,6	70,9	80,9	96,2	109,3	2,06
P (60 min) - mm		46,5	54,5	61,4	71,8	80,9	

Fonte: ISAM (2020).

É possível observar que as bacias mais urbanizadas são as principais responsáveis pelo incremento de vazão que chega ao canal, com vazões de pico mais acentuadas devido à impermeabilização, mesmo possuindo áreas menores, tais como ocorre com as bacias Lateral 1, Lateral 2, Bacia 2 e Bacia 4, como mostra a Figura 46.

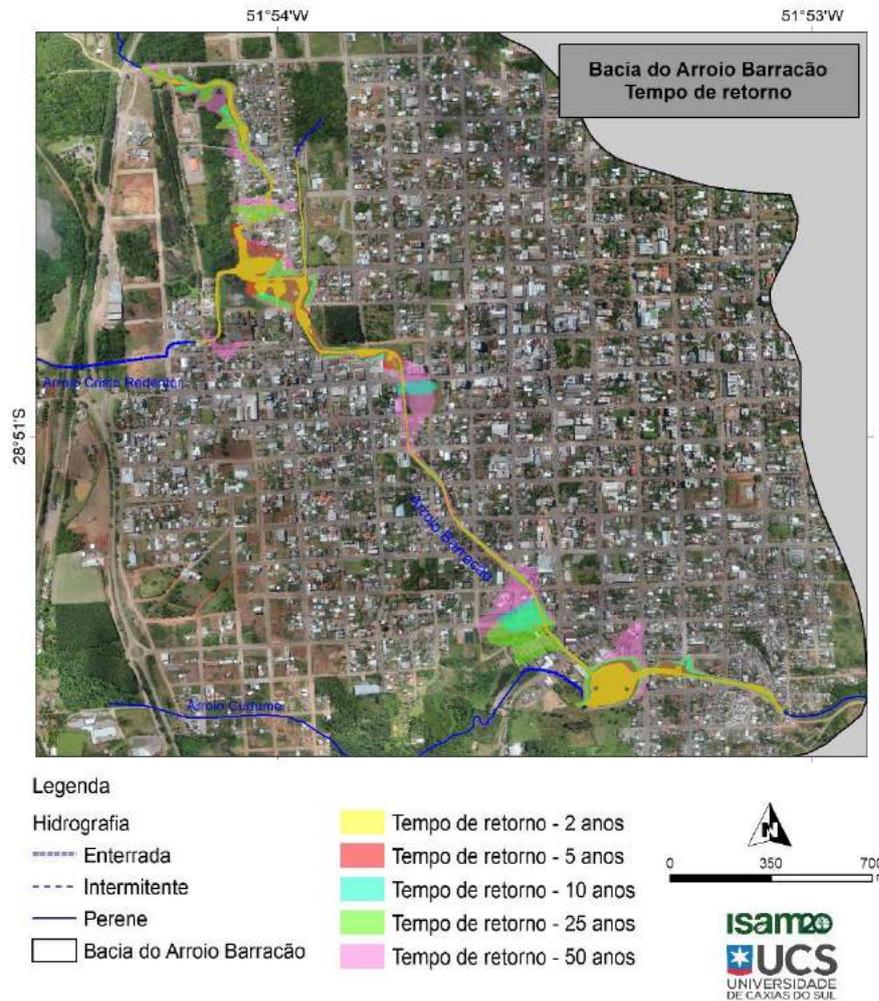
Figura 46. Sub-bacias de estudo



Fonte: ISAM (2020).

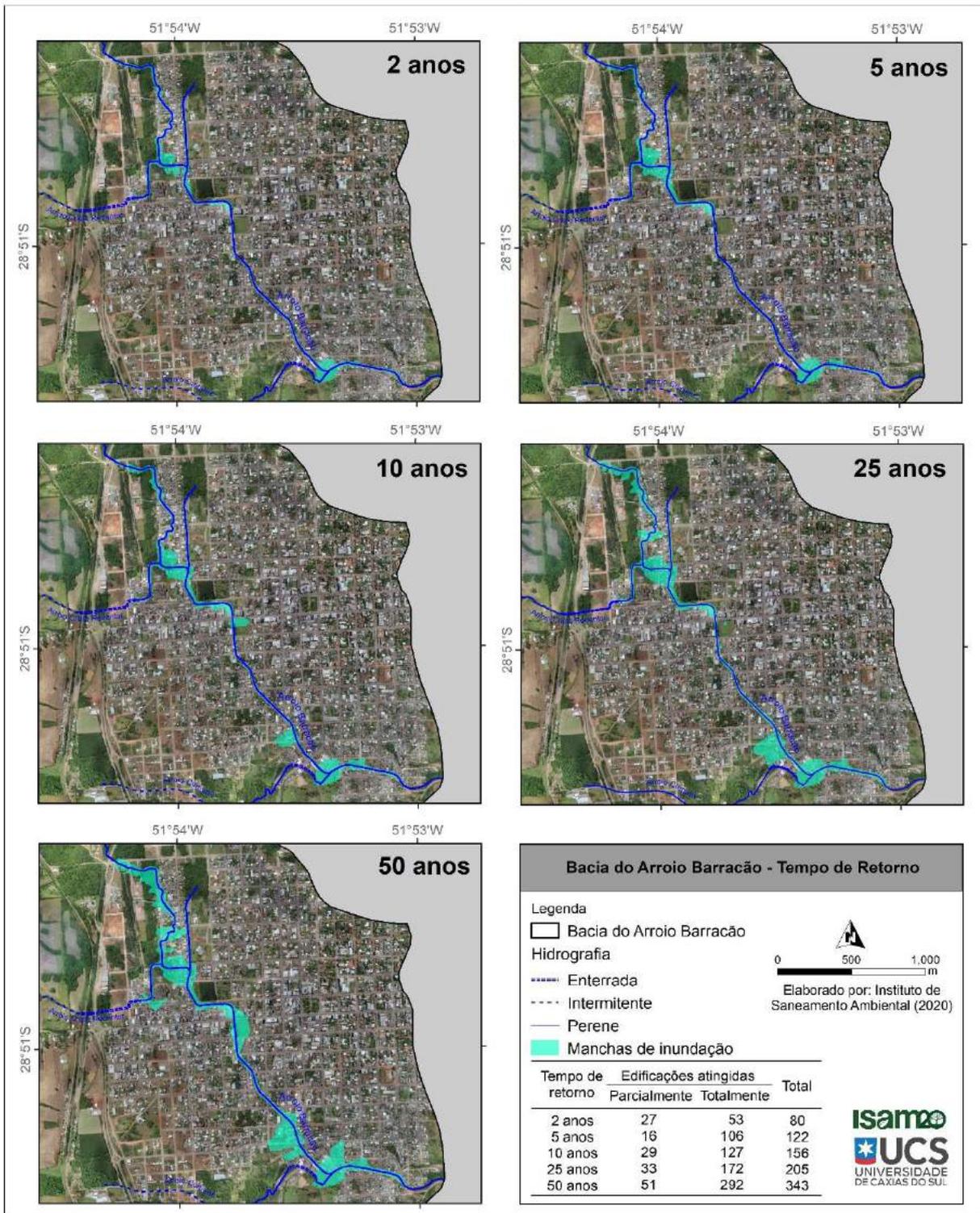
O resultado da etapa de simulação hidráulica é apresentado na Figura 47 e na Figura 48, as quais mostram a mancha de inundação para os diferentes períodos de retorno simulados.

Figura 47. Resultado das manchas de inundação para diferentes períodos de retorno



Fonte: ISAM (2020).

Figura 48. Resultado das manchas de inundação para diferentes períodos de retorno



Fonte: ISAM (2020).

É possível constatar que no cenário menos crítico (TR = 2 anos), cerca de 27 edificações são afetadas parcialmente e 53 totalmente, especialmente àquelas que estão localizadas na área de preservação permanente e muito próximas ao curso de água, sendo os locais mais afetados

na confluência entre os cursos de água contribuintes ao Arroio Barracão. Já no cenário mais crítico (TR 50 anos) são afetadas direta e indiretamente cerca de 343 edificações. Alguns pontos mais afetados, ou seja, mesmo no cenário de episódios mais recorrentes são identificados nas fotografias do Apêndice 3.

A Tabela 19 contém os dados por bairros, sendo que o bairro com mais edificações atingidas é o Bairro Planalto, onde foram contabilizadas 212 para o cenário mais crítico. Também foram identificados problemas no bairro Canecão, Centro, Nossa Senhora da Saúde e Santo André.

Tabela 19. Número de edificações afetadas por bairros nos diferentes períodos de retorno simulados

Bairros	Número de edificações atingidas				
	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50
Bairro Planalto	66	99	110	150	212
Bairro Canecão	0	0	1	1	15
Bairro Centro	2	2	2	3	11
Bairro Nossa Senhora da Saúde	4	5	20	22	77
Bairro Santo André	8	14	22	23	23

Fonte: ISAM (2020).

Em termos de área atingida, pelos dados apresentados na Tabela 20, no cenário de TR 2 anos apenas 6,21 ha são afetados, aumentando progressivamente em cada cenário, sendo que para TR 50 anos a área de abrangência é um pouco maior que 23 ha.

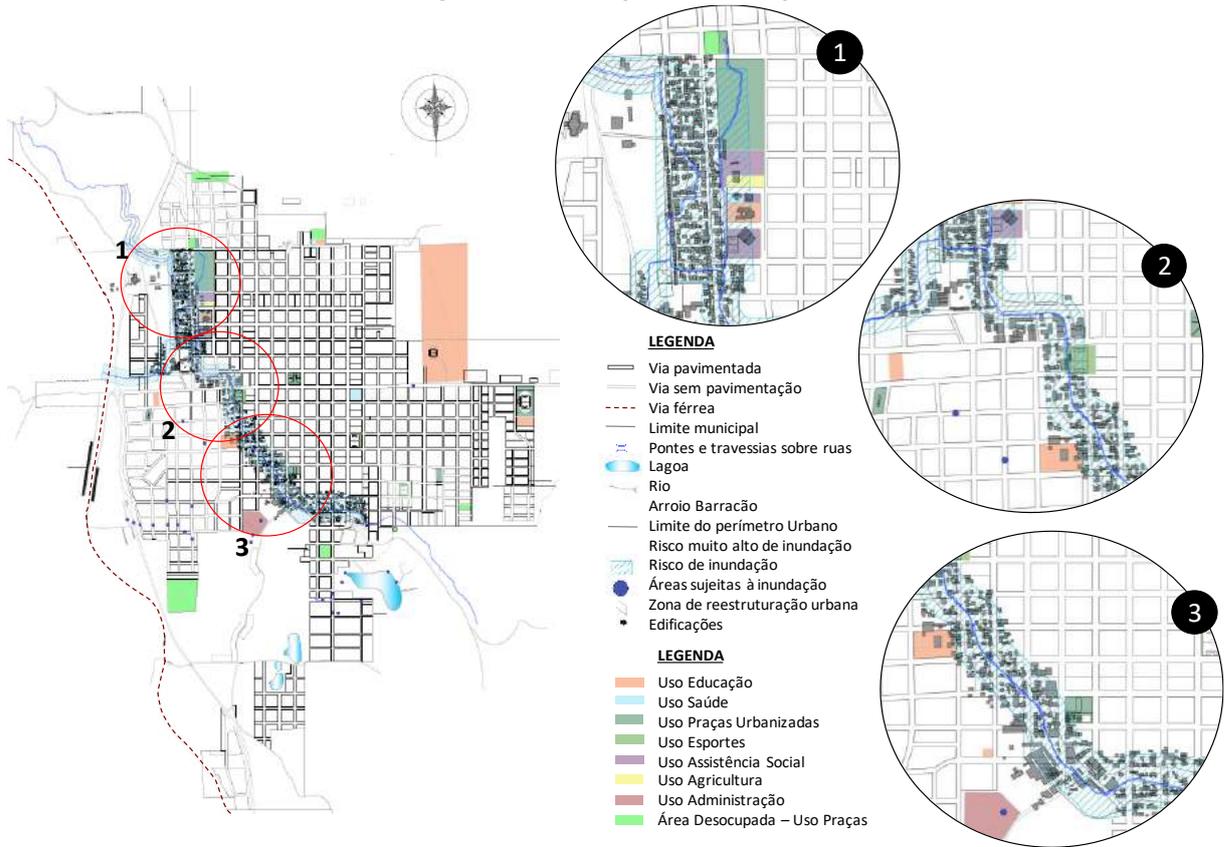
Tabela 20. Área atingida pela água nos períodos de retorno simulados

Tempo de retorno	Área (ha)
TR2	6,21
TR5	8,99
TR10	11,36
TR25	15,41
TR50	23,35

Fonte: ISAM (2020).

Os episódios de inundação também afetam algumas áreas como quadra de esportes, assistência social e praças como mostra a Figura 49.

Figura 49. Áreas sujeitas à inundação



Fonte: Autores com dados de Guaporé (2017).

O percentual de urbanização das bacias, principalmente Bacia 2 e Lateral 2 conforme mostra a Tabela 21 associado a eventos de chuva intensa favorecem o escoamento superficial em direção ao canal. Além disso, também ocorrem problemas nas confluências dos cursos de água das bacias do Arroio Cristo Redentor (bacia 3) e Arroio Curtume (bacia 4) que aumentam o volume a ser escoado ao encontrarem o canal no Arroio Barracão, fazendo com que o nível de água extrapole a calha que possui alturas médias inferiores a 4 metros, com exceção dos casos em que residências ampliaram a altura da borda com construção de muro de contenção, ou na porção central, em que as ruas estão elevadas a mais de 5 metros do curso de água.

Tabela 21. Classes de uso do solo em cada sub-bacia contribuinte ao canal

Classe	Bacia 1		Bacia 2		Bacia 3		Bacia 4		Lateral 1		Lateral 2	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Agricultura	58,51	10,35	0,00	0,00	14,38	5,18	24,25	6,59	0,62	0,64	0,00	0,00
Edificações	5,51	0,97	23,79	27,98	18,36	6,61	15,41	4,19	6,43	6,63	86,20	41,77
Estrada	4,67	0,82	15,26	17,94	9,98	3,59	13,00	3,53	6,27	6,46	42,73	20,71
Lâmina d'água	6,51	1,15	0,14	0,17	0,89	0,32	1,05	0,29	0,11	0,11	0,04	0,02
Mata exótica	3,75	0,66	0,00	0,00	0,86	0,31	0,24	0,07	0,27	0,27	0,02	0,01
Mata nativa	196,43	34,73	18,56	21,83	79,96	28,80	132,43	35,97	42,70	44,03	31,77	15,39
Solo exposto	219,77	38,86	14,10	16,58	93,62	33,72	97,93	26,60	28,66	29,55	35,66	17,28
Vegetação rasteira	70,44	12,45	13,19	15,51	59,58	21,46	83,82	22,77	11,92	12,29	9,94	4,82
Total	565,59	100,00	85,05	100,00	277,63	100,00	368,12	100,00	96,99	100,00	206,36	100,00

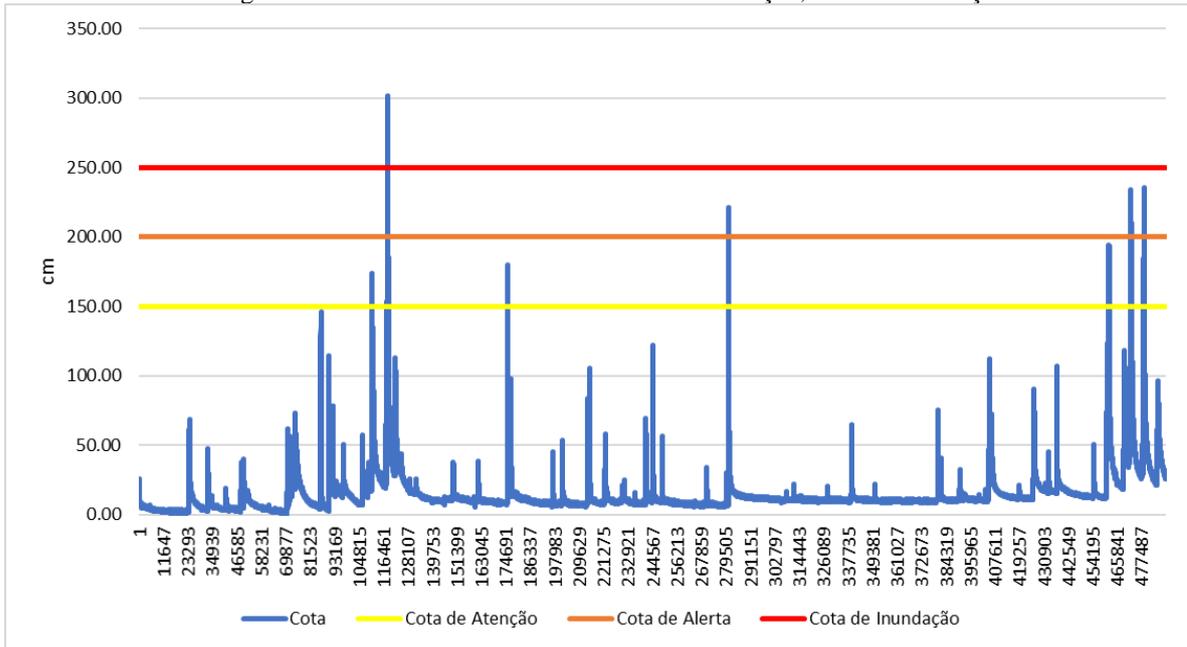
Fonte: ISAM (2020).

Destaca-se também que ao ser realizado o levantamento de campo em entrevista com moradores da região, os mesmos informaram que frequentemente há a presença de resíduos que são lançados no canal contribuindo para interferir o escoamento nas seções tubuladas e/ou canalizadas, reduzindo a capacidade de escoamento dos condutos. Tal situação se torna mais crítica principalmente nos cruzamentos das estradas com o canal onde foram construídas pontes com galerias ou tubos de escoamento do curso de água.

Estas galerias e tubulações de pontes, ainda que não tenham resíduos depositados, acabam por contribuir com o aumento da velocidade do escoamento em episódios de cheia e em alguns momentos fazendo o escoamento ocorrer com aumento de pressão e quando a seção não suporta a vazão máxima que foi projetada acaba escoando por cima do arruamento. Os cruzamentos (galerias de drenagens associadas as pontes) levantados são apresentados no Apêndice 4, sendo necessária uma avaliação mais detalhada do projeto para episódios de chuva com período de retorno maior, especialmente das estruturas numeradas como 03, 09, 11, 19, 20, 21 e 23.

Considerando que o curso de água possui pequena profundidade e a capacidade de vazão de escoamento é limitada nos trechos com menores profundidades o risco é maior em termos de inundação. De acordo com os dados de cota foram estabelecidas faixas de atenção, alerta e inundação como mostra a Figura 50. Salienta-se, porém, que estas cotas foram definidas com base nos pontos mais críticos, porém em seções transversais que o canal possui maior profundidade não serão afetadas quando a cota estiver em grau de alerta ou inundação.

Figura 50. Nível do arroio barracão e cotas de atenção, alerta e inundação

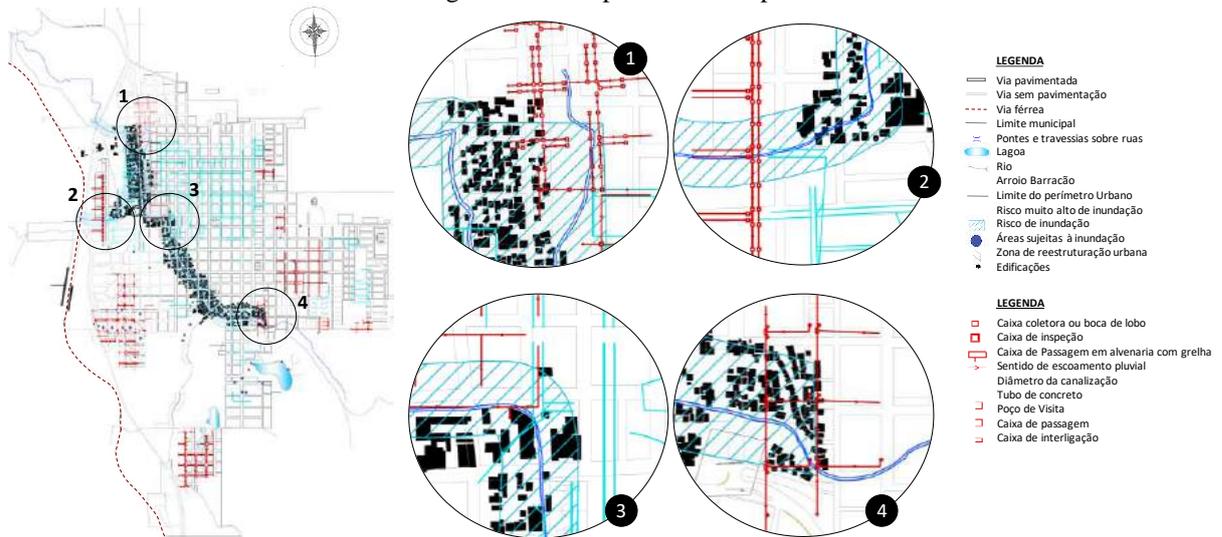


Fonte: ISAM (2020).

2.3.11.3 Levantamento da rede pluvial

Conforme o Plano de Saneamento Ambiental de Guaporé, a rede pluvial é apresentada na Figura 51.

Figura 51. Rede pluvial de Guaporé



Fonte: Autores com dados de Guaporé (2017).

A rede de drenagem aparece com algumas informações em nível de detalhamento diferente em cada local, porém não possuem o dado da cota fundo que permitem realizar simulações em detalhe do escoamento em cada tubulação, sendo necessário este levantamento.

Nos bairros Conceição e parte do Centro a informação disponibilizada indica a posição dos dutos, bem como seu diâmetro. Nos bairros Canecão e Planalto essas informações são parciais, com áreas mais afastadas do arroio Barracão com poucas informações. No bairro São José, a rede de drenagem contém informações de posição dos dutos, bem como seu diâmetro.

O levantamento da drenagem é parcial nos bairros Centro e São Cristóvão, sem muitas informações entre as ruas Alberto Pasqualini e Aurora. A rede de drenagem apresenta dados em parte do bairro Nossa Senhora da Saúde com indicação de posição e diâmetro da rede, todavia mais próximo ao arroio, essa informação é inexistente. Dados parciais estão disponíveis para os bairros Pinheirinho, Nossa Senhora da Paz e Santo André, com poucos locais que indicam posição e diâmetro das redes.

A partir do dado de cota topo e cota fundo dos poços de visita da rede de drenagem em conjunto com sua localização é possível avaliar a declividade da rede, bem como possíveis pontos de escoamento livre e forçado contribuindo para a avaliação de pontos de alagamento, sendo este, porém, um trabalho de campo que deve ser feito em um prazo de tempo alargado.

2.3.11.4 Definição de práticas e procedimentos para minimização de riscos de inundação

Para contribuir com a minimização dos problemas de inundação são propostas medidas estruturais e não-estruturais, avaliando os impactos destes cenários na redução de inundações, complementando com medidas de contingência e emergência. Destaca-se que para as medidas estruturais são necessárias avaliações específicas em projeto básico para averiguar dimensões da estrutura, orçamentos e impacto específico da mesma sobre a minimização dos efeitos de inundação. Desta forma, este capítulo visa contribuir para as possíveis práticas que são empregadas comumente na literatura, e que deverão ser melhor estudadas individualmente para a análise do real impacto sobre a redução de vazão antes de serem aplicadas.

Sendo assim, são apontadas possíveis intervenções na área da bacia mostradas na Figura 52, as quais são:

- implantação de poços e trincheiras de infiltração na área urbana e bacias de retenção nas áreas a montante da área urbana;

- melhorias nas práticas agrícolas visando a minimização da perda de solos por erosão laminar;
- instalação de pequenas barragens nas áreas rurais;
- definição de áreas para recomposição de mata ciliar (APPs) e recuperação de nascentes;
- definição de práticas e políticas para melhorar a infiltração da água no solo, com incentivo de revegetação;
- políticas de incentivo para infiltração para captação da água da chuva e infiltração em lotes;
- substituição de redes de drenagem deficitários;
- pontos de melhoria de escoamento com adequação de pontes e galerias, aumento das paredes laterais do canal em diques e desassoreamento do canal;
- programa de remoção e realocação de famílias das APPs;
- desenvolvimento de políticas públicas de controle de ocupação em áreas de risco à inundação, coibindo novas ocupações nestas áreas;
- sinalização dos locais com risco de inundação;
- preservação de áreas verdes que servem como área de amortecimento de onda de cheia;
- atualização e/ou elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana.

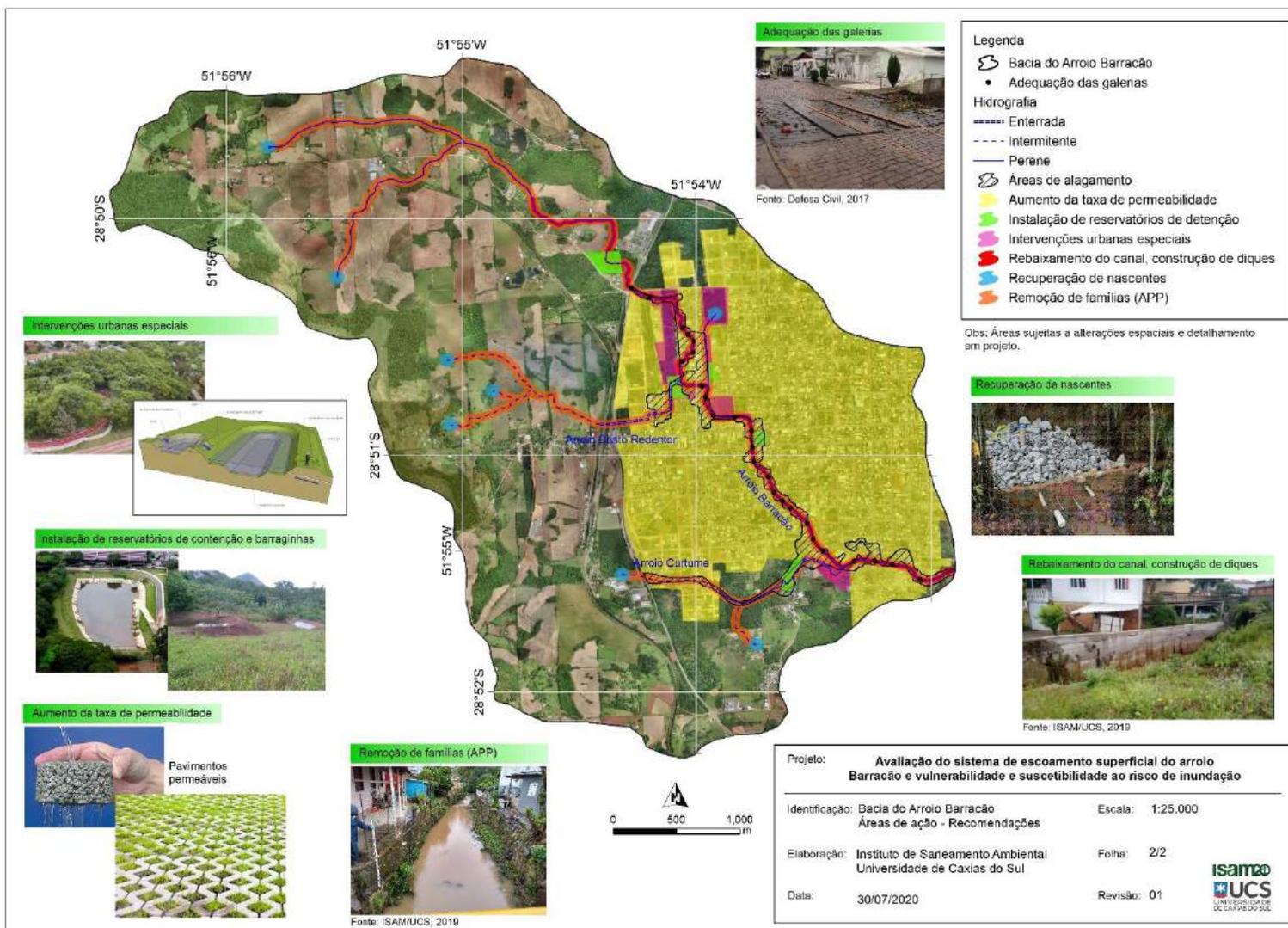
Tendo em vista o tamanho da bacia hidrográfica e que ambos os arroios afetam diretamente praticamente toda a mancha urbana, tanto o Arroio Barracão, quanto o Arroio Cristo Redentor são candidatos à implantação de bacias de retenção de cheias, aspecto ilustrado no “Mapa de Áreas de Ações - Recomendações”. Essas estruturas estão previstas no Art. 56, Inciso VIII do Plano Diretor.

Tendo em vista a mancha de inundação indicada no “Mapa de Áreas com Registros de Alagamentos”, o Plano Diretor do município, em seu Art. 17, já prevê a aplicação do direito de preempção e transformadas em parque linear, estando isso ilustrado no “Mapa de Áreas de Ações - Recomendações”.

Conforme informado anteriormente, a área urbana aumentou 41% nos últimos 30 anos, de 350 ha para 493 ha. Em contrapartida, as áreas de vegetação nativa reduziram 37% no mesmo período. Isso resulta em uma menor infiltração de água no solo, além desta chegar mais rapidamente ao rio. O somatório dos dois fenômenos é uma das principais causas do aumento do número de alagamentos, sendo por isso necessário trabalhar em formas de aumentar a permeabilidade do solo no município, como: recuperação de vegetações, implantação de

parques verdes, uso de asfaltos e concretos permeáveis, implantação de poços de infiltração em loteamentos, dentre outros. Esta questão está prevista no Art. 56, Incisos II e III do Plano Diretor.

Figura 52. Mapa de Áreas de Ações – Recomendações



Fonte: ISAM (2020).

Para algumas proposições foram analisados cenários quanto à minimização da vazão de escoamento na bacia de estudo, afim de verificar a aplicabilidade das propostas contribuindo para mostrar a sua efetividade na redução dos efeitos de chuvas intensas.

- a) Redução do percentual impermeabilizado nas sub-bacias que estão mais urbanizadas através da efetivação de áreas permeáveis e políticas de incentivo de infiltração em lotes, aumentando o tempo de escoamento.

Para este cenário foi avaliada a redução da impermeabilização considerando as sub-bacias 2, 4, Lateral 1 e Lateral 2, que estão intensamente urbanizadas, mantendo-se as mesmas características para as sub-bacias 1 e 3 que possuem uso do solo menos urbanizado. Foram calculadas as vazões de pico com redução percentual de 5, 10 e 35 % em relação ao percentual impermeável para os períodos de retorno de 2 e 50 anos, cujos resultados são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22. Vazão de pico em diferentes cenários de impermeabilização

Vazão de pico (m ³ /s)		TR2	TR50	Área (km ²)	% impermeável
Atual	Bacia 2	18,4	36,9	0,85	63
	Bacia 4	30,6	76,2	3,68	30
	Lateral 1	15,5	35,5	0,97	43
	Lateral 2	59,6	109,3	2,06	79
	Exutório	123,4	338,1	16	40
Redução do percentual de impermeabilização (em 5%)	Bacia 2	17,7	36,1	0,85	59
	Bacia 4	29,8	75,1	3,68	29
	Lateral 1	14,8	34,7	0,97	40
	Lateral 2	58,3	108,2	2,06	75
	Exutório	120,9	336,2	16	38
Redução do percentual de impermeabilização (em 10%)	Bacia 2	17,1	35,4	0,85	56
	Bacia 4	28,2	73	3,68	27
	Lateral 1	14,2	34	0,97	38
	Lateral 2	57,1	107	2,06	71
	Exutório	117,7	333,7	16	36
Redução do percentual de impermeabilização (em 35%)	Bacia 2	14,1	31,9	0,85	41
	Bacia 4	22,8	66	3,68	20
	Lateral 1	11,6	30,8	0,97	28
	Lateral 2	51,4	102,1	2,06	51
	Exutório	105,9	324,3	16	27
Pré-Urbanização	Bacia 2	6,4	23,1	0,85	0
	Bacia 4	11,4	48,7	3,68	0
	Lateral 1	5,3	22,3	0,97	0
	Lateral 2	41,7	94,6	2,06	0
	Exutório	86,6	283	16	4

Fonte: ISAM (2020).

Salienta-se que tal alternativa se torna importante para redução de escoamento, porém é necessário que sua aplicação ocorra em conjunto com outras proposições, uma vez que com aumento de taxas de permeabilidade de até 10% em cada bacia, não são suficientes para se evitar que o rio extravase sua calha, mesmo para períodos de retorno de 2 ou 50 anos. Dessa forma, é necessário garantir um aumento da permeabilidade das áreas urbanas a médio e longo prazo em taxas superiores a 30%. Comparando com cenários de pré-urbanização das sub-bacias simuladas, constata-se que houve um incremento de pouco mais de 40% e 20% nas vazões de pico do exutório em TR de 2 e 50 anos respectivamente, sendo que atualmente possui incrementos de vazão superiores a 150% nas sub-bacias em função do processo de impermeabilização existente nos cenários pós-urbanização.

b) Implantação de reservatórios de retenção nas sub-bacias.

De acordo com a Figura 53, foram propostos possíveis locais (que precisam de um estudo aprofundado) para a instalação de reservatórios de retenção que serviriam como estruturas de acumulação temporária das águas de chuva, contribuindo para a redução das inundações urbanas. Nestes locais, o reforço ou ampliação dos canais e galerias de drenagem existentes pode tornar-se muito oneroso ou inviável, o que deve também ser avaliado em uma análise a nível de microbacia e com a elaboração do projeto técnico. As estruturas propostas podem ser reservatórios *in-line* (em série ao rio) ou *off-line* (em paralelo ao rio) enterrados ou abertos, empregados como uma técnica compensatória de drenagem urbana.

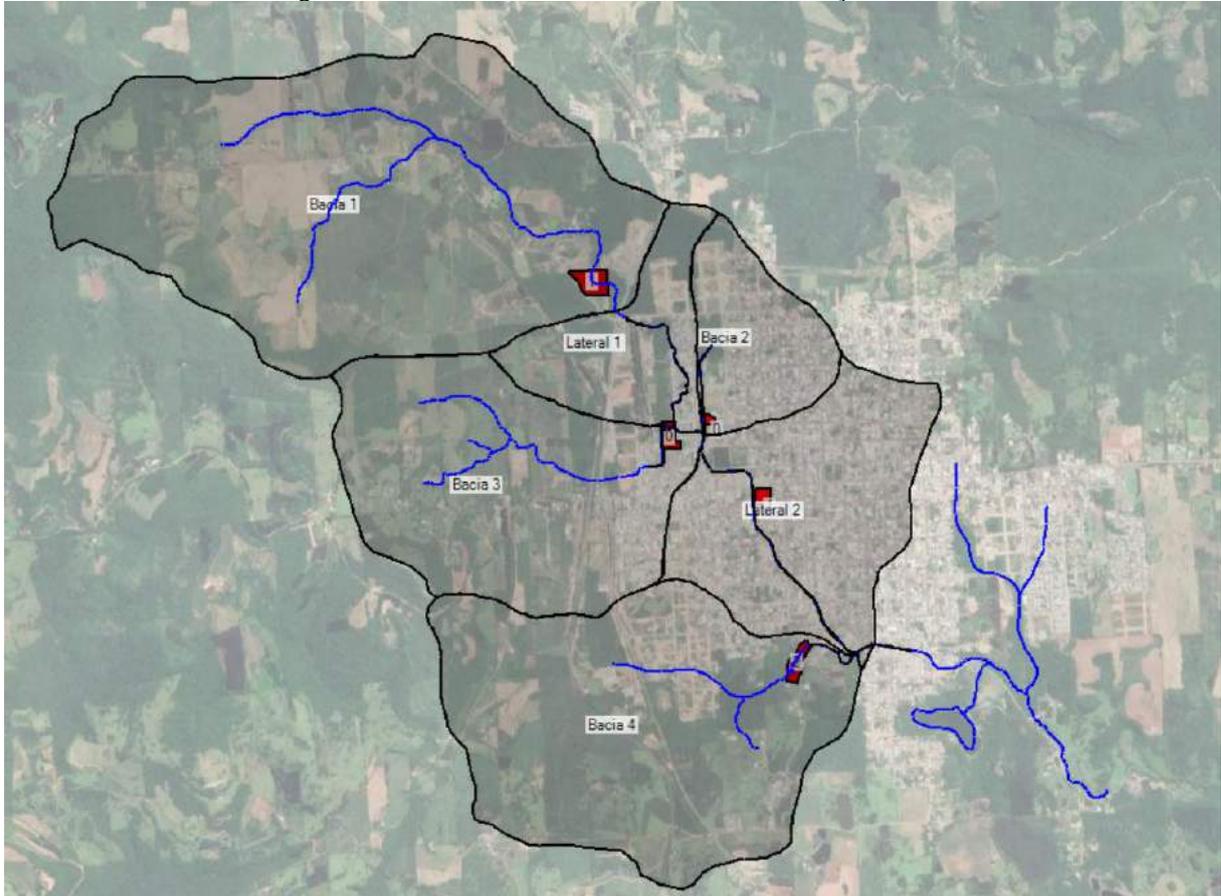
As áreas exibidas na Figura 52 estão descritas a seguir. Iniciando com a área a Nordeste da bacia indicada para a instalação de um reservatório de retenção, já na área rural, é caracterizada por vegetação rasteira entremeada a um corredor de mata nativa, parte da área possui aspecto de banhado, onde pode ser encontrado um açude de provável formação natural.

Há a indicação da criação de um reservatório de retenção nas margens do arroio que na sequência se une ao arroio Barracão, em uma área de vegetação rasteira. Na confluência dos arroios Barracão e Cristo Redentor, há a sugestão da construção do reservatório de retenção em uma área plana de vegetação rasteira que parece corresponder a um pátio em utilização.

O próprio Campo Juventude poderia com adaptações incluir a função de reservatório de retenção. Além desses, a área próxima a confluência entre o arroio

Barracão e o arroio Curtume, poderia abrigar um reservatório de detenção. A área indicada é caracterizada como banhado.

Figura 53. Possíveis locais de reservatórios de detenção



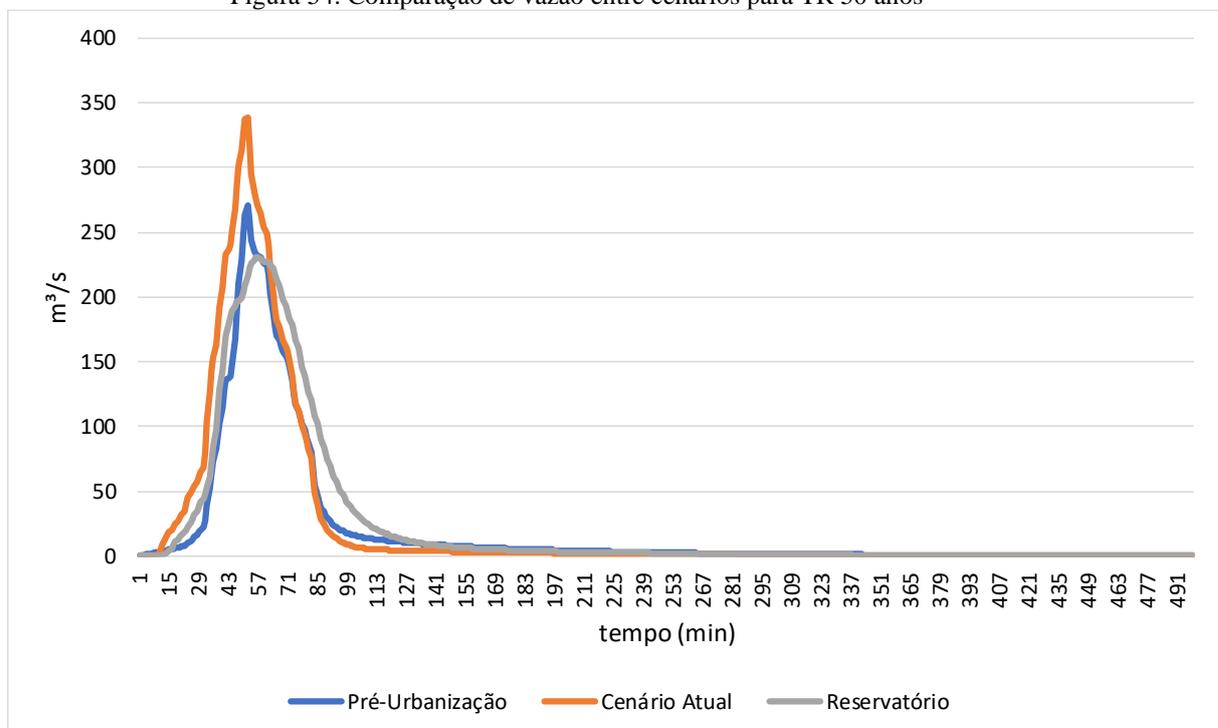
Fonte: ISAM (2020).

A simulação utilizou algumas possíveis áreas para implantação de reservatórios de 3 a 5 metros de altura que possibilitassem o acúmulo temporário do escoamento superficial das sub-bacias. Entretanto para que seja atendido à solicitação citada neste item (avaliação das áreas definidas para utilização de bacias de detenção), informando volumes, dimensões e estruturas auxiliares como a necessidade de comportas e vertedouros é necessário o ante-projeto das mesmas. É possível apenas indicar o volume com base na área disponível do terreno e o impacto individual no escoamento com a utilização destas estruturas, porém é importante que seja informado por parte do município quais das possíveis áreas levantadas estariam à disposição para instalação das mesmas, uma vez que as levantadas e apresentadas no relatório podem não estar livres para receberem tais estruturas.

Nesta simulação foi apenas considerado a instalação de um reservatório em cada sub-bacia apresentada na Figura 53. Tendo em vista que o impacto gerado por vazões de períodos de retornos maiores é maior, deu-se ênfase a reservatórios para essa condição (TR 50).

Como mostra os hidrogramas gerados para as 3 situações analisadas, nas quais o pico de vazão no cenário de pré-urbanização é de 270,6 m³/s, enquanto, para o cenário atual de urbanização, chega a 338,1 m³/s, em consequência, especialmente, do aumento da impermeabilização da sub-bacia. Como proposição, acrescentaram-se cinco reservatórios de detenção a montante do exutório em diferentes sub-bacias, a fim de reduzir o pico de vazão. Com isso, observou-se que a presença desses reservatórios pode favorecer a redução da vazão para 231,2 m³/s no exutório. Essa redução nas vazões pode ser considerada positiva, pois torna as chances de ocorrência de inundações ou do aumento do nível de água menores dentro da área de estudo, diminuindo possíveis prejuízos financeiros aos órgãos públicos e à população que reside no local. De acordo com a Figura 54, é possível observar que, com a inserção dos reservatórios para o cenário atual, o pico de vazão reduz com liberação da água em um intervalo de tempo maior.

Figura 54. Comparação de vazão entre cenários para TR 50 anos



Fonte: ISAM (2020).

O detalhamento dos Programas, Projetos e Ações propostos, bem como o cronograma de execução estão apresentados no Apêndice 5.

2.3.11.5 Práticas agrícolas para controle da erosão

As áreas de Chernossolos Argilúvicos e Neossolos Litólicos (Figura 28) que ocupam a área rural do município de Guaporé, são áreas de alta fertilidade, indicadas para a produção agrícola. O mesmo pode ser dito das áreas de Latossolos Vermelhos, com o diferencial da inclinação, pois os Latossolos Vermelhos tendem a ter baixa inclinação, facilitando a mecanização agrícola e a produção de grãos, como milho, soja e trigo, que representam as maiores porcentagens de áreas plantadas no município, respectivamente 1.800 ha, 4.200 ha e 350 ha, segundo a FEE (2018). As áreas onde a inclinação não atende aos critérios de mecanização, podem ser aproveitadas em outras culturas temporárias como mandioca e feijão e culturas permanentes como uva, laranja e erva mate, que em Guaporé ocupam respectivamente 250 ha, 135 ha e 170 ha (FEE, 2018). Em áreas onde os processos erosivos já são recorrentes e a declividade é acentuada, estas podem ser aproveitadas com pastos e reflorestamento.

Diante da realidade agrícola encontrada no município, citam-se possíveis práticas agrícolas sustentáveis a serem utilizadas, evitando desta forma os processos de degradação do solo que aumentem infiltração de água no solo e reduzam os processos de erosão, auxiliando desta forma na manutenção da qualidade do canal do recurso hídrico. Dentre as práticas agrícolas mais difundidas, citam-se:

- plantio direto, o qual configura como uma técnica de reconstituição de solos, de baixa mobilização de solo, semeando a cultura em sulcos abertos sobre o terreno ainda coberto com os restos da cultura anterior picada. Essa técnica pode ser utilizada em áreas de baixa declividade, pois em áreas mais declivosas deve ser associado o plantio em nível (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016);

- subsolagem, é uma técnica mecânica simples que consiste na quebra da camada superficial do solo, variando de 15 a 80 centímetros de profundidade, com o benefício de aumentar a infiltração de água do solo (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016);

- rotação de culturas possui efeitos benéficos com relação a redução da erosão, pelo fato de manter o solo coberto por mais tempo evitando tanto a erosão hídrica, quanto a erosão eólica (PEREIRA, 2005);

- cultura em faixas, intercalando culturas mais densas e menos densas. Essas podem ser rotações de culturas em faixas, como exemplo de milho e mandioca, ou feijão, culturas também presentes no município. Ou simplesmente a configuração de faixas estreitas de vegetação densa, de 2 a 3 metros de largura espaçadas 20 a 30 metros (PEREIRA, 2005). Essa técnica permite ao mesmo tempo cultivo de culturas de eficazes para o controle da erosão e cultivos de baixa proteção. Assim há a diminuição do poder desagregador e do transporte de partículas de solo. Devem ser intercaladas plantas de ciclo longo e grande densidade de raízes, sem possuir comportamento invasor, ou potencial de hospedar pragas e doenças que possam prejudicar as culturas vizinhas (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016).

Em caso de erosão provocada por ventos, o plantio de árvores e arbustos perpendiculares a direção dos ventos predominantes, forma uma proteção contra o carregamento do solo pelos ventos. Idealmente nas fileiras centrais, encontram-se as árvores mais altas e nas fileiras laterais concentram-se os arbustos e árvores pequenas. Recomendam-se árvores e arbustos de crescimento rápido (PEREIRA, 2005). Essa técnica é especificada por Verdum, Vieira e Caneppele (2016) como uma técnica vegetativa, como proteção não apenas contra o arraste de solo utilizado na agricultura e recuperação de solos, mas também como proteção para os recursos hídricos. Essas técnicas tem sua efetividade apoiada na cobertura do solo com matéria orgânica, auxiliando na recuperação dos solos fragilizados e no aumento da infiltração da água no solo, ao invés da formação de enxurrada (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016).

- consórcio de culturas, é uma prática interessante por associar linhas de plantio temporário entre linhas de culturas permanentes. As culturas a serem adotadas devem ser estudadas para que não haja competição entre as culturas e esgotamento do solo (PEREIRA, 2005, VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016);

- plantio em nível, considerado uma barreira física, é uma prática conservacionista com o intuito de segurar o solo para evitar a sua perda. São estabelecidas linhas de plantio no sentido transversal ao declive do terreno, que não modifica a topografia e bloqueia o escoamento livre da água (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016);

- terraceamento, é similar ao plantio em nível e consiste na criação de canais para conduzir o fluxo superficial, que são distribuídos de acordo com as características da chuva, como quantidade, duração e intensidade, comprimento da rampa, rugosidade

do terreno, profundidade e permeabilidade do solo, e práticas de manejo agrícola, como plantio convencional, cultivo mínimo, plantio direto. Para Latossolos, presentes na área de estudo, é recomendado o terraço de base larga, tipo Manghum, aconselhados para áreas de baixa declividade (MACHADO; WADT, 2016);

- paliçadas, em áreas de solos já erodidos, podem ser adotadas paliçadas, faixas e barreiras para impedir o aprofundamento dos sulcos, estabilizando o perfil longitudinal do solo e, simultaneamente, contribuindo para a retenção de sedimentos, iniciando o processo de deposição do solo, preenchimento da feição erosiva. As barreiras físicas podem ser também cordões de pedra, formados pela sobreposição de material em curvas de nível, na forma de taipas de 0,5 a 1 metro de largura, funcionando principalmente como difusor de escoamentos superficiais e como área de deposição dos sedimentos carreados pela enxurrada (VERDUM; VIEIRA; CANEPPELE, 2016).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Este estudo apresentou um diagnóstico do meio físico da Bacia do Arroio Barracão, sendo realizadas análises de áreas de inundação e alagamento para eventos de chuva intensa de diferentes períodos de retorno. A atual configuração do canal e das características da bacia demonstram que a mesma está sujeita a eventos de inundação que atingem diversas edificações mesmo em períodos de retorno pequenos (2 anos) que possuem elevada probabilidade de ocorrência. Também foram propostas alternativas estruturais e não-estruturais para minimização dos efeitos das inundações e alagamentos, para aplicação a curto, médio e longo prazo.

Entretanto, em relação às alternativas estruturais, há a necessidade de complementação de estudos a fim de indicar a viabilidade econômica, ambiental e efeito na redução de vazão do recurso hídrico, bem como proteção das edificações e pessoas. Estas complementações visam subsidiar a tomada de decisão a partir de uma análise mais localizada e específica das estruturas. Para complementação das proposições que são apresentadas no Apêndice 5 podem ser elencados:

- refinamento da curva-chave através de novas campanhas de amostragem de vazão e cota, principalmente em períodos de cheia;
- análise da rede de drenagem contribuinte ao canal para detalhamento da contribuição lateral;
- investigação setorizada por sub-bacias (quadras de bairros) para adequação do sistema de drenagem local e proposição de infiltração em lotes;
- projeto de reconfiguração do canal ao longo de todo o seu perfil longitudinal.

Poços e bacias de infiltração fazem parte de técnicas compensatórias de drenagem urbana que geralmente são aplicadas em lotes ou em áreas públicas. A localização, quantidade e dimensões dependem de ante-projeto destas estruturas, devendo ser consideradas quais as áreas que o município possui para a instalação das mesmas (se terreno de uso público) e incentivo para os moradores instalarem suas próprias bacias de infiltração no lote, a fim de evitar que a água da chuva seja direcionada diretamente ao sistema de drenagem. Portanto, como passa por uma avaliação de solução individual, não é possível localizar e dimensionar tais estruturas, reiterando que o dimensionamento não faz parte do escopo do projeto.

4 REFERÊNCIAS

ARUEIRA, A. B. **Aplicação do método AHP para avaliação de transportadores**. 2014. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.

BAPTISTA, G. M. de M. **Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal, por meio do geoprocessamento**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 1997. Disponível em: http://ptarh.unb.br/?post_type=dissertacoes&p=1033. Acesso em: 02 dez. 2019.

BEHLING, H.; PILLAR, V. P. Late quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 362, p. 243-251, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8ª ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355p.

CHANASYK, D.S., MAPFUMO, E., WILLMS, W., 2003. Quantification and simulation of surface runoff from fescue grassland watersheds. **Agric. Water Manage.** 59, 137–153.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. 8. ed. Porto Alegre: Iph Ufrgs, 2011.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.

CHOW, V. T. Open-channel hydraulics. McGraw-Hill civil engineering series, 1959.

COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSO MINERAIS - CPRM. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Ministério de Minas e Energia. Serviço Geológico do Brasil. Escala 1:750.000. 2006.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Chave do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_6_2212200611537.html. Acesso em: 02 dez. 2019.

FEE – FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. **FEE Dados – Guaporé**. 2018. Disponível em: <http://feedados.fee.tche.br/feedados/#!pesquisa=0>. Acesso em: 09 set. 2020.

GARCIA, A. M. **Sítio arqueológico do Pororó: um cerrito na mesoregião centro ocidental riograndense (Pinhal Grande)**. 2012. Dissertação (Mestrado Profissional em Patrimônio Cultural) – Centro de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/11008>. Acesso em: 29 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. IBGE - cidades. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 28 nov. 2019.

JOLY, C. A.; AIDAR, M. P. M.; KLINK, C. A., MCGRATH; D. G., MOREIRA; A. G., MOUTINHO; P., NEPSTAD, D. C.; OLIVEIRA, A. A.; POTT, A.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. Evolution of the Brazilian phytogeography classification systems: implications for biodiversity conservation. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 51, n.5/6, p. 331-348, 1999. Disponível em: <cienciaecultura.bvs.br>. Acesso em: 14 nov. 2017.

MACHADO, P. L. O. A.; WADT, P. G. S. **Terraceamento**. Acre: Embrapa Acre, 2016. 9 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID01.pdf>. Acesso em: 09 set. 2020.

MENDONÇA, H. F. P. de; PATERLINI, E. M.; OLIVEIRA, F. S. de; BARBOSA, R. P.; SANTOS, A. R. dos. Estimativa de perda de solo por erosão laminar para o Município de Iconha, estado do Espírito Santo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 1027 – 1038, 2014. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/estimativa%20da%20perda%20de%20solo.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

MENEGASSO, J. D. **Mapeamento do risco de inundação na bacia hidrográfica do rio Belo, Orleans, SC**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) -Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2019.

MORIMOTO, R. M.; OLIVEIRA, F. H. de. Analysis of the constructed space for infant education network by AHP and GIS methods: a case study in Camboriú (Brazil). **Arquitetura revista**, v. 15, n. 1, p. 15, 2019.

NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P. de A.; SALES, M. M. Erosividade e erodibilidade ao longo de dutovia cortando os estados de Minas Gerais e Goiás – Brasil. **Ateliê Geográfico**, v. 12, n. 1, p. 97-117, 2018. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/atelie/article/view/46152>. Acesso em: 02 dez. 2019.

PEREIRA, R. G. A produção agrícola e o processo erosivo nas encostas da Serra de Parintins na comunidade de São Paulo. *In*: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10, 2005, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005, p. 11577-11596.

PESSÔA, V. M. M.; CECAGNO, C. F.; CAMARGO, D. M. de; JÚNIOR, A. A. C.; MARQUES, M. C. Análise da suscetibilidade à inundação potencial e emergente no região norte-noroeste do município de Campinas - SP. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos. **Anais [...]**, Santos, 2019.

PROJETO RADAMBRASIL. 1986. Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 796p.

RAFFO, J. G. G. O processo analítico hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico. **Revista do Departamento de Geografia**, Volume Especial 30 Anos, p. 26-37. 2012.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V. Mapeamento de riscos a inundação na área urbana de Paracatu–MG. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 4884-4896, 2017.

RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., MARTENSEN, A. C., PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, n. 142, p. 1141-1153, 2009.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

SAATY. T. L. Decision making with dependence and feedback: the analytic network process. RWS Publications. Pittsburgh (EUA). 1996.

USACE, US ARMY CORP OF ENGINEERS. HEC-RAS River Analysis System User's Manual Version 5.0. Davis: Institute For Water Resources Hydrologic Engineering Center (HEC), 2016. 962 p.

USACE, US ARMY CORP OF ENGINEERS. HEC-HMS Users Manual. Davis: Institute For Water Resources Hydrologic Engineering Center (HEC), 2020. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/4.5>

VERDUM, R.; VIEIRA, C. L.; CANEPPELE, J. C. G. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. 1. ed. Porto Alegre, RS: IGEO/UFRGS, 2016. 51 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountain. **Agriculture Handbook**, n. 28, 1965. Disponível em: <https://naldc-legacy.nal.usda.gov/naldc/download.xhtml?id=CAT87208342&content=PDF>. Acesso em: 26 out. 2019.

ANEXOS

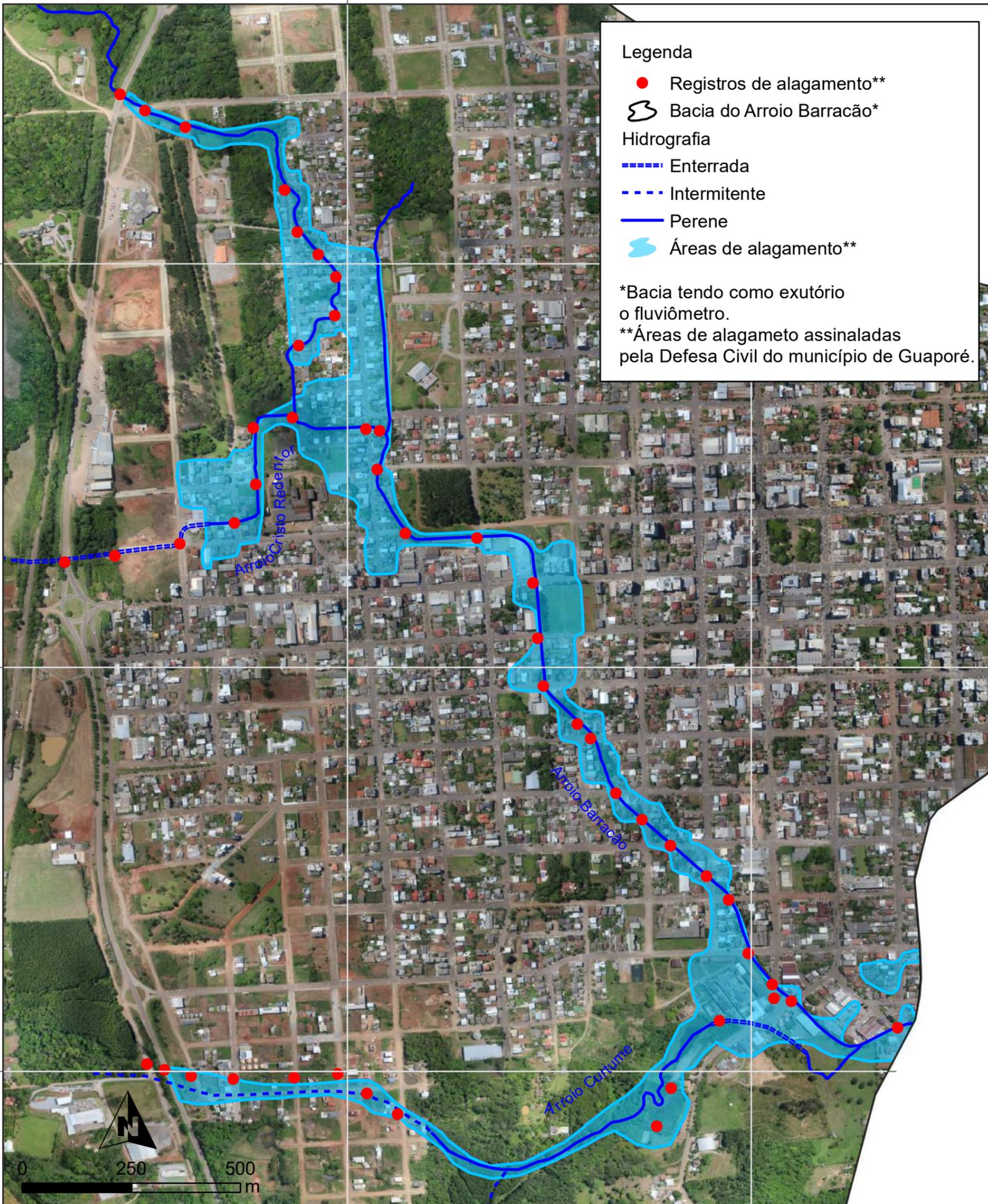
Anexo 1 – Material elaborado para subsidiar o gestor público municipal durante as reuniões em Brasília/DF em 2020.

51°54'W

28°51'S

28°51'S

28°51'S



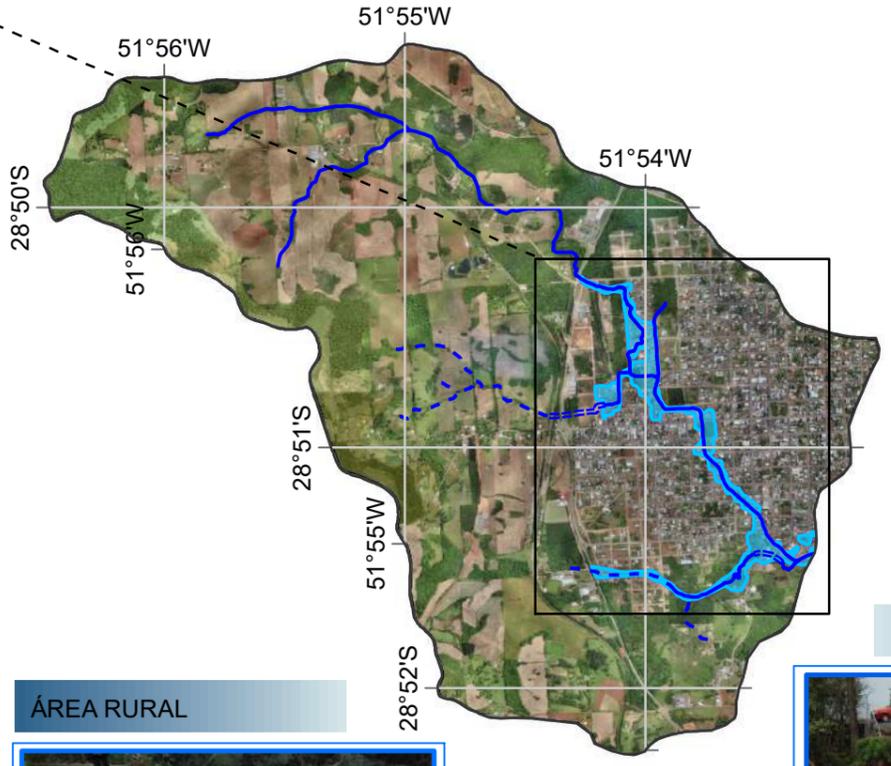
Legenda

- Registros de alagamento**
- ⊂ Bacia do Arroio Barracão*

Hidrografia

- Enterrada
- ... Intermittente
- Perene
- ⊂ Áreas de alagamento**

*Bacia tendo como exutório o fluviômetro.
 **Áreas de alagamento assinaladas pela Defesa Civil do município de Guaporé.



ÁREA RURAL



*Registros referentes ao evento ocorrido em 08 de junho de 2017. Fonte: Defesa Civil, 2017.



ÁREA URBANA



Projeto: **Avaliação do sistema de escoamento superficial do arroio Barracão e vulnerabilidade e suscetibilidade ao risco de inundação**

Identificação: Bacia do Arroio Barracão
 Áreas com registro de alagamento

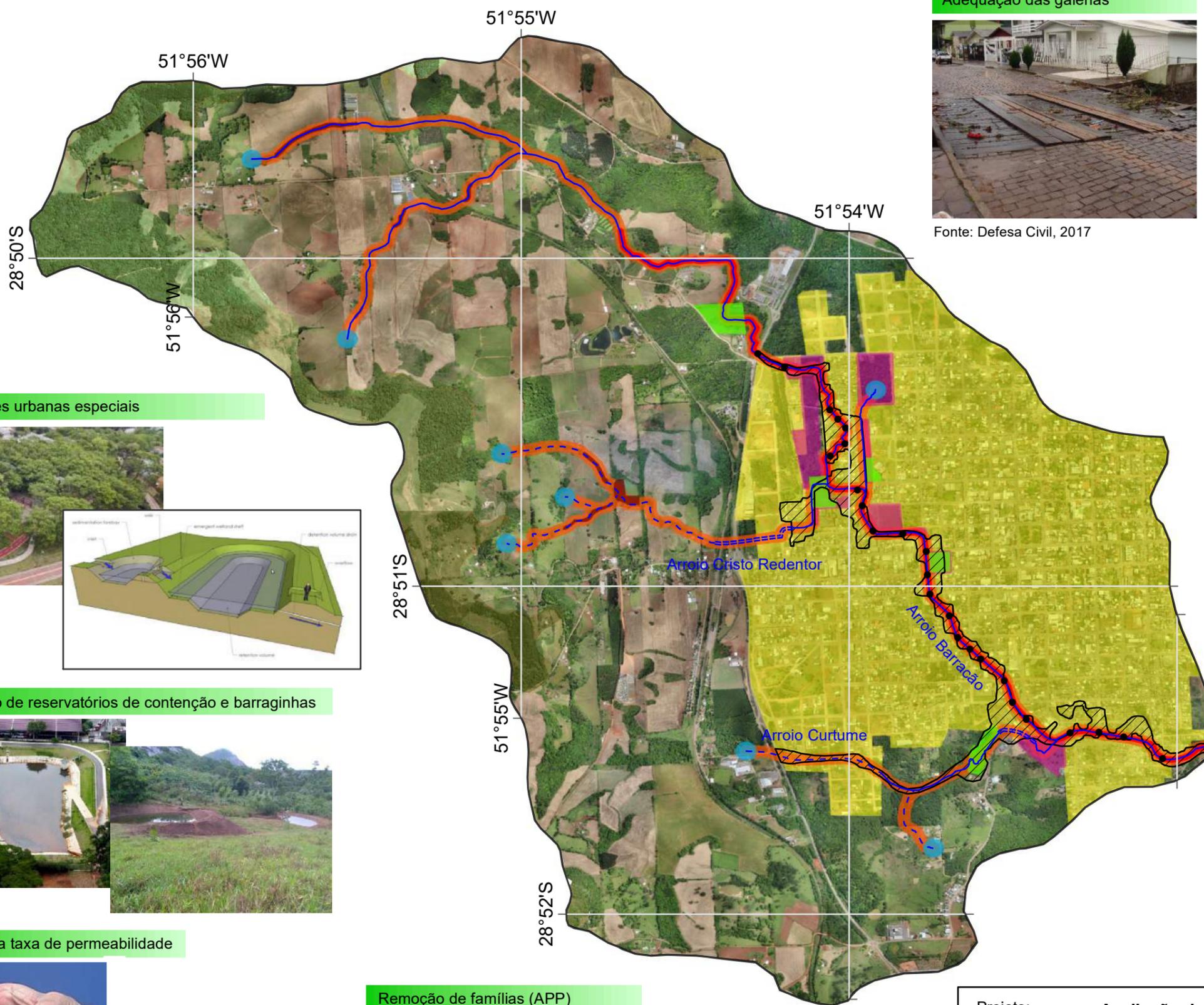
Elaboração: Instituto de Saneamento Ambiental
 Universidade de Caxias do Sul

Data: 07/02/2020

Escala: 1:10.000

Folha: 1/2

Revisão: 00



Adequação das galerias



Fonte: Defesa Civil, 2017

Legenda

- Bacia do Arroio Barracão
- Adequação das galerias

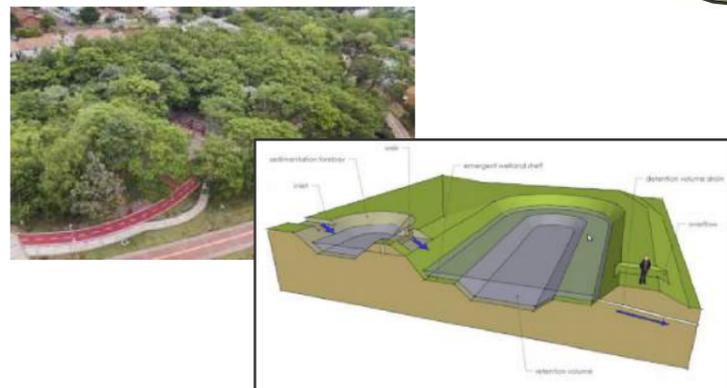
Hidrografia

- Enterrada
- Intermitente
- Perene

- Áreas de alagamento
- Aumento da taxa de permeabilidade
- Instalação de barraginhas
- Instalação de reservatórios de detenção
- Intervenções urbanas especiais
- Rebaixamento do canal, construção de diques
- Recuperação de nascentes
- Remoção de famílias (APP)

Obs: Áreas sujeitas a alterações espaciais e detalhamento em projeto.

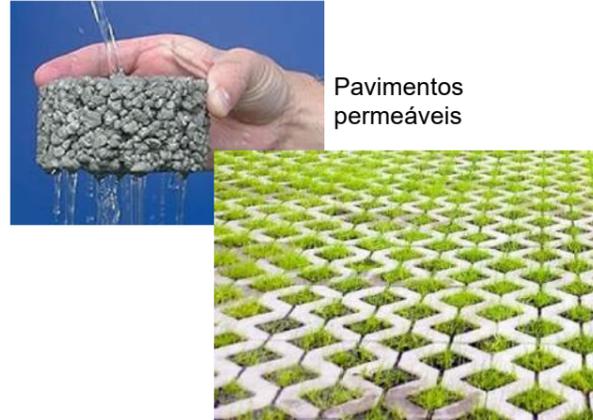
Intervenções urbanas especiais



Instalação de reservatórios de contenção e barraginhas



Aumento da taxa de permeabilidade



Pavimentos permeáveis

Remoção de famílias (APP)



Fonte: ISAM/UCS, 2019

Recuperação de nascentes



Rebaixamento do canal, construção de diques



Fonte: ISAM/UCS, 2019



Projeto: **Avaliação do sistema de escoamento superficial do arroio Barracão e vulnerabilidade e suscetibilidade ao risco de inundação**

Identificação: Bacia do Arroio Barracão
Áreas de ação - Recomendações

Elaboração: Instituto de Saneamento Ambiental
Universidade de Caxias do Sul

Data: 30/07/2020

Escala: 1:25.000

Folha: 2/2

Revisão: 01



APÊNDICES

Apêndice 1 – Contrato da Prestação de Serviços (Contrato Administrativo nº396/2019)
e Termo Aditivo nº 02/2019.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
MUNICÍPIO DE GUAPORÉ
GABINETE DO PREFEITO

TERMO ADITIVO Nº 02/2019

REFERENTE: INEXIGIBILIDADE DE LICITAÇÃO Nº 135/2019, PROCESSO Nº 569/2019, HOMOLOGADO EM 06 DE MAIO DE 2019, CONTRATO ADMINISTRATIVO Nº 396/2019, DATADO DE 06 DE MAIO DE 2019, FIRMADO ENTRE O MUNICÍPIO DE GUAPORÉ E A FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL, TENDO COMO OBJETO A REALIZAÇÃO DE ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DO ARROIO BARRACÃO E VULNERABILIDADE E SUSCETIBILIDADE AO RISCO DE INUNDAÇÃO.

1. Conforme solicitação da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, o prazo constante na Cláusula Quarta, item 4.1., a contratada terá 12 meses, a contar da assinatura do presente contrato, para a execução dos serviços especificados no objeto.

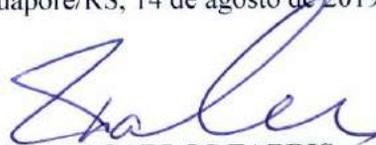
2. Para fins de regularização, corrige-se a conta bancária da contratada. A conta bancária correta é a seguinte:

- * Banco: Brasil
- * Agência: 3412-6
- * Conta: 305548-5

3. As demais cláusulas do contrato permanecem inalteradas.

Guaporé/RS, 14 de agosto de 2019.


FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO
SUL
CONTRATADO


VALDIR CARLOS FABRIS
CONTRATANTE

TESTEMUNHAS:


DANIEL ZORZI
ASSESSOR JURÍDICO
OAB/RS Nº 60.518


Prof. Dr. Juliano Rodrigues Gimenez
CPF: 715.363.700-10



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
MUNICÍPIO DE GUAPORÉ
GABINETE DO PREFEITO

CONTRATO ADMINISTRATIVO Nº 396/2019
CONTRATO PARA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS QUE CELEBRAM ENTRE SI O
MUNICÍPIO DE GUAPORÉ E A FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

Pelo presente instrumento de contrato, o **MUNICÍPIO DE GUAPORÉ**, Pessoa Jurídica de Direito Público Interno, CNPJ nº 87.862.397/0001-09, representado neste ato pelo seu **PREFEITO MUNICIPAL, SR. VALDIR CARLOS FABRIS**, daqui por diante designado **CONTRATANTE** e de outro lado a **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**, fundação privada, sediada em Caxias do Sul/RS, na Rua Francisco Getúlio Vargas, nº 1130 - Cidade Universitária, Bairro: Petrópolis, Cep: 95.070-560, inscrita no CNPJ sob nº 88.648.761/0001-03, telefone: (54) 3218-2100 / (54) 3218-2128, e-mail: fucs@ucs.br, daqui por diante designada **CONTRATADA**, têm ajustado entre si o presente Contrato de Prestação de Serviços que se regerá pelas cláusulas adiante estipuladas, em obediência às determinações da Lei Nº 8.666/93, alterada pela Lei nº 8.883/94.

DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

O presente contrato tem como fundamentos legais o **Processo de Inexigibilidade de Licitação Nº. 135/2019, Processo Nº. 569/2019**, justificativa da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e artigo 25, da Lei nº 8.666/93, alterada pela Lei nº 8.883/94.

CLÁUSULA PRIMEIRA - DO OBJETO

1.1. É objeto deste instrumento a **REALIZAÇÃO DE ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DO ARROIO BARRACÃO E VULNERABILIDADE E SUSCETIBILIDADE AO RISCO DE INUNDAÇÃO**, conforme especificado abaixo:

Secretaria de Meio Ambiente			
09.02 – 2.048 – Ações Relacionadas ao Meio Ambiente			
3.3.90.39.05.00.00 – Serviços Técnicos Profissionais – 2456			
Recuso: 1095 - FMMA			
Item	Descrição	Valor Unitário (RS)	Valor Total (RS)
01	<p>REALIZAÇÃO DE ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DO ARROIO BARRACÃO E VULNERABILIDADE E SUSCETIBILIDADE AO RISCO DE INUNDAÇÃO, CONTEMPLANDO:</p> <ul style="list-style-type: none"> - POSSIBILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE POÇOS E TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO E BACIAS DE DETENÇÃO NA ÁREA URBANA; - LEVANTAMENTO DA REDE PLUVIAL; - USO E OCUPAÇÃO DO SOLO; - PRÁTICAS AGRÍCOLAS; 	25.000,00	25.000,00



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
MUNICÍPIO DE GUAPORÉ
GABINETE DO PREFEITO

- DEFINIÇÃO DE ÁREAS PARA POSSÍVEL IMPLANTAÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO; - AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO; - MODELAGEM PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO.		
Valor Total R\$ 25.000,00		

CLÁUSULA SEGUNDA - DO PREÇO E DA FORMA DE PAGAMENTO

2.1. A prestação de serviço descrita na cláusula primeira deste instrumento será pelo valor total de **R\$ 25.000,00 (vinte e cinco mil reais)**, conforme proposta apresentada, que integra o presente instrumento e que é de pleno conhecimento das partes.

2.1.1. O **CONTRATANTE** pagará à **CONTRATADA** o valor correspondente à execução dos serviços, conforme Nota Fiscal, observados os preços unitários cotados na proposta.

2.2. O pagamento será efetuado à vista, em até 30 dias, após a conclusão dos trabalhos, entrega de projeto e a liberação da Nota Fiscal pelo setor competente, mediante depósito na seguinte conta bancária da **CONTRATADA**:

- * Banco: Brasil
- * Agência: 3412-6
- * Conta: 9367-X

2.3. A Nota Fiscal somente será liberada quando o cumprimento do contrato estiver em total conformidade com as especificações exigidas pelo Município.

2.4. Na eventualidade de aplicação de multas, estas deverão ser liquidadas simultaneamente com parcela vinculada ao evento cujo descumprimento der origem à aplicação da penalidade.

2.5. O CNPJ da contratada constante da nota fiscal e fatura deverá ser o mesmo da documentação apresentada no procedimento licitatório.

2.6. Nenhum pagamento será efetuado ao proponente vencedor enquanto pendente de liquidação quaisquer obrigações financeiras que lhe foram impostas, em virtude de penalidade ou inadimplência, sem que isso gere direito ao pleito de reajustamento de preços ou correção monetária.

CLÁUSULA TERCEIRA - DA DOTAÇÃO ORÇAMENTÁRIA

3.1. As despesas decorrentes do presente contrato serão sustentadas pelas seguintes dotações orçamentárias:

Secretaria de Meio Ambiente
09.02 – 2.048 – Ações Relacionadas ao Meio Ambiente
3.3.90.39.05.00.00 – Serviços Técnicos Profissionais – 2456
Recuso: 1095 – FMMA





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
MUNICÍPIO DE GUAPORÉ
GABINETE DO PREFEITO

CLÁUSULA QUARTA - DAS OBRIGAÇÕES DA CONTRATADA

4.1. A **CONTRATADA** terá 60 dias, a contar da assinatura do presente contrato, para a execução dos serviços especificados no objeto.

4.2. Este contrato é pelo regime de prestação de serviços, sendo que a **CONTRATADA** assume todo ônus decorrente de responsabilização contratual em relação a terceiros, quer seja na área trabalhista e previdenciária, bem como quaisquer obrigações de natureza cível que porventura advierem.

4.3. Realizar o objeto nas especificações contidas neste Contrato.

4.4. Pagar todos os tributos, contribuições fiscais e parafiscais que incidam ou venham a incidir, direta ou indiretamente, sobre os produtos fornecidos.

4.5. Manter, durante a execução do contrato, as mesmas condições de habilitação.

4.6. Aceitar, nas mesmas condições contratuais, os acréscimos ou supressões que se fizerem necessários no quantitativo do objeto deste contrato, até o limite de 25% (vinte e cinco por cento) do valor contratado, conforme dispositivos do artigo 65 da Lei nº 8.666/93.

4.8. Realizar o objeto contratado, no preço, prazo e forma estipulados na proposta.

4.9. Responsabilizar-se pelas despesas com transporte, bem como todos os encargos e tributos incidentes à execução do objeto.

4.10. Responsabilizar-se por danos provocados a terceiros, bem como com seus funcionários, que por ventura venham ocorrer durante a execução dos serviços, isentando o Município de Guaporé de quaisquer responsabilidades indenizatórias.

4.11. Assumir todas as obrigações legais com seus prepostos e empregados, e por eles responder em todas as instâncias administrativas ou judiciais.

CLÁUSULA QUINTA - DAS OBRIGAÇÕES DA CONTRATANTE

5.1. Arcar com os compromissos financeiros de acordo com o estabelecido.

5.2. A gestão do contrato é de responsabilidade do Secretário (a) Municipal de Meio Ambiente (Titular da Pasta).

5.3. Atestar nas notas fiscais/faturas a efetiva entrega do objeto deste Contrato.

5.4. Aplicar à **CONTRATADA** penalidades, quando for o caso.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
MUNICÍPIO DE GUAPORÉ
GABINETE DO PREFEITO

5.5. Prestar à **CONTRATADA** toda e qualquer informação, por esta solicitada, necessária à perfeita execução do Contrato.

5.6. Efetuar o pagamento à **CONTRATADA** no prazo avençado, após a entrega da Nota Fiscal no setor competente.

5.7. Notificar, por escrito, à **CONTRATADA** da aplicação de qualquer sanção.

CLÁUSULA SEXTA - DA VIGÊNCIA

6.1. O prazo de vigência do contrato será até 31 de dezembro de 2019, podendo ser prorrogado de conformidade com o artigo 57 da Lei 8.666/93.

CLÁUSULA SÉTIMA - DAS PENALIDADES

7.1. Os casos de inexecução do objeto deste Contrato, erro de execução, execução imperfeita, atraso injustificado e inadimplemento contratual, sujeitará o proponente contratado às penalidades previstas no Art. 87 da Lei 8.666/93, das quais se destacam:

- a) advertência;
- b) multa de 10% (dez por cento) do valor global do contrato, por atraso injustificado na execução do mesmo, observado o prazo máximo de 2 (duas) horas. Não tendo a empresa se manifestado no período, após o prazo será considerado inexecução contratual;
- c) multa de 15% (quinze por cento) sobre o valor global do contrato pela inexecução parcial injustificada da obrigação pela **CONTRATADA**;
- d) multa de 25% (vinte e cinco por cento) sobre o valor global do contrato pela inexecução total injustificada da obrigação pela **CONTRATADA**;
- e) suspensão temporária de participação em licitações e impedimento de contratar com o Município, no prazo de até 02 (dois) anos;
- f) declaração de inidoneidade para contratar com a Administração Pública, até que seja promovida a reabilitação, facultado ao contratado o pedido de reconsideração da decisão da autoridade competente, no prazo de 10 (dez) dias da abertura de vistas ao processo.

7.2. As sanções previstas nesta Cláusula poderão ser aplicadas cumulativamente, de acordo com a gravidade do descumprimento, facultada ampla defesa a contratada, no prazo de 05 (cinco) dias úteis, a contar da intimação do ato.

7.3. Na aplicação das penalidades previstas no Edital e neste instrumento, o Município considerará, motivadamente, a gravidade da falta, seus efeitos, bem como os antecedentes do licitante ou contratado, podendo deixar de aplicá-las, se admitidas as suas justificativas, nos termos do que dispõe o artigo 87, "caput", da Lei nº 8.666/93.

7.4. No caso de aplicação de multa, a **CONTRATADA** será notificada, por escrito, da referida



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
MUNICÍPIO DE GUAPORÉ
GABINETE DO PREFEITO

sanção, tendo ela o prazo de 10 dias, contados do recebimento da notificação, para recolher a importância à Secretaria Municipal da Fazenda, sendo necessária a apresentação de comprovante do recolhimento, para liberação do pagamento da parcela que tiver direito.

7.5. As penalidades serão registradas no cadastro da contratada, quando for o caso.

7.6. Nenhum pagamento será efetuado enquanto pendente de liquidação qualquer obrigação financeira que for imposta ao fornecedor em virtude de penalidade ou inadimplência contratual.

7.7. O recurso ou o pedido de reconsideração será dirigido à Autoridade Superior Competente da unidade requisitante, que decidirá o recurso no prazo de 05 (cinco) dias úteis e o pedido de reconsideração, no prazo de 10 (dez) dias úteis.

7.8. A inexecução total ou parcial do Contrato ensejará na sua rescisão, com as consequências contratuais e as previstas em Lei, cujos motivos para a referida rescisão são os previstos no Art. 78 da Lei 8.666/93.

7.9. O recurso ou o pedido de reconsideração será dirigido à Autoridade Superior Competente da unidade requisitante, que decidirá o recurso no prazo de 05 (cinco) dias úteis e o pedido de reconsideração, no prazo de 10 (dez) dias úteis.

7.10. A inexecução total ou parcial do Contrato ensejará na sua rescisão, com as consequências contratuais e as previstas em Lei, cujos motivos para a referida rescisão são os previstos no Art. 78 da Lei 8.666/93.

7.11. O **CONTRATANTE** poderá rescindir o contrato, independentemente de qualquer procedimento Judicial, observada a Legislação vigente, nos seguintes casos:

- a) Por infração a qualquer de suas cláusulas;
- b) Pedido de recuperação judicial ou extrajudicial, falência ou dissolução da contratada;
- c) Em caso de transferência, no todo ou em parte, das obrigações assumidas neste contrato, sem prévio e expreso aviso ao município;
- d) Por comprovada deficiência no atendimento do objeto deste contrato;
- e) Mais de 2 (duas) advertências.

7.12. O **CONTRATANTE** poderá, ainda, sem caráter de penalidade, declarar rescindido o contrato por conveniência administrativa ou interesse público, conforme disposto no artigo 79 da lei 8.666/93 e suas alterações.

CLÁUSULA OITAVA - DOS ACRÉSCIMOS CONTRATUAIS

8.1. A **CONTRATADA** fica obrigada a aceitar, nas mesmas condições contratuais, os acréscimos ou supressões que se fizerem necessárias, até o limite de 25% (vinte e cinco por cento) do valor do contrato, conforme prevê o artigo 65 § 1º da Lei nº 8.666/93.





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
MUNICÍPIO DE GUAPORÉ
GABINETE DO PREFEITO

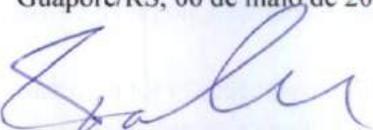
DISPOSIÇÕES FINAIS

Fica eleito o foro da comarca de Guaporé para dirimir dúvidas ou questões oriundas do presente contrato, obrigando-se as partes entre si e sucessores para bem e fielmente cumpri-lo.

E, por estarem como justas e contratadas em todas as cláusulas acima, assinam o presente instrumento, juntamente com duas testemunhas, o qual fora confeccionado em 05 (cinco) vias para os devidos fins legais.

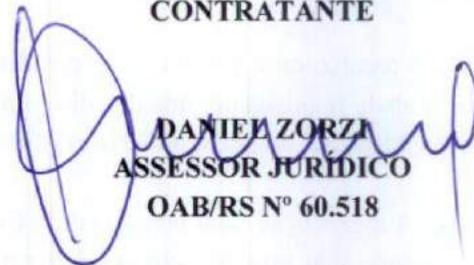
Guaporé/RS, 06 de maio de 2019.

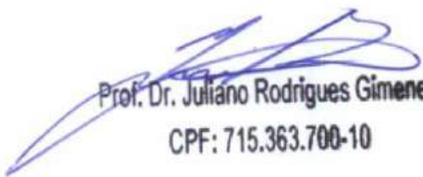

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE CAXIAS
DO SUL
CONTRATADO


VALDIR CARLOS FABRIS
CONTRATANTE

TESTEMUNHAS:



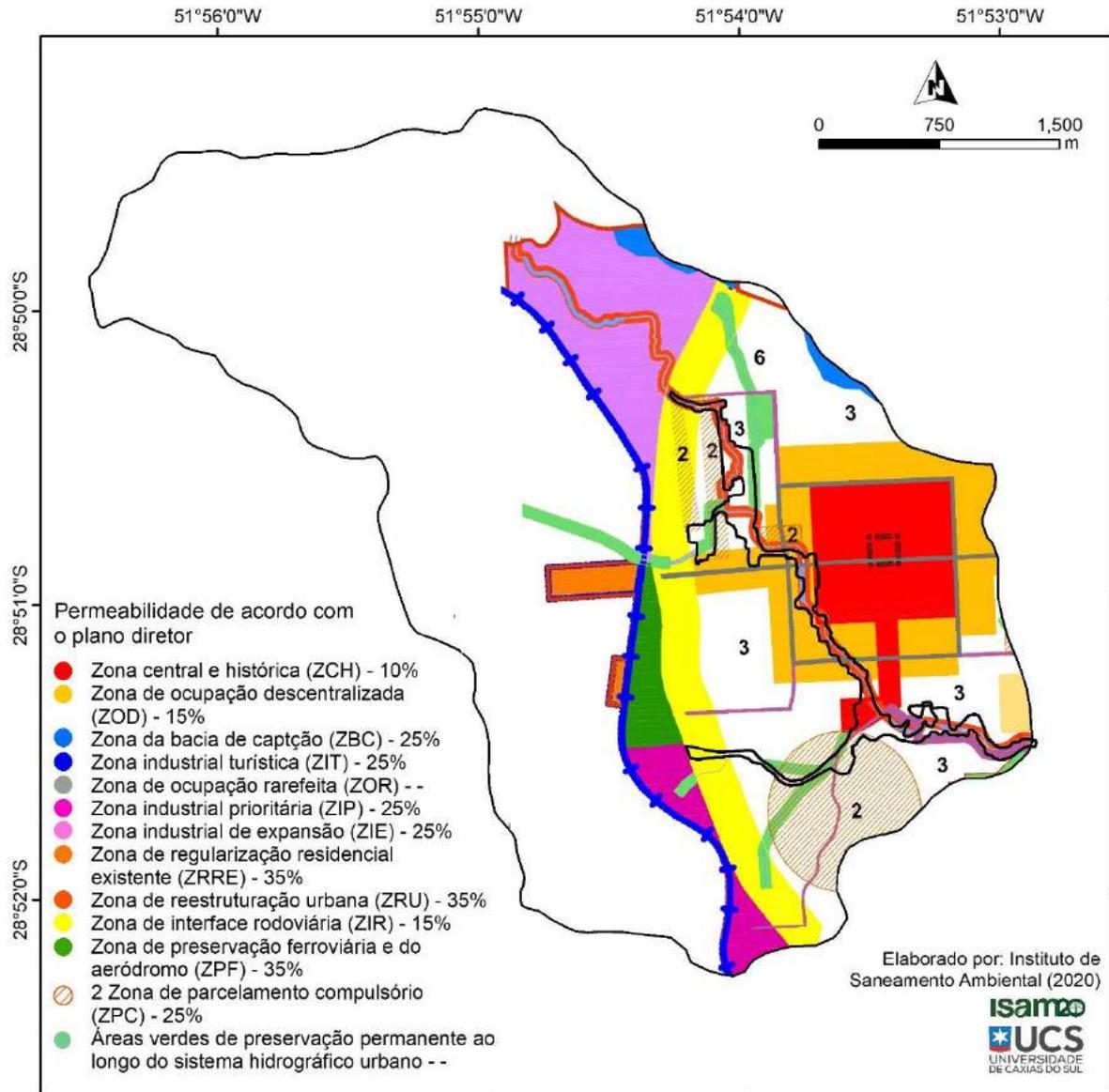

DANIEL ZORZI
ASSESSOR JURÍDICO
OAB/RS Nº 60.518


Prof. Dr. Juliano Rodrigues Gimenez
CPF: 715.363.700-10



APÊNDICES

Apêndice 2 – Classes de permeabilidade do solo presentes no zoneamento do plano diretor municipal com relação a bacia de estudo e os registro de alagamento.



Fonte: Autores com dados de Guaporé (2018).

Na área com registros de alagamentos são encontradas as zonas de reestruturação urbana (35%), a zona industrial de expansão (25%), zona central e histórica (10%), a zona de parcelamento compulsório (25%) e as áreas verdes de preservação permanente ao longo do sistema hidrográfico urbano.

APÊNDICES

Apêndice 3 – Edificações em áreas de risco.

APÊNDICE 3 - EDIFICAÇÕES EM ÁREAS DE RISCO

Com base no relatório fotográfico elaborado ao longo do estudo, foram identificadas edificações, contidas nesses registros, que estão localizadas nas áreas de risco a inundação em cenário mais recorrente (Tempo de retorno de 2 e 5 anos).

Rua União da Serra (-28.840999, -51.900951)





Rua das Rosas (-28.841477, -51.900606)

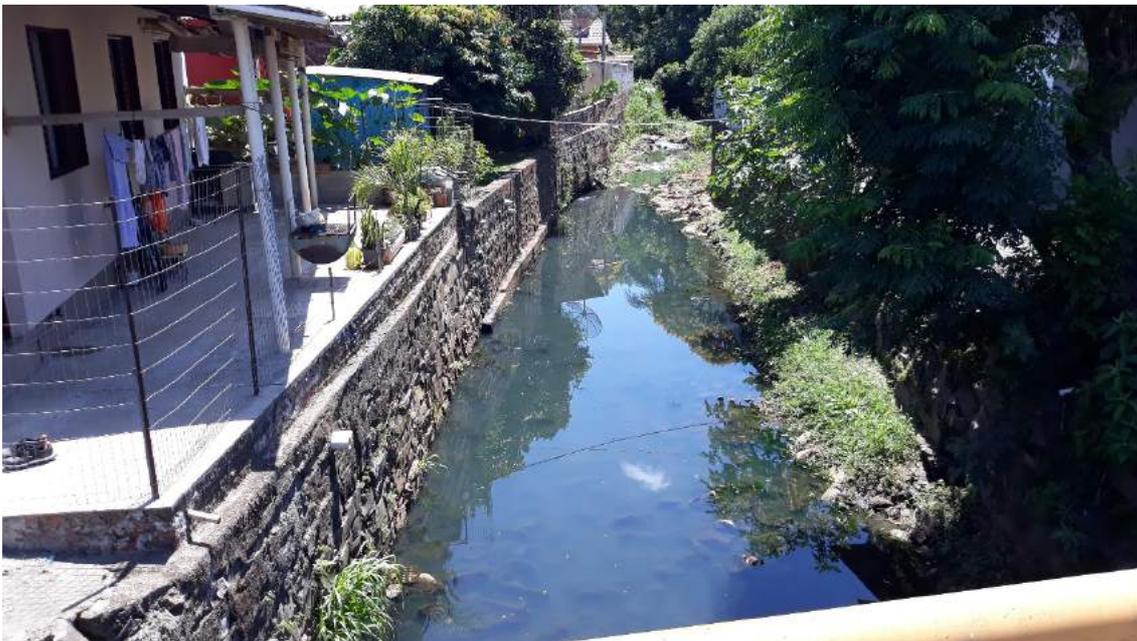




Travessa da União (-28.843394, -51.900974)



Av. dos Imigrantes e Rua Dr. Julio Campos (-28.845762, -51.899332)



Rua Marcelino Champanhata (-28.847364, -51.896575)



APÊNDICES

Apêndice 4 – Galerias de drenagem associadas as pontes



MAPA DE SITUAÇÃO



MAPA 01



MAPA 02



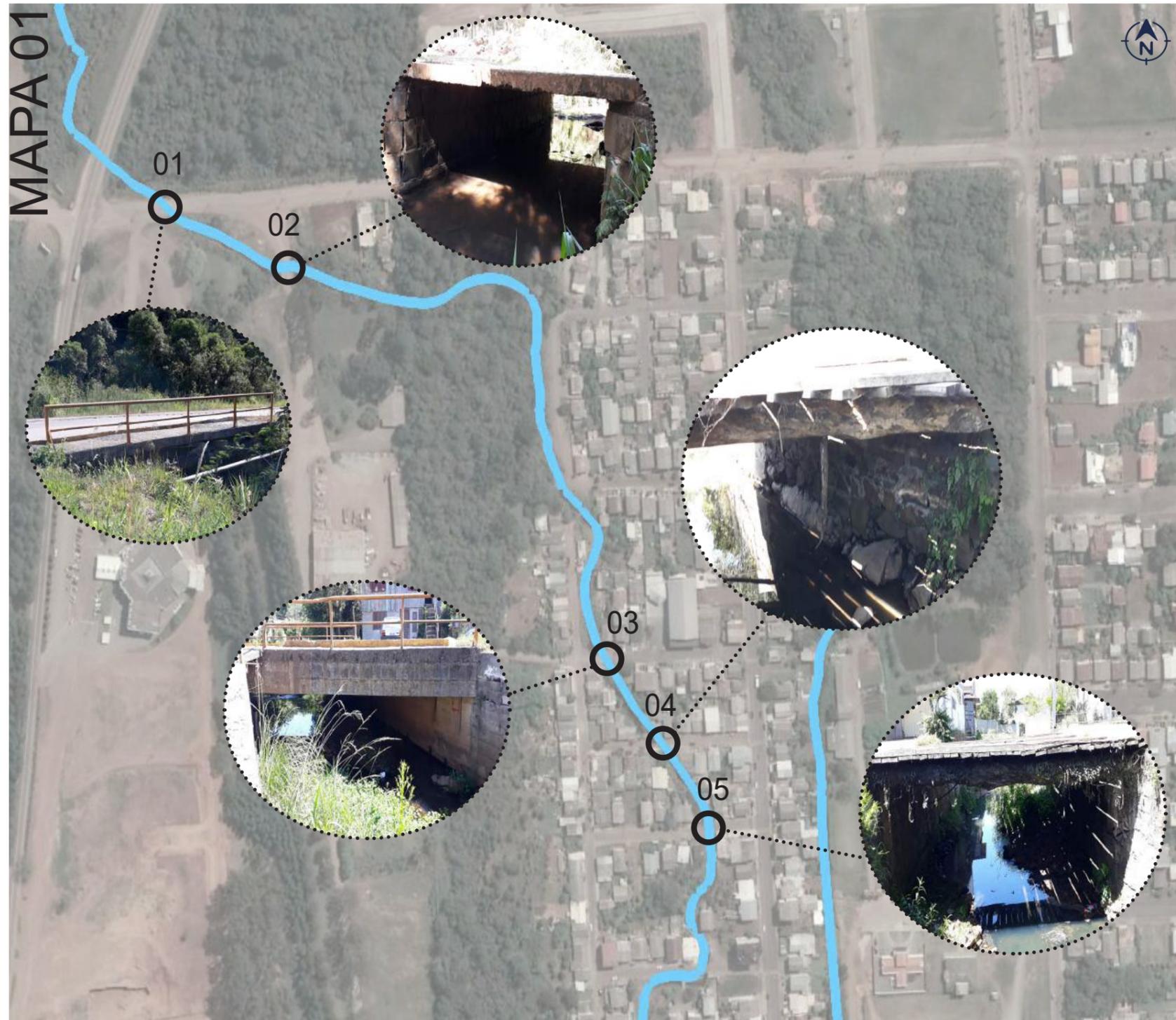
MAPA 03



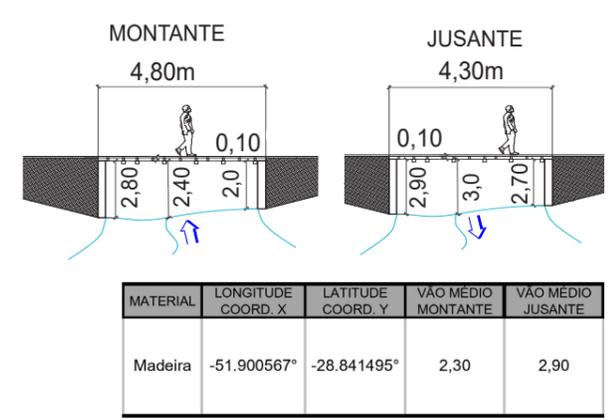
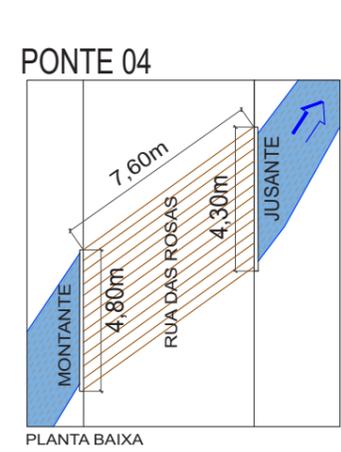
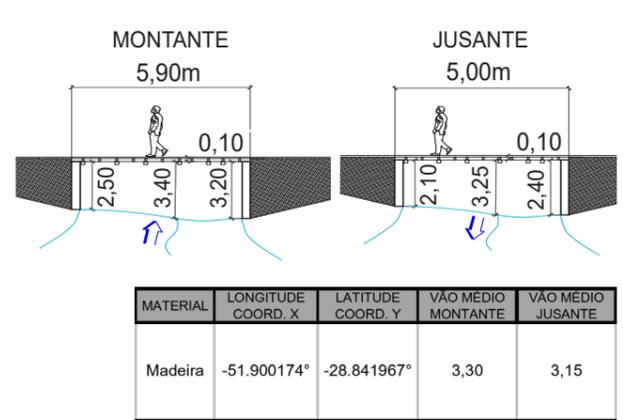
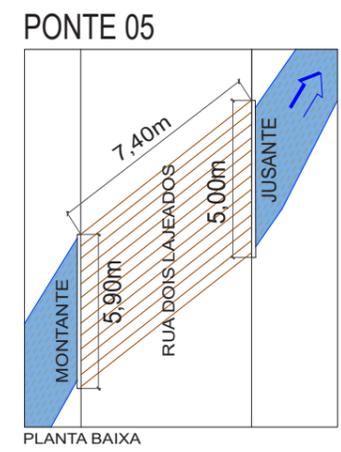
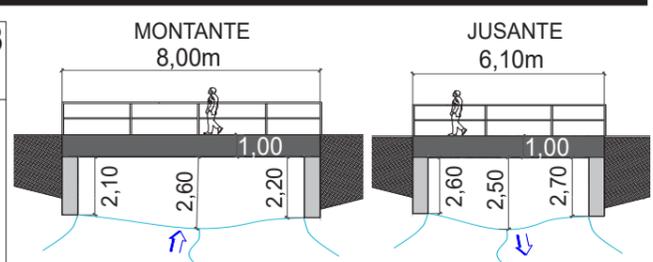
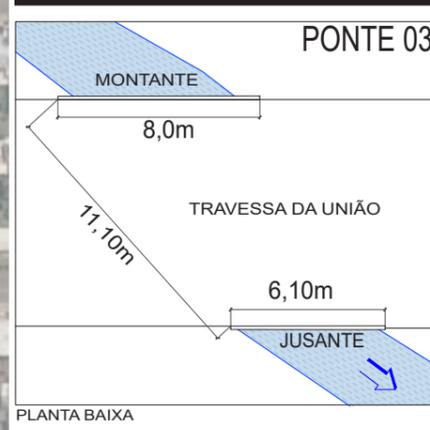
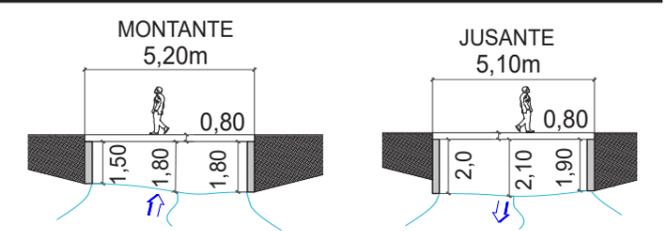
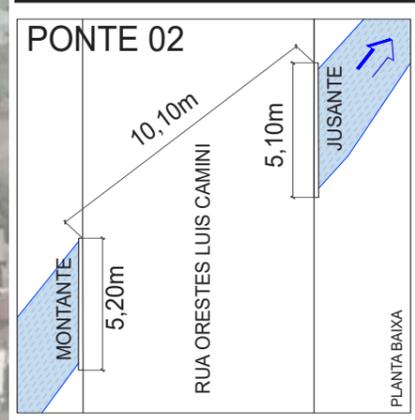
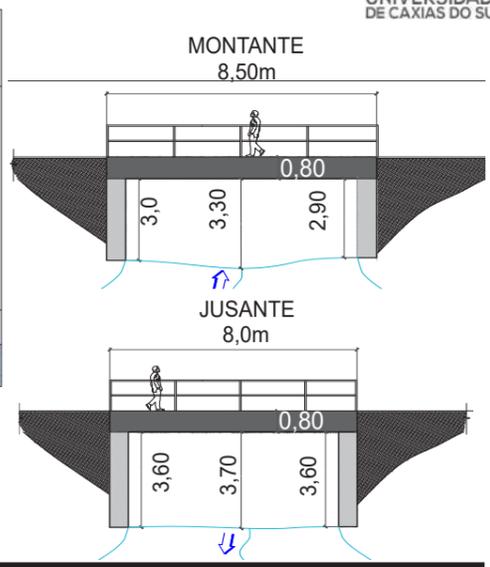
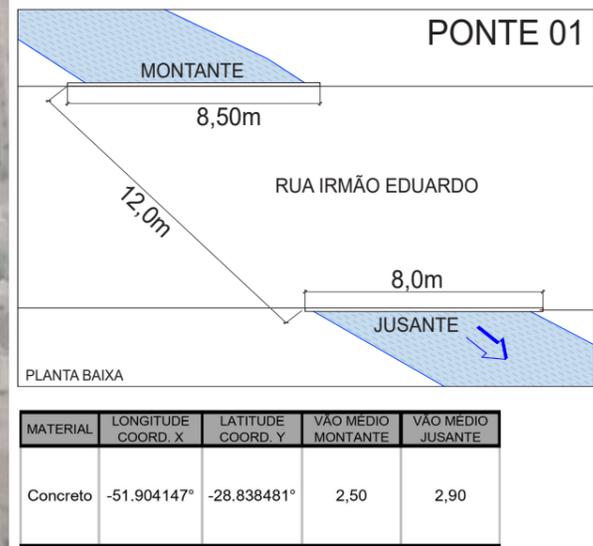
MAPA 04



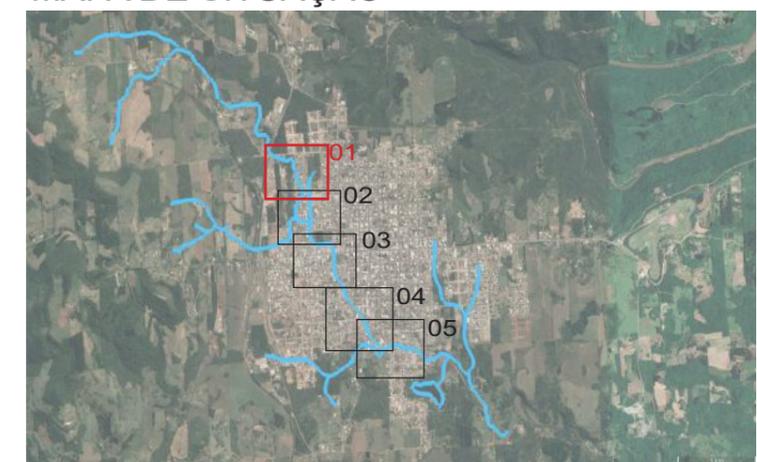
MAPA 05



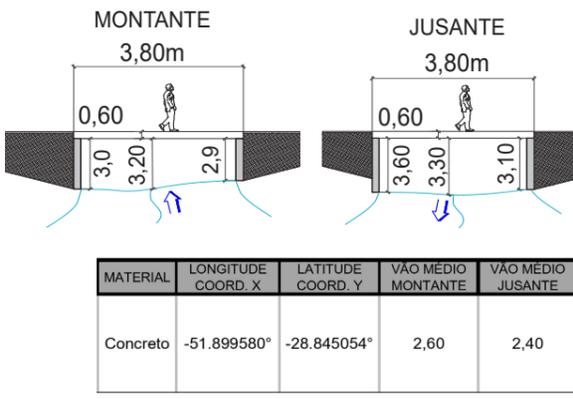
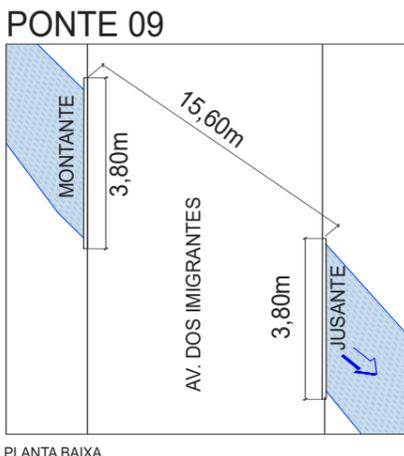
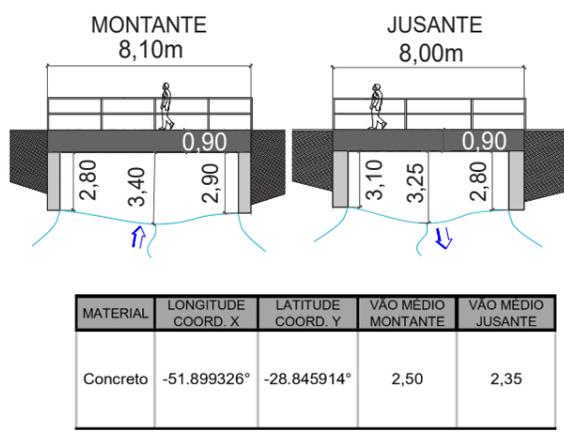
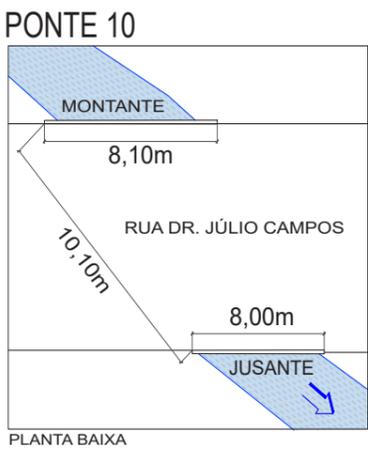
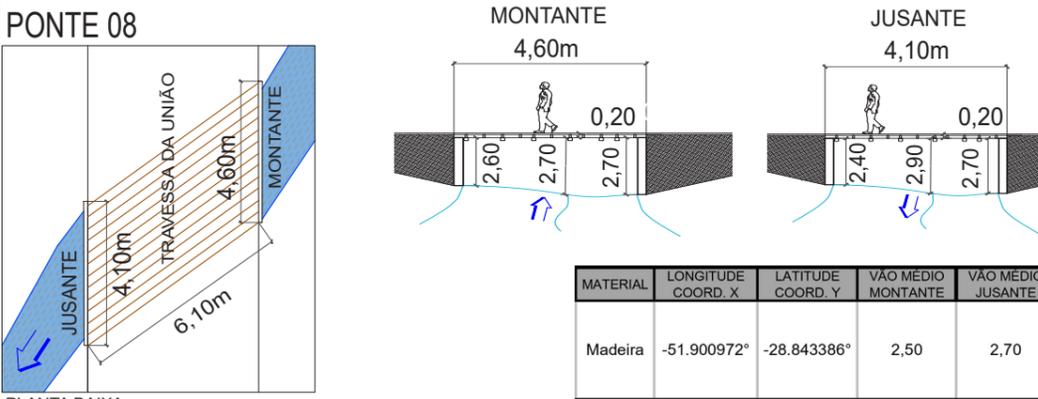
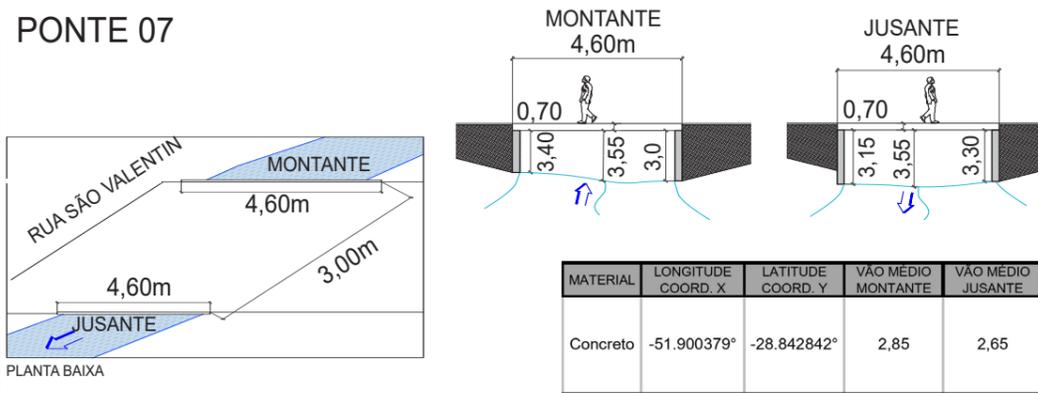
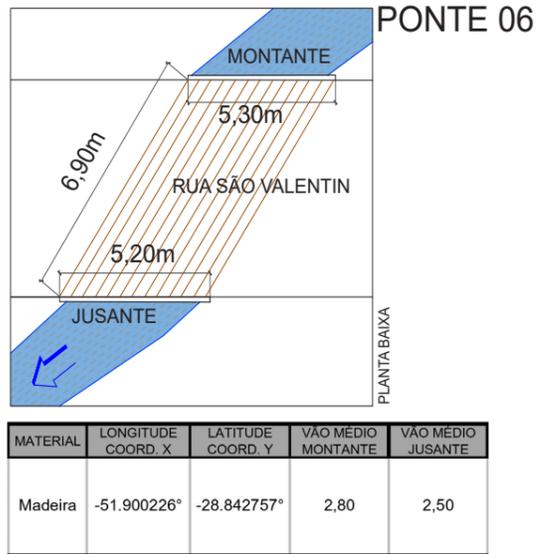
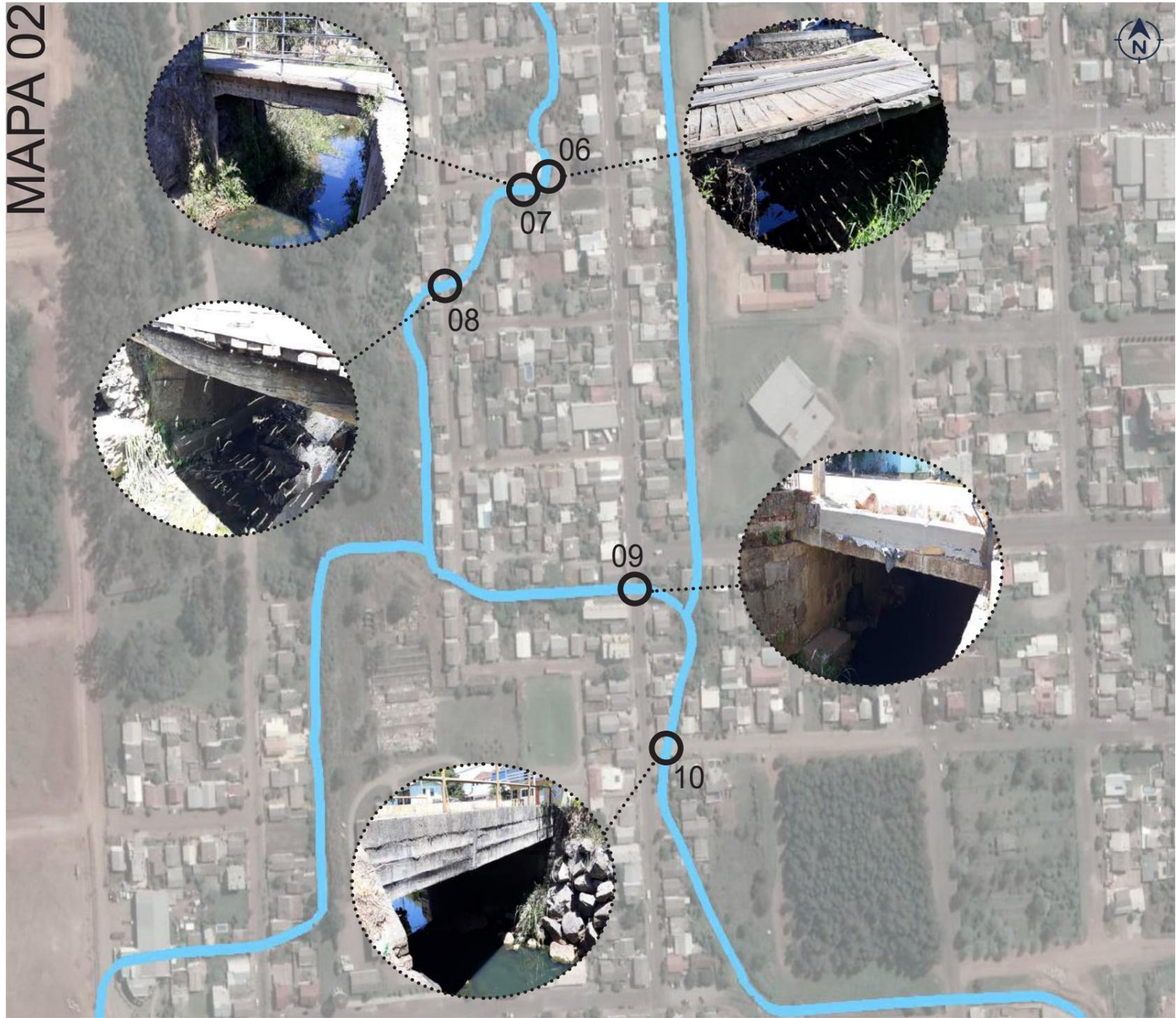
MAPA 01



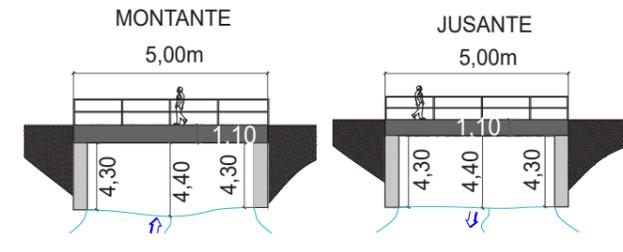
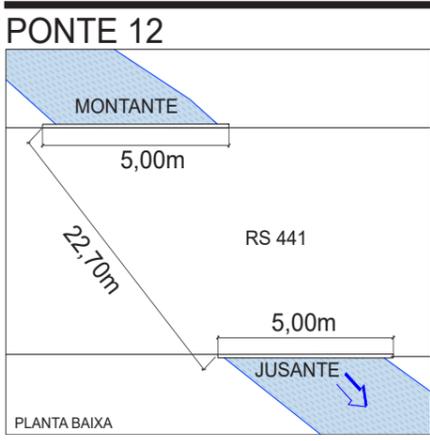
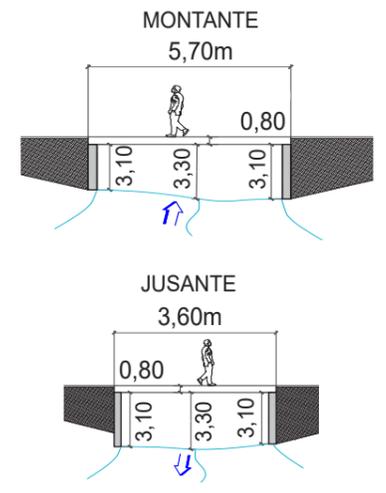
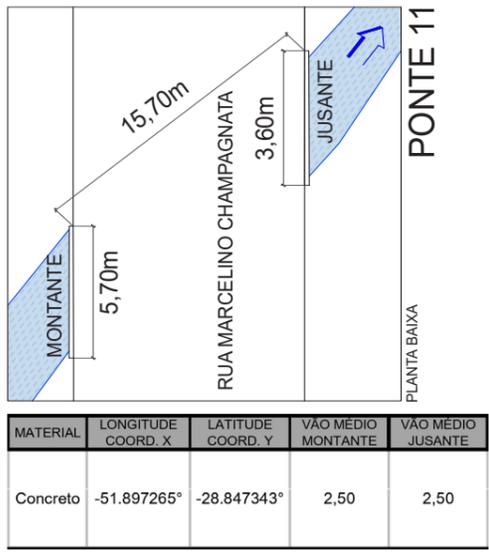
MAPA DE SITUAÇÃO



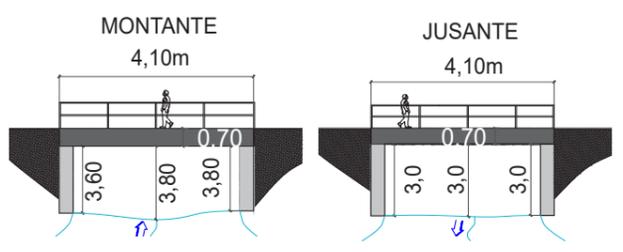
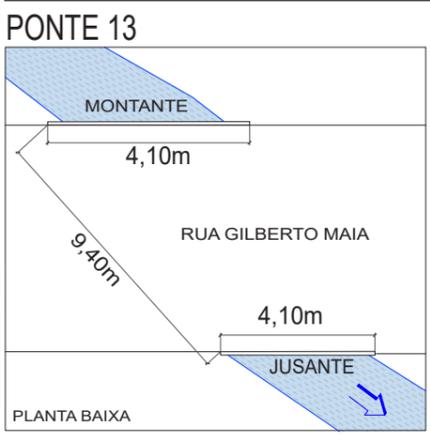
MAPA 02



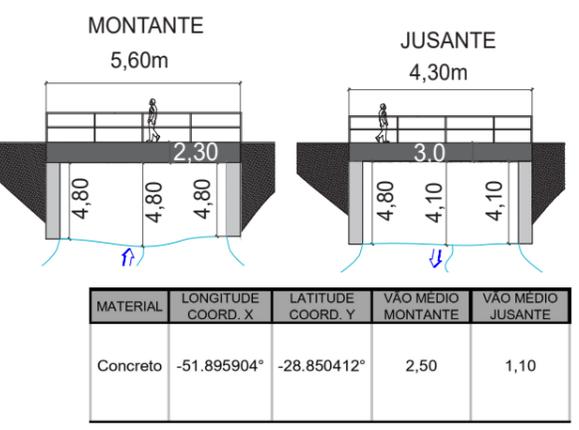
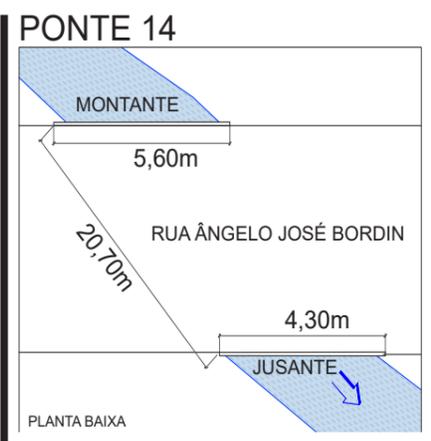
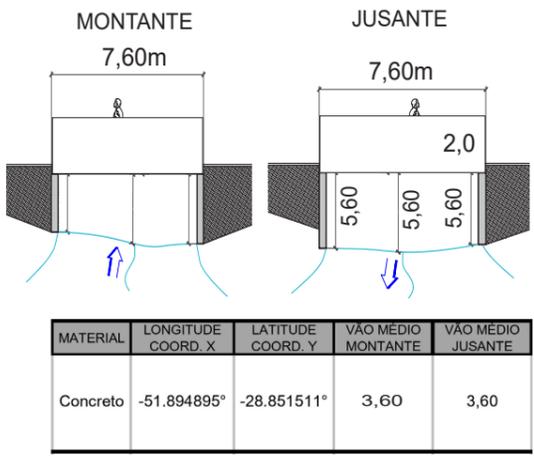
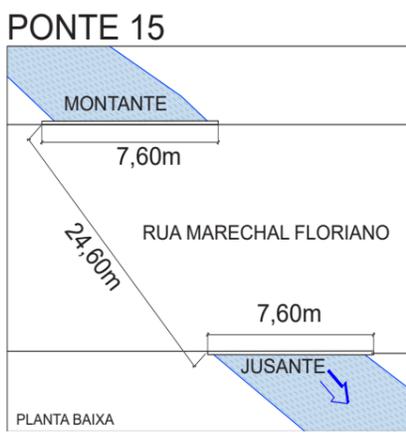
MAPA 03



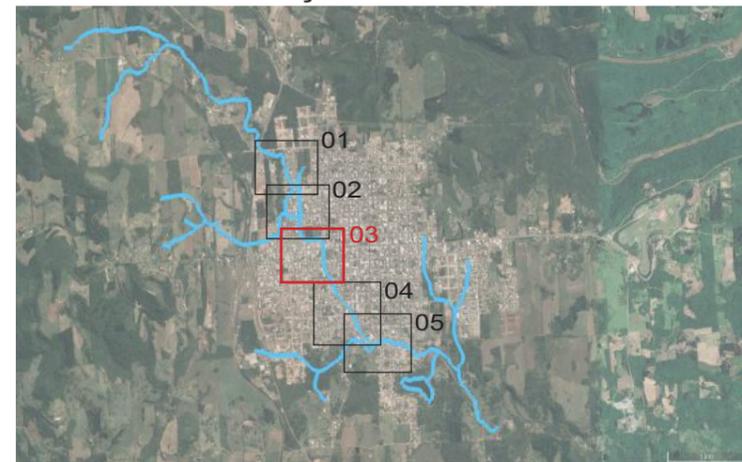
MATERIAL	LONGITUDE COORD. X	LATITUDE COORD. Y	VÃO MÉDIO MONTANTE	VÃO MÉDIO JUSANTE
Concreto	-51.896106°	-28.848274°	3,30	3,30



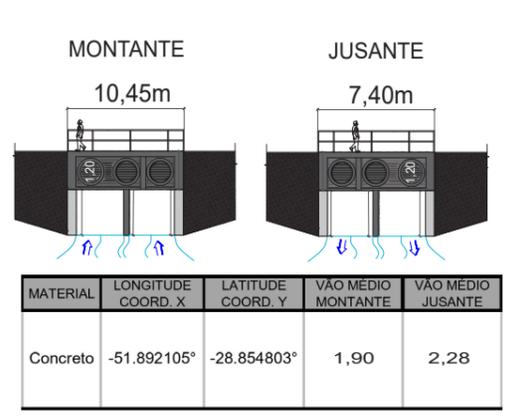
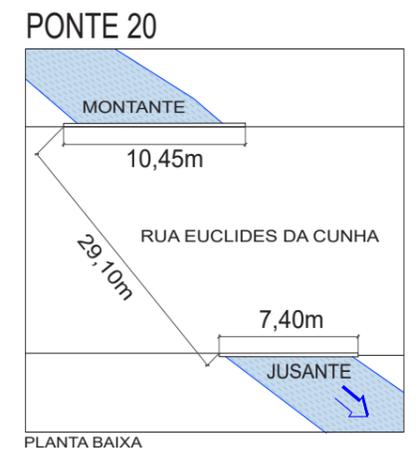
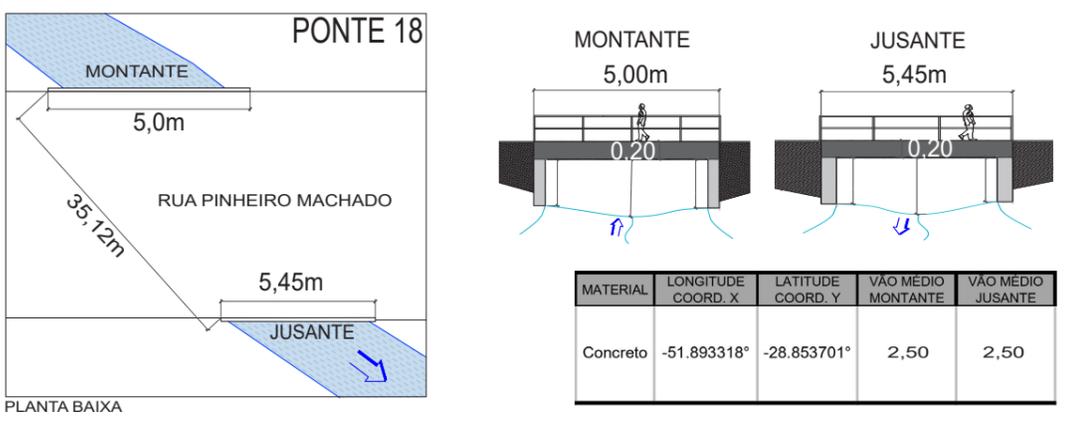
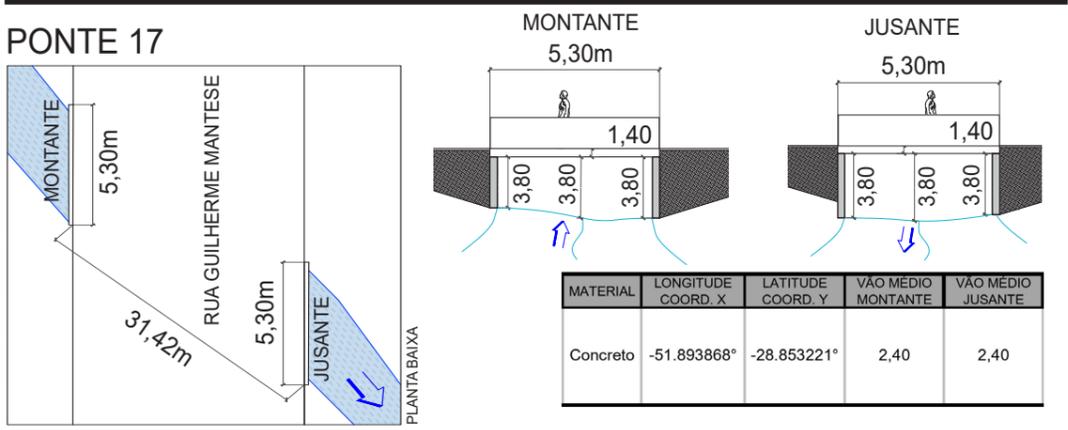
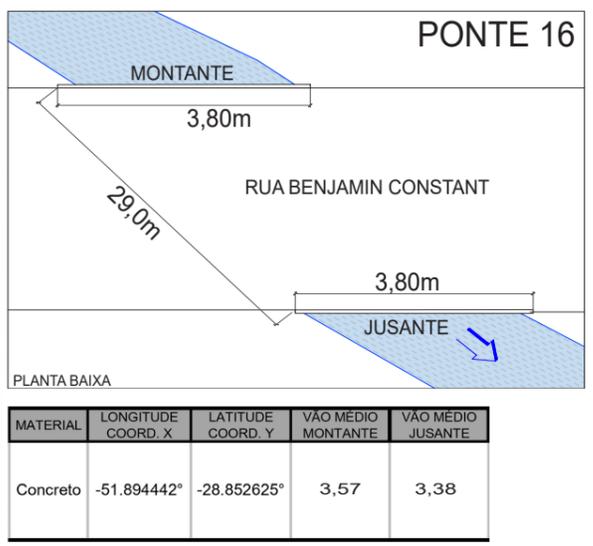
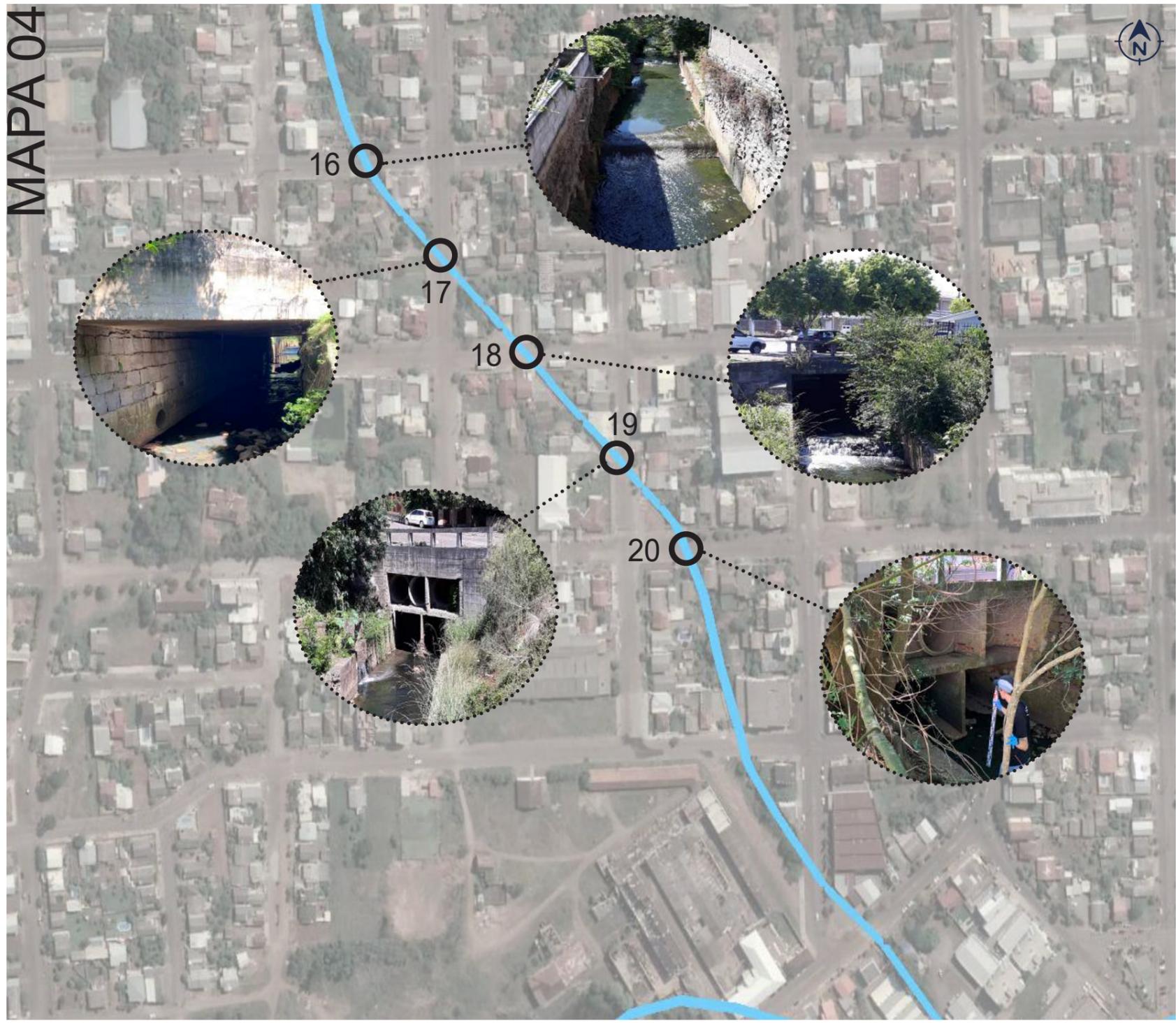
MATERIAL	LONGITUDE COORD. X	LATITUDE COORD. Y	VÃO MÉDIO MONTANTE	VÃO MÉDIO JUSANTE
Concreto	-51.896012°	-28.849394°	3,10	2,30



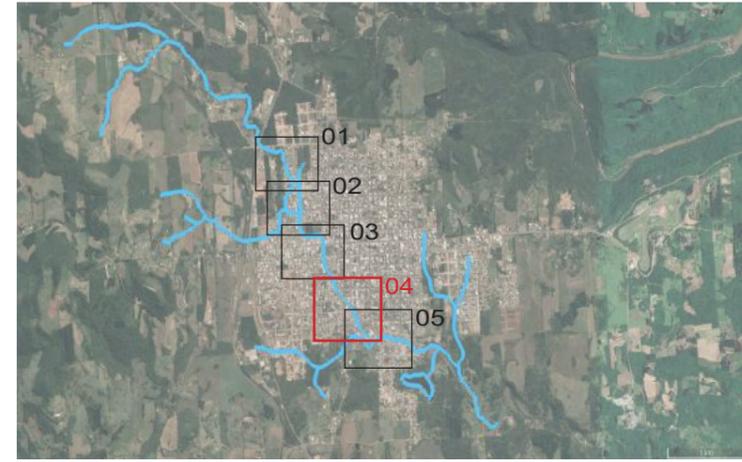
MAPA DE SITUAÇÃO



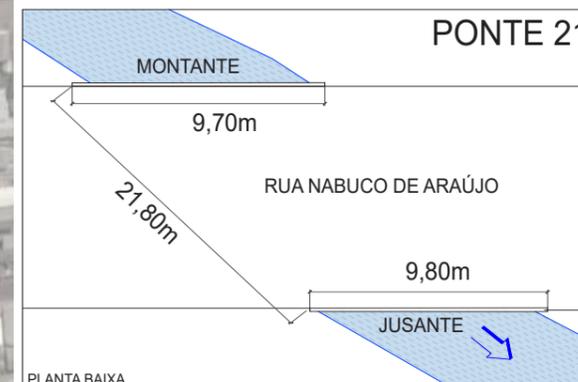
MAPA 04



MAPA DE SITUAÇÃO

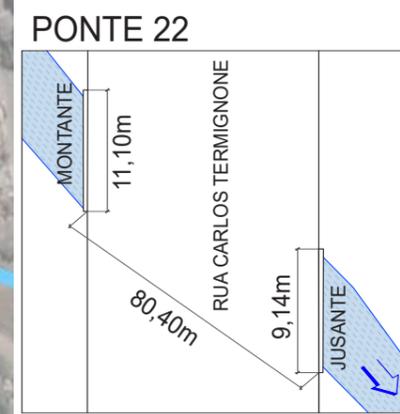
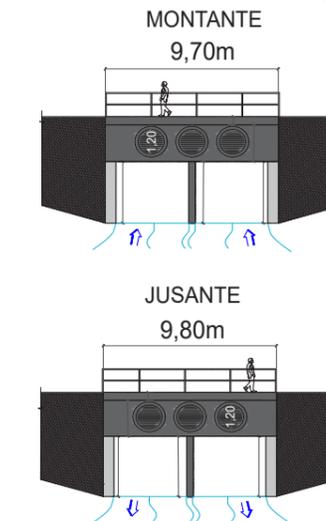


MAPA 05



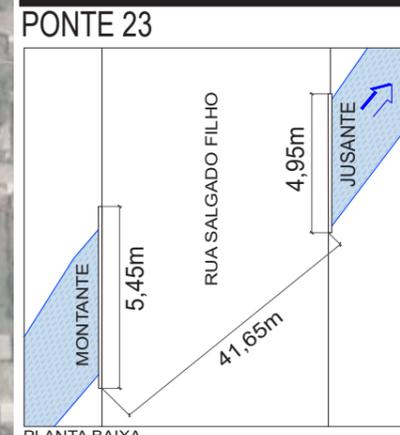
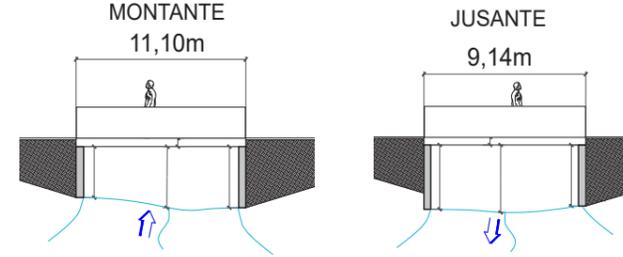
PLANTA BAIXA

MATERIAL	LONGITUDE COORD. X	LATITUDE COORD. Y	VÃO MÉDIO MONTANTE	VÃO MÉDIO JUSANTE
Concreto	-51.891691°	-28.855904°	2,70	2,70



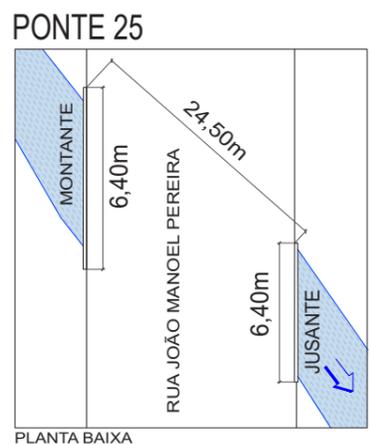
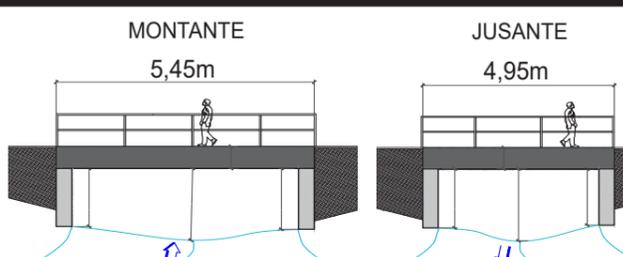
PLANTA BAIXA

MATERIAL	LONGITUDE COORD. X	LATITUDE COORD. Y	VÃO MÉDIO MONTANTE	VÃO MÉDIO JUSANTE
Concreto	-51.891100°	-28.856600°	3,40	3,40



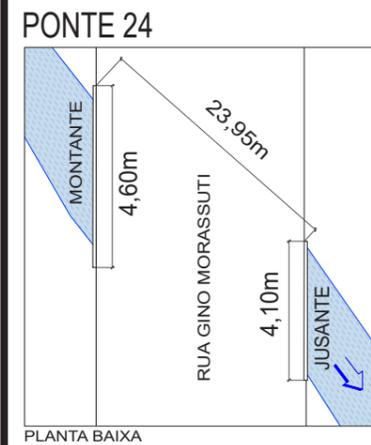
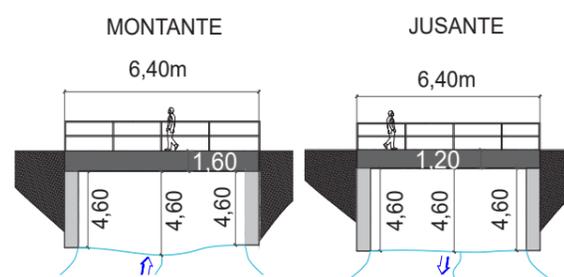
PLANTA BAIXA

MATERIAL	LONGITUDE COORD. X	LATITUDE COORD. Y	VÃO MÉDIO MONTANTE	VÃO MÉDIO JUSANTE
Concreto	-51.888600°	-28.857418°	3,50	3,60



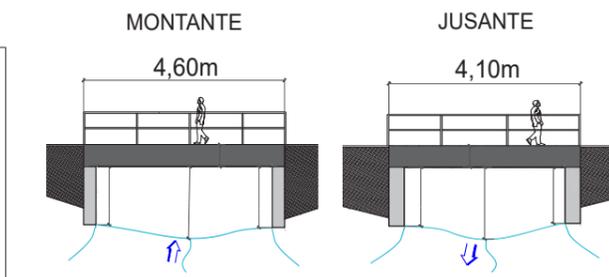
PLANTA BAIXA

MATERIAL	LONGITUDE COORD. X	LATITUDE COORD. Y	VÃO MÉDIO MONTANTE	VÃO MÉDIO JUSANTE
Concreto	-51.886029°	-28.857702°	3,00	3,40

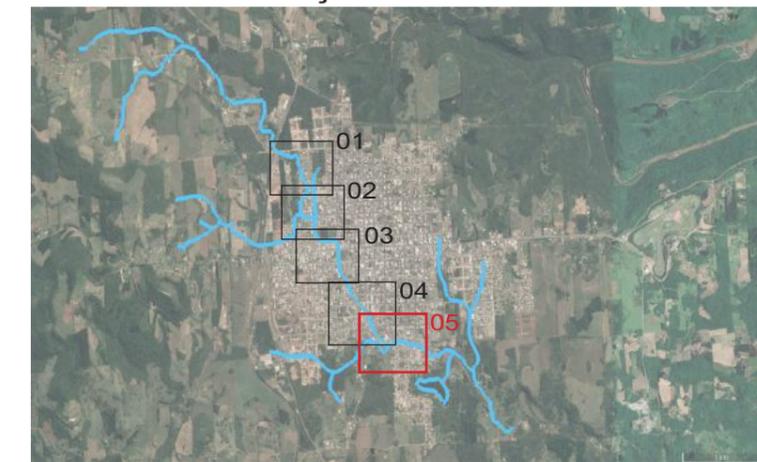


PLANTA BAIXA

MATERIAL	LONGITUDE COORD. X	LATITUDE COORD. Y	VÃO MÉDIO MONTANTE	VÃO MÉDIO JUSANTE
-	-51.887288°	-28.857476°	3,54	3,54



MAPA DE SITUAÇÃO



APÊNDICES

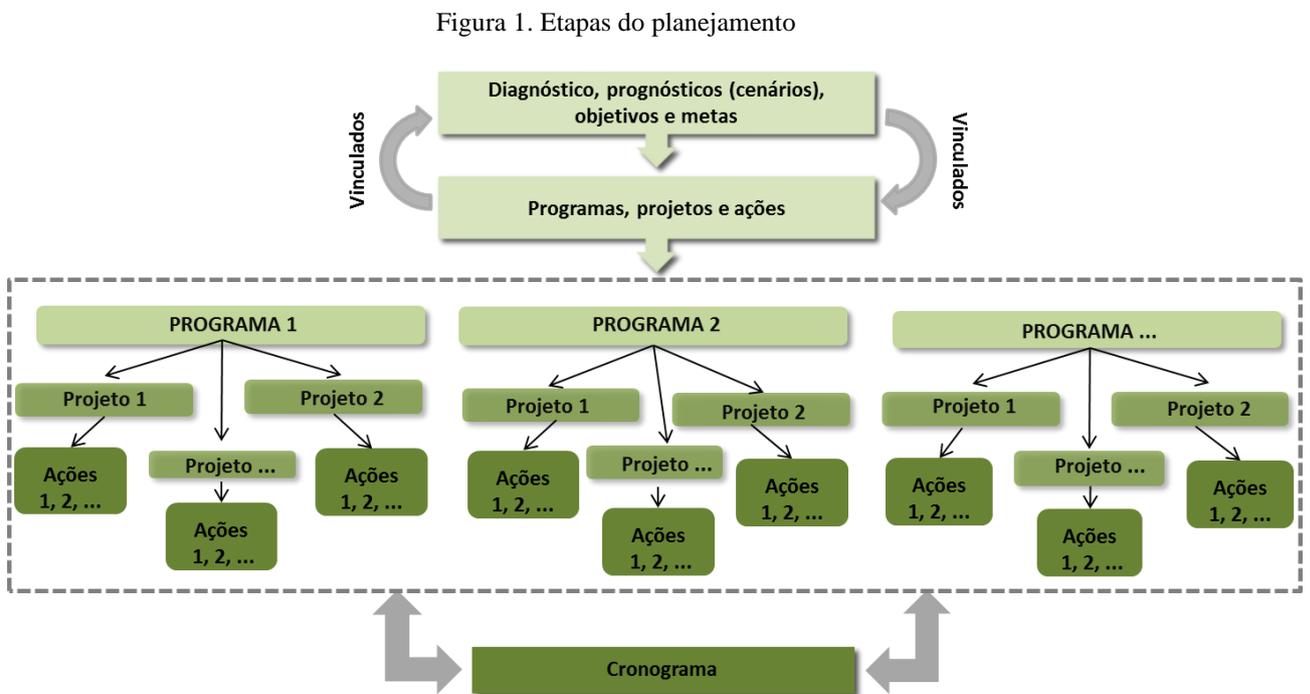
Apêndice 5 – Programas, Projetos e Ações: Fichas Cronograma de execução.

PROGRAMAS, PROJETOS E AÇÕES

Os programas, projetos e ações, são parte integrante de um planejamento. É nesta etapa do planejamento que são analisados os dados anteriormente obtidos e definido em quais áreas e como o Município atuará para melhorar as condições da drenagem urbana.

Metodologia para definição dos programas, projetos e ações

Como pode ser observado na Figura 1 os programas, projetos e ações devem estar vinculados às etapas anteriormente executadas de diagnóstico, prognóstico, objetivos e metas, e ao final são sistematizados em um cronograma de execução.



Fonte: RECESA (2013).

De maneira a otimizar a execução e o acompanhamento dos programas, projetos e ações, estes são organizados e apresentados na forma de **fichas orientadoras**, onde são descritos de forma objetiva os itens a serem considerados.

Na Ficha 1, são apresentados os Programas propostos com as seguintes informações:

- **PROGRAMA:** campo onde é apresentada a denominação do programa. Segundo Oliveira (2012), programa “é o conjunto de projetos homogêneos quanto a seu objetivo maior”.

- **CÓDIGO:** campo onde se insere um código identificador do programa, além de um ou mais números que indicam a ordem de execução;
- **JUSTIFICATIVA:** campo onde se argumenta sobre a necessidade e importância do desenvolvimento do programa.

Na Ficha 2, são apresentados os Projetos propostos com as seguintes informações:

- **PROJETOS:** campo onde constam os códigos e títulos dos projetos a serem desenvolvidos com vistas a cumprir o programa como um todo, sendo que esses códigos já se vinculam ao código do programa, cada qual seguido de uma numeração exclusiva. Conforme definido por Oliveira (2012), projeto “é um trabalho com datas de início e término previamente estabelecidas, coordenador responsável, resultado final predeterminado e no qual são alocados os recursos necessários para seu desenvolvimento”.
- **CÓDIGO (DO PROJETO):** campo onde consta a codificação do projeto, também correspondendo ao código já estabelecido para o projeto vinculado na ficha do programa.
- **AÇÕES:** campo onde se descrevem etapas ou atividades previstas para serem desenvolvidas, com vistas a atingir o objetivo do projeto. Preferencialmente, essas atividades são colocadas em uma ordenação sequencial lógica para a consecução do projeto como um todo.
- **RESULTADOS ESPERADOS / INDICADORES:** Os resultados esperados se constituem de forma prática e objetiva, a quantificação e/ou qualificação no que diz respeito ao que se pretende alcançar, em termos sociais, econômicos, sanitários, de saúde ou ambientais. Os indicadores servirão como referência para avaliação do alcance do projeto.
- **PRAZO (início e conclusão):** Esse item será importante para compor o cronograma de execução, identificando temporalmente a ação e seu nível de prioridade. Para a definição de prazos viáveis de execução, devem ser ponderadas questões relativas à prioridade de execução, recursos disponíveis e os que serão demandados pelo projeto, incluindo os financeiros, de materiais e mão de obra.
- **OBSERVAÇÕES:** campo destinado a conter advertências e lembretes que sejam fundamentais para a execução do programa.

O cronograma caracteriza-se por ser uma planilha onde constam todos os programas e projetos, os períodos em que deverão ser executados e as respectivas prioridades. As codificações adotadas nas fichas serão adotadas diretamente no cronograma, como forma de ajudar na organização das informações e criar um sistema que agilize e facilite a busca indexada para avaliar o andamento das ações. O exemplo de cronograma é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Exemplo de cronograma

Programas	Projetos	2020		2021		2022		2023		2024	
		1º sem.	2º sem.								

O cronograma deve compor um cartaz ou um painel de dimensões suficientes para congrega todos os programas, projetos e ações, bem como todo o horizonte de planejamento. Dessa forma, servirá como ferramenta para as lideranças municipais avaliarem periodicamente como estão os andamentos das ações que compõem cada projeto.

Resultado: Sistematização das Propostas

As fichas com a sistematização dos programas, projetos e ações para o Projeto “Avaliação do sistema de escoamento superficial do arroio Barracão e vulnerabilidade e suscetibilidade ao risco de inundação” são apresentadas na sequência deste relatório, bem como o cronograma de execução.

As propostas são:

- 1) PROGRAMA: Gestão das Águas

PROJETOS ASSOCIADOS

Gestão 1 - **Melhorias no escoamento**

Gestão 2 - **Controle do escoamento de água da chuva**

Gestão 3 - **Recuperação das APPs**

Gestão 4 - **Pagamento por Serviços Ambientais – PSA**

Gestão 5 - **Melhorias nas práticas agrícolas**

2) PROGRAMA: Zonas de Risco

PROJETOS ASSOCIADOS

ZR 1 - **Ações preventivas e de contingência**

ZR 2 - **Plano de remoção de famílias e edificações localizadas nas APPs**

3) PROGRAMA: Mobilização, Participação Social e Comunicação

PROJETOS ASSOCIADOS

Social 1 - **Sensibilização sobre a relevância dos Programas, Projetos e Ações**

Social 2 - **Comunicação e transparência**

As propostas apresentadas são aquelas consideradas de maior prioridade e relevância, porém outras devem ser acrescentadas conforme o poder público e técnicos considerarem importantes, de acordo com a realidade municipal.



MUNICÍPIO DE
Guaporé

PROGRAMA:

Gestão das Águas

CÓDIGO:

GESTÃO

JUSTIFICATIVA:

O Município de Guaporé, periodicamente, registra situações de alagamentos e inundações em alguns trechos urbanos, como identificado nos levantamentos e diagnóstico realizado. As referidas situações alertam para a uma condição crônica da região, a qual necessita de informações técnicas para a mitigação dos efeitos adversos da precipitação, associado a ocupação irregular de áreas sensíveis, expansão das áreas impermeabilizadas e lançamento de efluentes que provocam um desequilíbrio hidrológico. Tendo como referência os dados obtidos, é proposto o Programa Gestão das Águas. O referido Programa, tem como meta desenvolver um conjunto de atividades estruturais e não-estruturais para atenuar ou até mesmo evitar os alagamentos e inundações.



PROGRAMA: Gestão das Águas		CÓDIGO: GESTÃO
Projeto: Melhorias no escoamento		Código: Gestão - 1
Ações vinculadas	Resultados esperados / Indicador	Prazo (início e conclusão)
1.1. Desassoreamento, aumento da altura/profundidade do canal com muros e diques de contenção.	A ser realizado em trechos mais críticos do canal do recurso hídrico com área livre e aberta, para adequada vazão das águas do arroio.	1º sem. 2020 / contínuo
1.2. Cadastro georreferenciado do Sistema de Micro e Macrodrenagem do município e identificação das redes deficitárias	Elaboração de ferramenta digital (Mapa digital), com informações atualizadas do sistema de micro e macrodrenagem do município.	2º sem. 2020 / 2º sem. 2022
1.3. Adequação da rede de drenagem.	Substituição de 100% das redes de drenagem deficitárias.	2º sem. 2021 / 2º sem. 2030
1.4. Adequação das galerias de drenagem associadas as pontes.	Número de galerias a serem adequadas conforme Anexo 4. Galerias de drenagem associadas as pontes.	1º sem. 2021 / 2º sem. 2030
Observações: Utilizar como referência as Figura 44. Análise hierárquica de processo nas áreas de registro de alagamentos e Figura 51. Rede pluvial de Guaporé, Figura 52. Mapa de Áreas de Ações – Recomendações e Anexo 4. Galerias de drenagem associadas as pontes.		

PROGRAMA: Gestão das Águas		CÓDIGO: GESTÃO
Projeto: Controle do escoamento de água da chuva		Código: Gestão - 2
Ações vinculadas	Resultados esperados / Indicador	Prazo (início e conclusão)
2.1. Elaboração de Projetos de implantação de reservatórios de detenção de cheias nas áreas de influência do Arroio Barracão, Arroio Cristo Redentor e Arroio Curtume.	Projeto definindo a quantidade, localização, forma e tamanho dos reservatórios de detenção.	2º sem. 2020 / 2º sem. 2021
2.2. Realização de obras para implantação dos reservatórios de detenção, conforme definido no projeto elaborado (item 1 – anterior)	Implantação de no mínimo um reservatório de detenção na área de influência de cada um dos Arroios Barracão, Cristo Redentor e Arroio Curtume	1º sem. 2022 / 2º sem. 2025
2.3. Incentivo a instalação de sistemas de coleta de água da chuva – microreservatórios.	Elaboração de documento jurídico que determine os tipos e as formas de concessão de incentivos para residências e empreendimentos que instalem os microreservatórios.	1º sem. 2021 / 2º sem. 2022.
2.4. Análise urbanística para redução da taxa de impermeabilização de áreas públicas e posicionamento para valas e poços de infiltração, bem como ampliação das áreas com vegetação.	Redução de 10-50% da área pública impermeabilizada total existente.	1º sem. 2022 / contínuo
2.5. Avaliação dos percentuais de manutenção de área permeável propostos pelo Plano Diretor, considerando a mancha de inundação.	Alteração do texto do Plano Diretor e elaboração de instrumento jurídico que determine o percentual da área de terreno, para novas construções, que deve ser mantida sem impermeabilização.	1º sem. 2021 / 2º sem. 2021
2.6. Incentivo a redução da taxa de impermeabilização de áreas privadas já construídas.	Redução de 10-20% da área privada impermeabilizada total existente.	1º sem. 2022 / contínuo
Observações: As ações propostas neste Projeto devem ter como referência as áreas destacadas na Figura 52. Mapa de áreas de ações – Recomendações. Essas estruturas estão previstas no Art. 56, Inciso VIII do Plano Diretor. Para as ações 2.3 e 2.4 considerar o apresentado no Apêndice 2 – Classes de permeabilidade do solo presentes no zoneamento do plano diretor municipal com relação a bacia de estudo e os registros de alagamento.		



PROGRAMA: Gestão das Águas		CÓDIGO: GESTÃO
Projeto: Recuperação das APPs		Código: Gestão - 3
Ações vinculadas	Resultados esperados / Indicador	Prazo (início e conclusão)
3.1. Recuperação das nascentes	Recuperação das 8 áreas de nascentes, contemplando a distribuição e plantio de mudas, cercamento das nascentes.	2º sem. 2020 / 1º sem. 2022
3.2. Recuperação das APPs nos trechos das áreas rurais dos Arroios Cristo Redentor, Barracão e Curtume, conforme determinado no Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651/12).	12,58% ou 5,65 ha de APPs (área de solo exposto + vegetação rasteira) do curso hídrico principal recuperadas no período de curto prazo. 36,20% ou 16,25 ha de APPs (estrada + mata exótica + agricultura) do curso hídrico principal recuperadas no período de médio prazo. 0,29% ou 0,13 ha de APPs (edificações) do curso principal no período de longo prazo.	2º sem. 2021 / 2º sem. 2030
3.3. Recuperação das APPs nos trechos das áreas urbanas dos Arroios Cristo Redentor, Barracão e Curtume, conforme determinado no Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651/12), quando viável e caso não seja viável, implantação dos Parques Lineares.	21,38% ou 10,36 ha de APPs (área de solo exposto + vegetação rasteira) do curso hídrico principal recuperadas no período de curto prazo. 31,21% ou 15,12 ha de APPs (estrada + mata exótica + agricultura) do curso hídrico principal recuperadas no período de médio prazo. 16,76% ou 0,13 ha de APPs (edificações) do curso principal no período de longo prazo.	2º sem. 2021 / 2º sem. 2030
Observações: As nascentes a serem recuperadas estão apontadas na Figura 23. Nascentes e na Figura 52. Mapa de Áreas de Ações – Recomendações. As Áreas de Preservação Permanente que precisam ser recuperadas estão apresentadas na Figura 22. Uso e cobertura do solo nas áreas de preservação permanente e na Tabela 7. Distribuição do uso e cobertura do solo nas áreas de preservação permanente.		



PROGRAMA: Gestão das Águas		CÓDIGO: GESTÃO
Projeto: Pagamento por Serviços Ambientais - PSA		Código: Gestão - 4
Ações vinculadas	Resultados esperados / Indicador	Prazo (início e conclusão)
4.1. Elaboração do Projeto Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) e da origem dos recursos.	Projeto de PSA.	2º sem. 2020 / 2º sem. 2021
4.2. Revisão e adequação do Projeto do PSA.	Documento de Revisão do PSA.	1º sem. 2025 / 2º sem. 2025
<p>Observações: Na Proposta da Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais, é previsto no item regulação, o controle de processos erosivos, controle do escoamento das águas por meio da restauração da vegetação e redução da poluição. O projeto deve envolver e beneficiar as propriedades que protejam suas APPs e nascentes, bem como outras ações que visem a conservação dos recursos hídricos.</p>		



PROGRAMA: Gestão das Águas		CÓDIGO: GESTÃO
Projeto: Melhorias nas práticas agrícolas		Código: Gestão - 5
Ações vinculadas	Resultados esperados / Indicador	Prazo (início e conclusão)
5.1. Elaboração de Projeto de Proposições para aplicação de práticas agrícolas sustentáveis, aplicada a realidade do município, com base no apresentado item 2.3.11.5 Práticas agrícolas para controle da erosão.*	Projeto de Proposições para aplicação de práticas agrícolas	2º sem. 2020 / 1º sem. 2021
5.2. Definição de incentivo municipal para as proposições resultantes da ação número 5.1.	Documento da Secretaria Municipal da Agricultura definindo formas de incentivo	1º sem. 2021 / contínuo
Observações: *Desenvolvimento e execução em conjunto com Secretaria Municipal de Agricultura, EMATER e Sindicatos Rurais.		



MUNICÍPIO DE
Guaporé

PROGRAMA:
Zonas de Risco

CÓDIGO:
ZR

JUSTIFICATIVA:

O Programa de Gestão das Águas tem como objetivo evitar ou minimizar os alagamentos e inundações na área urbana do município, no entanto é importante lembrar que as obras estruturais são projetadas com base na vazão do projeto, sendo assim na ocorrência de precipitações com volumes atípicos, superiores a vazão do projeto, inundações podem vir a ocorrer. Dessa forma é importante a execução de ações de retirada de edificações e residências das áreas de risco, com vistas a preservação da vida das pessoas.



PROGRAMA: Zonas de risco		CÓDIGO: ZR
Projeto: Ações preventivas e de contingência		Código: ZR - 1
Ações vinculadas	Resultados esperados / Indicador	Prazo (início e conclusão)
1.1. Levantamento de informações, cadastramento, e georreferenciamento das edificações localizadas nas APPs.	100% das edificações localizadas nas APPs cadastradas e georreferenciadas.	2º sem. 2020 / 2º sem. 2021
1.2. Elaboração do Plano de Contingência para as zonas localizadas nas áreas da mancha de inundação.	1 plano de contingência, aprovado em audiência pública.	1º sem. 2022 / 2º sem. 2022
1.3. Implantação de Parques Lineares ao longo dos cursos da água no trecho urbano.*	Projeto de implantação, calendário de execução e relatório de acompanhamento e fiscalização assinado por profissional técnico com emissão de Anotação de Responsabilidade Técnica.	1º sem. 2021 / 2º sem. 2025
1.4. Avaliação e adequação do Plano Diretor para o uso e ocupação de zonas de riscos	Aprovação de instrumento normativo com alterações no Plano Diretor, que contemple a nova definição de uso e ocupação nas zonas de risco.	1º sem. 2021 / 2º sem. 2022
1.5. Sistema de comunicação de eventos de cheias para resposta rápida, integrado ao sistema existente da defesa civil, caso já exista.	Sistema de comunicação de eventos de cheias.	1º sem. 2021 / contínuo
<p>Observações: A ação 1.1 deve ser orientada pelos dados apresentados na Tabela 8. Edificações inseridas nas Áreas de Preservação Permanente.</p> <p>* Implantação de Parques Lineares ao longo dos cursos da água, tem como objetivo aumentar a área com permeabilidade do solo, onde não é possível recuperar a APP. O uso destas áreas para recreação e lazer, acaba por exercer um papel de fiscalização, evitando invasão destas áreas, bem como serão utilizados como bacias de contenção.</p>		



PROGRAMA: Zonas de risco		CÓDIGO: ZR
Projeto: Plano de remoção de famílias e edificações localizadas nas APPs		Código: ZR - 2
Ações vinculadas	Resultados esperados / Indicador	Prazo (início e conclusão)
2.1 Definição da cronologia de remoção das famílias e edificações em zonas de risco.	Relatório contendo informações diversas sobre a construção, documentação da propriedade e do proprietário, nº de pessoas afetadas, localização georreferenciada, justificativa e cronograma.	1º sem. 2023 / 2º sem. 2023
2.2. Elaboração do Plano de Reassentamento, Remanejamento e Relocação das famílias.	Documento contendo orientações das etapas a serem cumpridas e beneficiários.	2º sem. 2023 / 1º sem. 2024
2.3. Execução do Plano de Reassentamento, Remanejamento e Relocação das famílias.	Relatório com comprovantes da execução das etapas do Plano.	2º sem. 2024 / 2º sem. 2030
<p>Observação: Com a construção das bacias de detenção serão alteradas as áreas de risco. Sendo assim, este projeto está previsto para depois da instalação das bacias de detenção e definição das novas áreas de risco. O envolvimento da população na tomada de decisão e execução das ações é primordial para a garantia do sucesso das mesmas, dessa forma deixa-se como sugestão a realização de fóruns de discussão com os líderes comunitários e segmentos sociais de todo o município e principalmente com a população afetada.</p>		



MUNICÍPIO DE
Guaporé

PROGRAMA: Mobilização, Participação Social e Comunicação	CÓDIGO: SOCIAL
JUSTIFICATIVA: <p>O envolvimento e participação da população como um todo, é importante para fiscalizar e contribuir na execução dos Projetos e Ações propostas. A sensibilização e mobilização social requerem o amplo acesso à informação para engajamento e qualificação da comunidade e de segmentos sociais organizados. Dentro deste contexto o referido programa tem como objetivo apresentar projetos que permitam mobilizar, engajar e comunicar a população das ações estruturantes e estruturais definidas para minimizar os impactos provocados pelas inundações e alagamentos em diversas regiões do município de Guaporé.</p>	



PROGRAMA: MOBILIZAÇÃO, PARTICIPAÇÃO SOCIAL E COMUNICAÇÃO		CÓDIGO: SOCIAL
Projeto: Sensibilização sobre a relevância dos Programas, Projetos e Ações		Código: Social - 1
Ações vinculadas	Resultados esperados / Indicador	Prazo (início e conclusão)
1.1. Capacitação dos agentes de saúde/assistência social dos bairros afetados, para divulgação porta a porta, do trabalho desenvolvido e das ações a serem executadas.	100% dos agentes de saúde dos bairros: Planalto, Canecão, Nossa Senhora da Saúde, Centro e Pinheirinho, capacitados e informados sobre o planejamento e andamento das ações.	2º sem. 2021 / contínuo
1.2. Educação para a disposição correta de resíduos sólidos e influência na ocorrência de alagamentos.	Material informativo impresso ou digital, programas de rádio e jornais locais.	1º sem. 2021 / contínuo
1.3. Educação da função ecológica e hídrica das APPs e nascentes.*	Material informativo impresso ou digital, programas de rádio e jornais locais.	1º sem. 2021 / contínuo
1.4. Educação sobre os motivos das inundações e o comportamento da Bacia para as escolas.	Material informativo impresso ou digital para as escolas com os mapas e informações sobre a bacia – geografia do município os recursos hídricos e as áreas de inundação.	2º sem. 2020 / contínuo
1.5. Divulgação do Projeto de PSA.	Adesão de 10 propriedades ao Projeto de PSA por ano, nos 10 primeiros anos de execução do Plano.	2º sem. 2021 / contínuo
1.6. Disseminação de informações sobre Práticas Agrícolas Sustentáveis aos agricultores. *	2 eventos municipais anuais sobre práticas agrícolas sustentáveis, nos primeiros 2 anos do Projeto. Posteriormente 1 evento por ano.	1º sem. 2021 / contínuo
Observações: * pode ser desenvolvida em conjunto com a EMATER e Sindicatos Rurais. Está relacionada as ações propostas no Projeto Código: Gestão 5.		



PROGRAMA: MOBILIZAÇÃO, PARTICIPAÇÃO SOCIAL E COMUNICAÇÃO		CÓDIGO: SOCIAL
Projeto: Comunicação e transparência		Código: Social - 2
Ações vinculadas	Resultados esperados / Indicador	Prazo (início e conclusão)
2.1. Emissão de notas, comunicados e relatórios em meios de comunicação como rádio, jornal, redes sociais e sites, das propostas, ações realizadas, custos e resultados alcançados.	Registro de todas as ações de comunicação realizadas.	2º sem. 2020 / contínuo
2.2. Divulgação de proposta de incentivo dado pelo poder público para terrenos que aumentarem o índice de permeabilidade e para instalação de coletores de água da chuva e de microreservatórios.	Número de protocolos para obtenção de auxílio do poder público para ampliação de área permeável nos terrenos e instalação de coletores de água da chuva e microreservatórios.	2º sem. 2022 / contínuo
2.3. Monitoramento e divulgação dos resultados do PSA.	Divulgação do balanço dos resultados obtidos no PSA.	1º sem. 2023 / contínuo
Observações:		

