

Termo de Referência

Estudos Hidrológicos e Projetos de Macrodrenagem e Prevenção de Inundações e Alagamentos na Microbacia do Bairro Várzea

FASE I

Diagnóstico da Rede de Micro e Macrodrenagem e Estudos Hidrológicos e de Prevenção de Inundações na Microbacia do Bairro Várzea

Sumário

1. Objeto.....	4
2. Descrição do Problema.....	4
2.1. Introdução.....	4
2.2. Rede Hidrográfica.....	9
2.3. Rede de Macro e Microdrenagem.....	11
3. Estudo de Concepção.....	13
3.1. Estudos Prévios.....	13
3.2. Modelagem Hidrológica e Hidráulica.....	16
3.3. Medidas de Prevenção de Inundações.....	19
4. Caracterização dos Estudos e Produtos a Serem Entregues.....	20
4.1. Área de abrangência.....	20
4.2. Frentes de Trabalho.....	22
4.2.1. Evento 1 – Plano de Trabalho Detalhado.....	22
4.3. Frente de Trabalho 1 – Levantamentos Topográficos e Cadastrais.....	23
4.3.1. Evento 2 – Mobilização e Administração – Levantamentos Topográficos e Cadastrais	23
4.3.2. Evento 3 – Levantamento Topocadastral da Rede Pluvial.....	24
4.3.3. Evento 4 – Relatórios Qualitativos da Rede e Croquis de Interferências.....	27
4.4. Topografia e Topobatimetria.....	29
4.4.1. Evento 5 – Modelo Digital de Terreno e Aerofotogrametria.....	29
4.5. Topobatimetria.....	34
Equipe mínima:.....	34
Equipamentos Mínimos Requeridos.....	35
Contribuintes a Levantar.....	35
Produtos a Entregar na Topo batimetria.....	36
4.5.1. Evento 6 – Topobatimetria do Rio Pardinho;.....	38
Cronograma Proposto para os Serviços de Topobatimetria do Evento 6.....	38
4.5.2. Evento 7 – Topobatimetria dos Arroios Lajeado, Jucuri e Sanga Preta.....	40
Cronograma Proposto para os Serviços de Topobatimetria do Evento 6.....	41
4.6. Frente de Trabalho 2 – Estudo Hidrológico e Medidas de Prevenção e Reação a Eventos Climáticos.....	43
4.6.1. Estudo Hidrológico.....	43
Pluviometria.....	43
Fluviometria.....	44
4.6.2. Estudo e Detalhamento Do Problema.....	44
4.6.3. Evento 8 – Mobilização e Administração dos Serviços – Estudo hidrológico.....	48
4.6.4. Evento 9 – Instalação da Rede e Monitoramento.....	49
4.6.5. Modelagem Hidráulica e Hidrológica.....	50
4.6.6. Evento 10 – Modelagem Da Microdrenagem (SWMM).....	51
Modelagem da Rede de Microdrenagem:.....	52
Modelo Digital (SWMM).....	52
Entregas.....	54
4.6.7. Evento 11 – Modelagem da Macrodrenagem e Áreas de Inundação (HEC RAS e HEC HMS) e Alagamento (SWMM).....	54
Modelagem Hidrológica com HEC-HMS.....	54
Modelagem Hidráulica 2D com HEC-RAS:.....	57

Análise e Validação dos Resultados:.....	58
Entregas:.....	59
4.6.8. Evento 12 - Retroanálise – Efeitos da Inundação pelo Rio Pardinho nas Macro e Microdrenagens.....	59
Simulação da Cheia de Maio de 2024.....	60
Comparação dos Resultados da Simulação com os Dados Observados.....	60
Entrega:.....	61
4.6.9. Evento 13 – Elaboração de Manchas de Inundação e Cotas de Monitoramento.....	61
Entregas:.....	63
4.6.10. Evento 14 – Determinação das Cotas e Zonas de Inundação.....	63
Determinação das Cotas de Inundação.....	64
Delimitação das Zonas de Inundação.....	64
Análise de Vulnerabilidade.....	65
Entregas.....	65
4.6.11. Evento 15 – Modelagem de Alternativas para Redução e Contenção de Cheias.....	66
Metodologia.....	67
Entregas.....	68
4.6.12. Evento 16 – Treinamento e Capacitação do Corpo Técnico.....	69
1. Módulo HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) - 40 horas.....	70
2. Módulo HEC-RAS (River Analysis System) - 40 horas.....	71
3. Módulo SWMM (Storm Water Management Model) - 40 horas.....	72
4. Módulo QGIS Aplicado aos Recursos Hídricos – 40 horas.....	73
Entrega:.....	74
4.7. Investigação Geotécnica Preliminar.....	75
Evento 17 – Investigação Geotécnica Preliminar.....	75
Ensaaios Geotécnicos Preliminares.....	79
Produtos a Entregar.....	79
5. Considerações Finais.....	81
6. Responsabilidade Técnica.....	81
7. Referências Bibliográficas.....	82

1. Objeto

O presente termo de referência tem como objeto a realização de estudos hidrológicos, hidráulicos e a elaboração de projetos executivos de ações estruturais e não estruturais, que permitam a execução por meios próprios ou terceiros contratados de ações de mitigação dos efeitos de inundações e cheias dos cursos d'água e canais de macrodrenagem que correm nas imediações do bairro Várzea, em Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul.

2. Descrição do Problema

2.1. Introdução

O bairro Várzea é formado por duas ocupações urbanas bem definidas, o núcleo mais urbanizado, junto à BR 471, em sua margem oeste, um núcleo residencial junto à margem Leste do Rio Pardinho, chamado historicamente de Praia dos Folgados. Esse segundo núcleo se iniciou como um local de veraneio para as famílias que residiam no centro de Santa Cruz do Sul, sendo ao longo dos anos consolidado como local de residência fixa.

Localizado entre o Rio Pardinho e a BR 471, o bairro se dentro do leito maior do Rio Pardinho, limitado por um dique antrópico – a rodovia – dessa forma, sofre rotineiramente com extravasamentos do Rio Pardinho e dos outros cursos d'água naturais que lhe entrecortam, o Arroio Lajeado – retificado e que recebe a drenagem pluvial de boa parte do município e o Arroio Lajeadinho, que cruza a rua Irmão Emílio, entre os dois núcleos urbanos do bairro. Nesse contexto, há fartos registros de transtornos e ocorrências de inundações com perdas materiais e desabrigados em eventos de alta pluviometria, que tem se tornado cada vez mais intensos. Como exemplo, pode-se citar grandes ocorrências de 2015¹, 2023² e 2024³.

De acordo com dados do cadastro técnico municipal, no evento de maio de 2024, foram atingidas 3123 edificações – residências, comércios, equipamentos públicos, entre outros – na região cuja mancha de inundação foi mapeada. Esse número pode ser maior, uma vez que imóveis irregulares não cadastrados também foram atingidos. A Figura 1 traz um panorama do problema, de acordo com os registros realizados pela equipe de topografia da então Secretaria Municipal de Planejamento e Governança.

1 <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2015/07/rio-transborda-e-atinge-residencias-em-santa-cruz-do-sul-4801351.html>

2 <https://portalarauto.com.br/05-09-2023/fotos-veja-como-esta-a-situacao-no-bairro-varzea-em-santa-cruz-do-sul/>

3 <https://www.gaz.com.br/fotos-bairros-varzea-e-schulz-seguem-com-pontos-de-inundacao/>

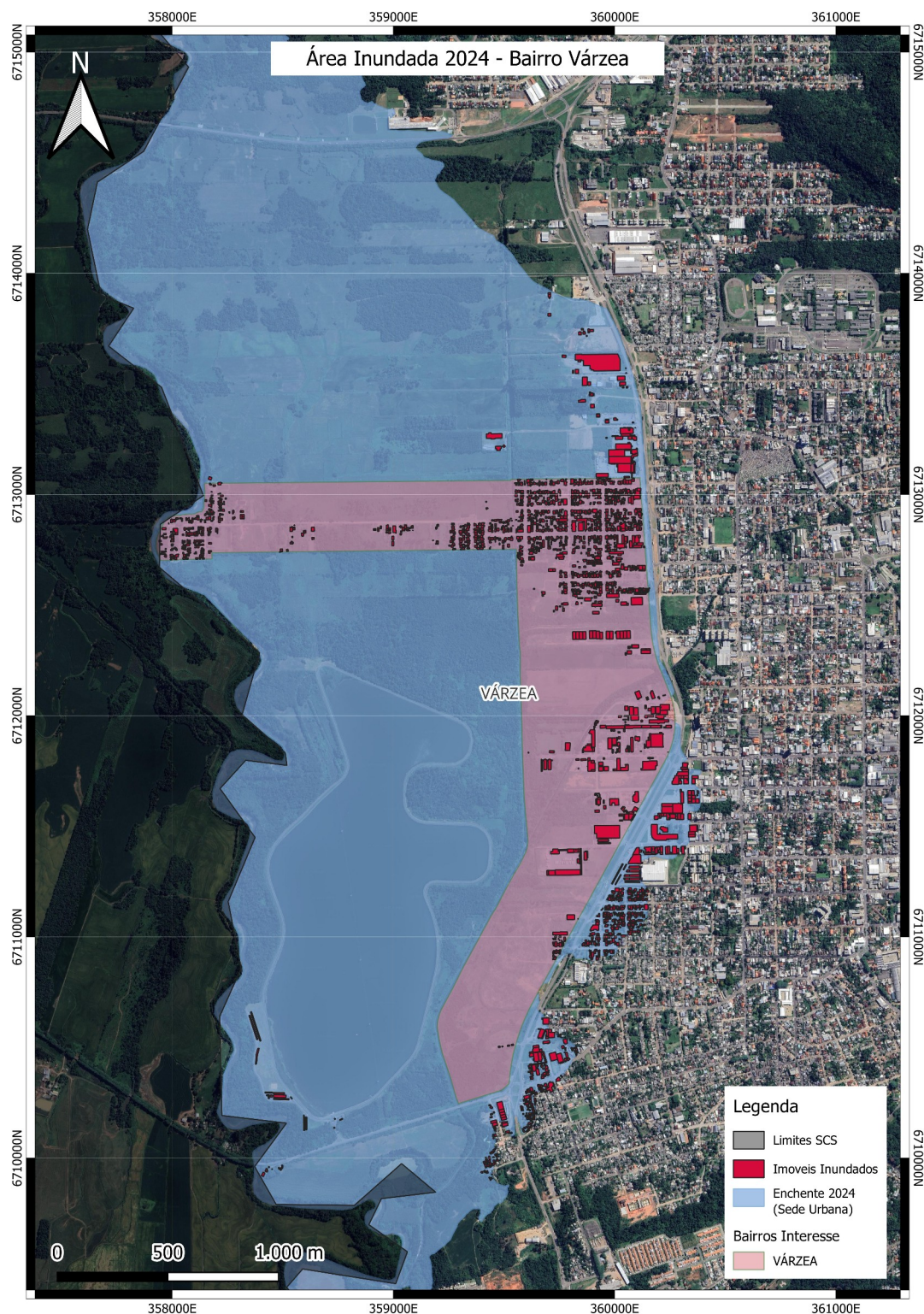


Figura 1: Área inundada no distrito sede de Santa Cruz do Sul. Fonte: Secretaria Municipal de Planejamento e Governança (2024);

Por ser um problema recorrente, historicamente diversas alternativas foram testadas, a mais drástica ocorreu no início dos anos 2000, quando a municipalidade instalou “piscinões” e ergueu a cota da Rua Irmão Emílio e reservou – sem desapropriações ou limitação física do uso dessas áreas – volumes de terreno como local de detenção das cheias do Rio Pardinho. Com aproximadamente 16.000.000,00 m³ (16 milhões de m³), a capacidade de retardo das cheias do Rio Pardinho, que segundo estudo de 2018, realizado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), possui uma vazão em cheias de Tempo de Recorrência na forma da Tabela 1.

Tabela 1: Vazões máximas e períodos de retorno no rio Pardinho em Santa Cruz Montante (CORSAN, 2001 apud IPH, 2018)

Período de Retorno	6 meses	1 ano	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Vazão Máxima (m ³ /s)	178	207	71	98	334	361	388



Figura 2: Delimitação do projeto de piscinões no bairro Várzea.

Tabela 2: Tempos de amortecimento estimados dos piscinões implementados..

PERÍODO DE RETORNO	VAZÃO MÁXIMA (M ³ /S)	TEMPO DE AMORTECIMENTO (HH:MM)
6 meses	178	2h30m
1 ano	207	2h09m
5 anos	71	6h16m
10 anos	98	4h32m
25 anos	334	1h20m
50 anos	361	1h14m
100 anos	388	1h09m

Pelos dados da Tabela 2, percebe-se que apesar de extensa, a obra de engenharia já implementada no local tem pouco efeito para fins de mobilização e alerta da comunidade, uma vez que em prazos muito curtos os volumes de amortecimento são preenchidos – especialmente em eventos climáticos com tempo de retorno acima de 10 anos. E, na falta de um sistema robusto de monitoramento e alerta meteorológico na cabeceira do Rio Pardinho, não há tempo hábil para resgate dos moradores em situação de risco.

Medidas estruturais sugeridas pela IPH (2018) foram simplórias, basicamente de cunho sanitaria – visando a aceleração dos fluxos de drenagem pluvial, aumentando as tubulações de drenagem existentes, abrindo galerias sob a RS 409 – que funciona como dique, transformando a área em um grande polder. Essas medidas, vide Tabela 2, tem efeito nas inundações de baixos tempos de retorno, porém com o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, elas não serão efetivas como à época se esperava.

Assim, o presente termo de referência pretende dar as diretrizes técnicas de um grande estudo de macro e microdrenagem, acompanhado de estudo hidrológico e topo batimétrico das bacias de contribuição de drenagem que desembocam no bairro, dando embasamento para projetos estruturais e não estruturais que mitiguem os efeitos das inundações naturais do Rio Pardinho no bairro Várzea

2.2. Rede Hidrográfica

O local objeto desse termo de referência possui uma extensa e densa rede hidrográfica, típica de regiões de várzea, que recebe tanto a vazão natural do principal rio da região (Rio Pardinho) como também recebe águas dos Arroios Lajeado, Lajeadinho, Jucuri, Sanga Schultz e Sanga Branca.

A Figura 3 apresenta a rede hidrográfica da região objeto do presente termo de referência.

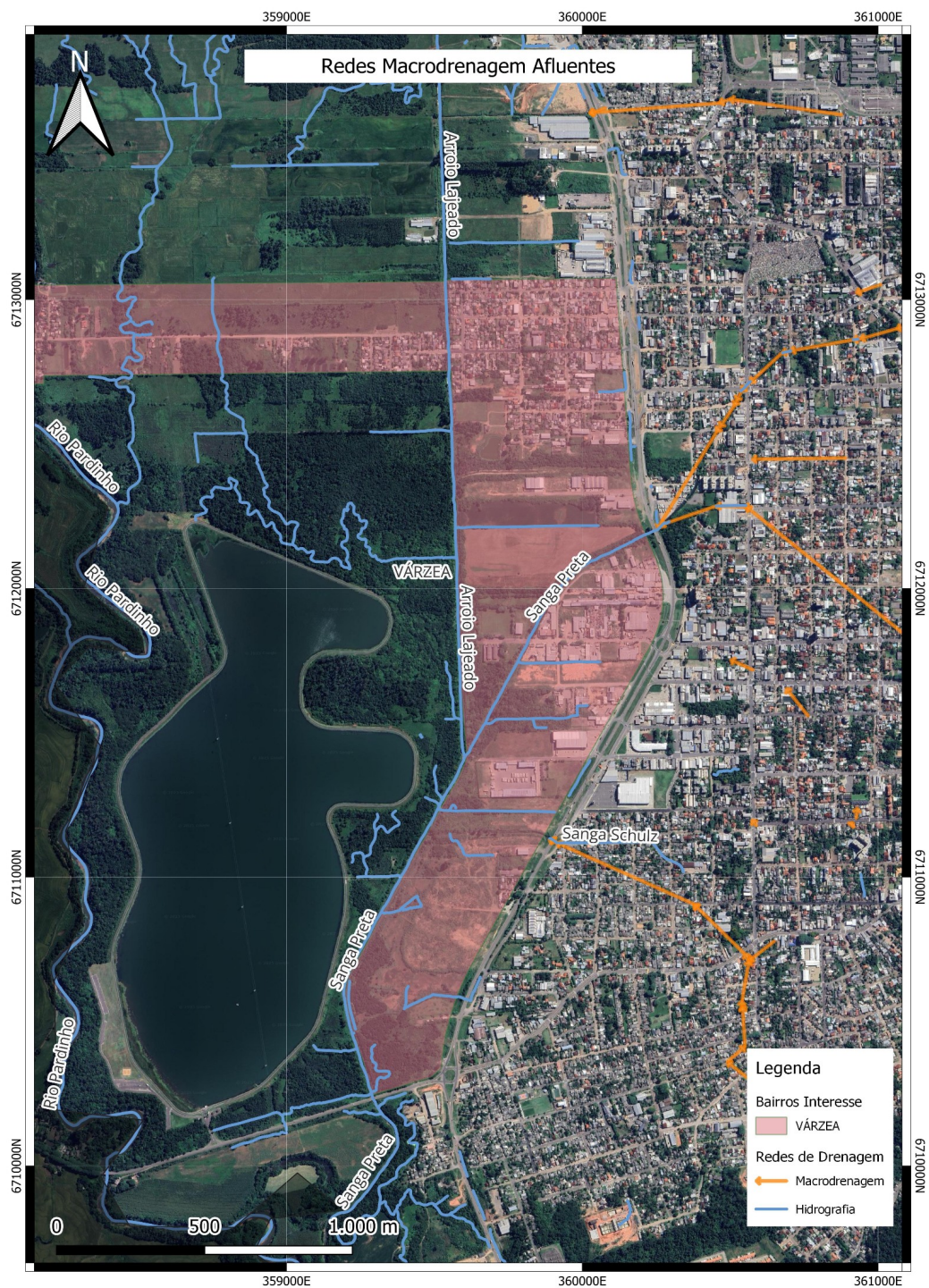


Figura 3: Hidrografia e redes de macrodrenagem que afluem ao bairro Várzea. Fonte: Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul.

2.3. Rede de Macro e Microdrenagem

Associada à rede hidrográfica, há uma significativa rede de macrodrenagem, historicamente formada por cursos d'água de diversos portes, retificados ou não, retidos tanto em galerias quanto em canais abertos. A Figura 3 mostra as redes de macrodrenagem que deságuam na microbacia do bairro Várzea.

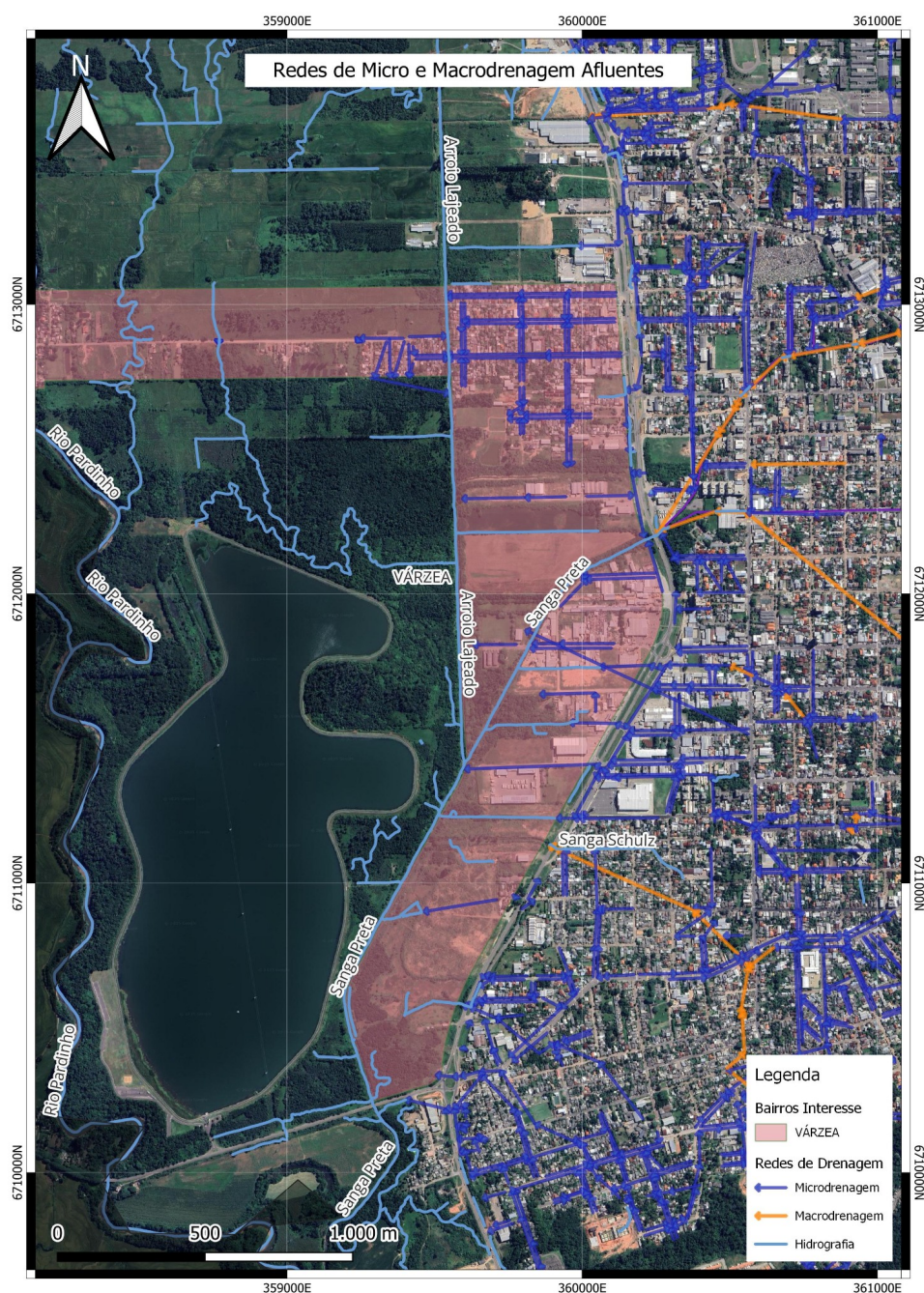


Figura 4: Redes de micro e macrodrenagem no bairro Várzea. Fonte: Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul.

Quanto à microdrenagem, os aportes se dão principalmente pelas redes de macrodrenagem mostradas na Figura 3, com acréscimo das redes locais do bairro e trechos a nordeste e leste, vindos do outro lado da BR 471 – configurando o formato de pôlder para toda a área. A Figura 4 relaciona as redes de micro e macro drenagem que deságuam no bairro.

A rede, que carece de uma inspeção qualitativa, por muitas vezes cruza terrenos particulares onde não houve manutenção de uma faixa não edificante – nos termos da Lei Federal nº 6.766/79 – nem das Áreas de Preservação Permanente (APP), que variaram de 5 m a 30 m mínimos, desde a elaboração do Código Florestal de 1965 até a promulgação da Lei Federal nº 7.511/86 – primeira a estabelecer os 30 metros mínimos de APP. A restrição de 30 metros como Área de Preservação Permanente se manteve na Lei Federal nº 12.651/12, e hoje é a distância que legalmente se deve respeitar nas margens de cursos d’água de origem natural – ou seja, vindos de afloramentos e nascentes – de acordo com o acórdão 613 do Superior Tribunal de Justiça e a decisão do Tema Recorrente 1.010, do mesmo tribunal.

Essa configuração hidrológica é a raiz do problema, onde tanto a drenagem urbana quanto a hidrografia contribuem para que a planície natural de inundação do Rio Pardinho tenha elevações rápidas e persistentes, uma vez que diversos Tempos de Concentração diferentes trazem vazões para a região em momentos próximos e subsequentes.

3. Estudo de Concepção

O presente termo de referência foi concebido por meio da análise de diversos trabalhos técnicos já realizados na área, que envolveram topografia, topo batimetria e modelagens hidrológicas. Entretanto, tais estudos, por não terem tido continuidade na implementação de ações estruturais, e após o evento climático de maio – que reconfigurou morfologicamente o leito do Rio Pardinho – carecem de atualizações e ampliações de seus escopos, e essa é a motivação técnica do presente Termo de Referência.

3.1. Estudos Prévios

Contratado pela municipalidade para avaliar influência da construção do Lago Dourado – lago artificial que serve de manancial de captação superficial para a concessionária de abastecimento de água que atua na cidade - nas inundações posteriores na região do bairro Várzea, este é o estudo mais completo de que dispõe a municipalidade.

Documento disponível ao contratado, produzido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ele calcula aportes de 2 afluentes, aplicada modelagem hidrológica (via HEC HMS e HEC RAS) e define uma mancha de inundação, com sugestões de ações de mitigação.

A Figura 5 traz a mancha de inundação delimitada pelo IPH.



Figura 5: Planície de inundação para TR = 100 anos. Fonte: IPH (2018).

Com um escopo mais amplo, mas de resultados parecidos, em 2008, o município encomendou um estudo, realizado pela STE Engenharia de Porto Alegre/RS, que também delimitou áreas com riscos de inundação para um tempo de retorno (TR) de 100 anos – Figura 6.

Ambos trabalhos trouxeram recomendações técnicas estruturais e estruturantes, porém a dinâmica de ocupação e mudanças naturais do local demandam atualização e ampliação dessas informações.

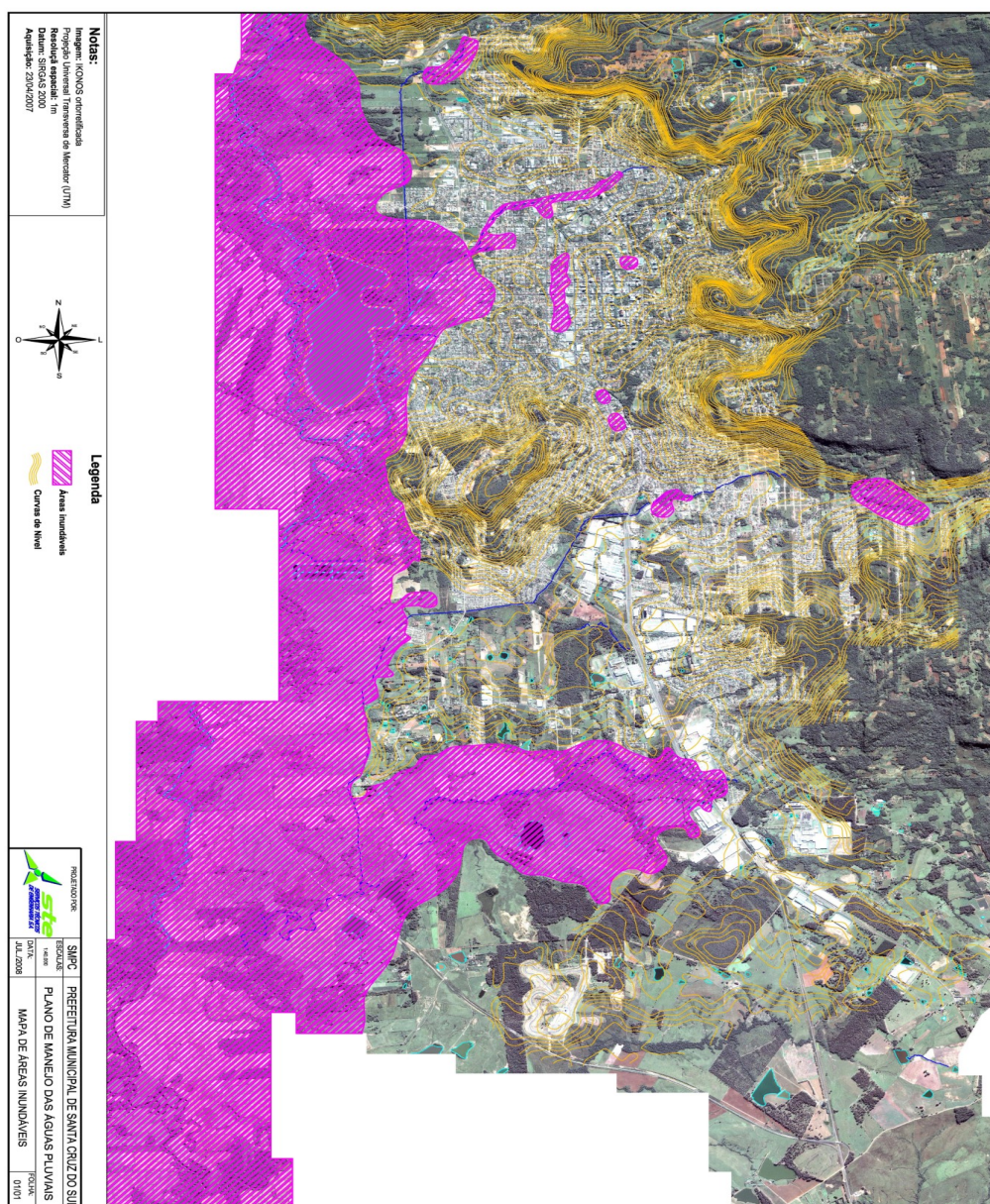


Figura 6: Áreas Inundáveis - Zona Urbana de Santa Cruz do Sul. Fonte: STE (2008).

Ainda, um dado interessante – e que vai ao encontro de outros estudos realizados na região sul do Brasil – é trazido pelo Plano de Gerenciamento da Bacia do Rio Pardo, da qual faz parte o Rio Pardinho, que mostra que eventos de chuva intensa, e também a média de precipitações anuais na bacia do Rio Pardinho, encontram-se em tendência de aumento (Figura 7).

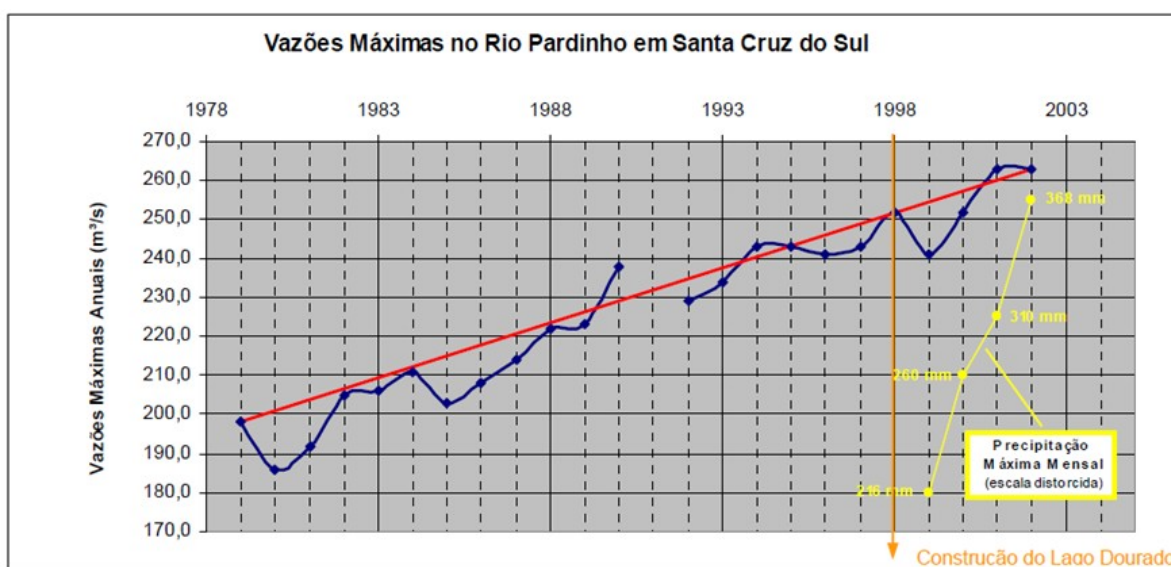


Figura 7: Tendência crescente das vazões diárias máximas no rio Pardinho em Santa Cruz Montante (SEMA 2005, apud IPH, 2018).

3.2. Modelagem Hidrológica e Hidráulica

A última modelagem hidrológica/hidráulica realizada na região constou no estudo do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), da UFRGS, em 2018. Apesar de um estudo complexo e rigidamente elaborado, ele tem sido alvo de questionamentos por parte do Ministério Público desde então, pelas conclusões acerca da pouca interferência da construção do Lago Dourado na região sob a intensidade das cheias. A Figura 8 mostra as seções de batimetria utilizadas no mesmo. A princípio, verifica-se que há meandros não mapeados, que invariavelmente serão ocultados durante o processamento, uma vez que o HEC RAS interpola de forma linear as distâncias e diferenças de formato entre as seções transversais.



Figura 8: Localização aproximada das seções topo batimétricas. IPH (2018).

Por meio desse modelo e utilizando como parâmetro de calibragem os dados da Defesa Civil do município sobre a inundação ocorrida em 2015, o estudo obteve para um TR de 100 anos a mancha de inundação mostrada na Figura 9.

Comparando a Figura 9 (abaixo) com a Figura 3 (mapa de hidrografia), uma informação que salta aos olhos é que as contribuições do Arroio Jucuri, Sanga Branca e Sanga Schultz não foram consideradas. Em TR's baixos, elas realmente podem ser desprezíveis, mas em eventos extremos, elas são canais de deságue da drenagem pluvial de mais de metade da área urbana do município, o que é ainda mais dramático em eventos de chuva prolongada, após saturação do solo e formação de

uma mancha de inundação a jusante da RS 409 – situação onde represamento e possível remanso deve ser avaliado. Assim, um novo estudo hidrológico deve ser capaz de determinar se há efeito de represamento e remanso, ou se tal efeito é desprezível para a concepção de projetos de engenharia para mitigação do efeito de cheias na região.

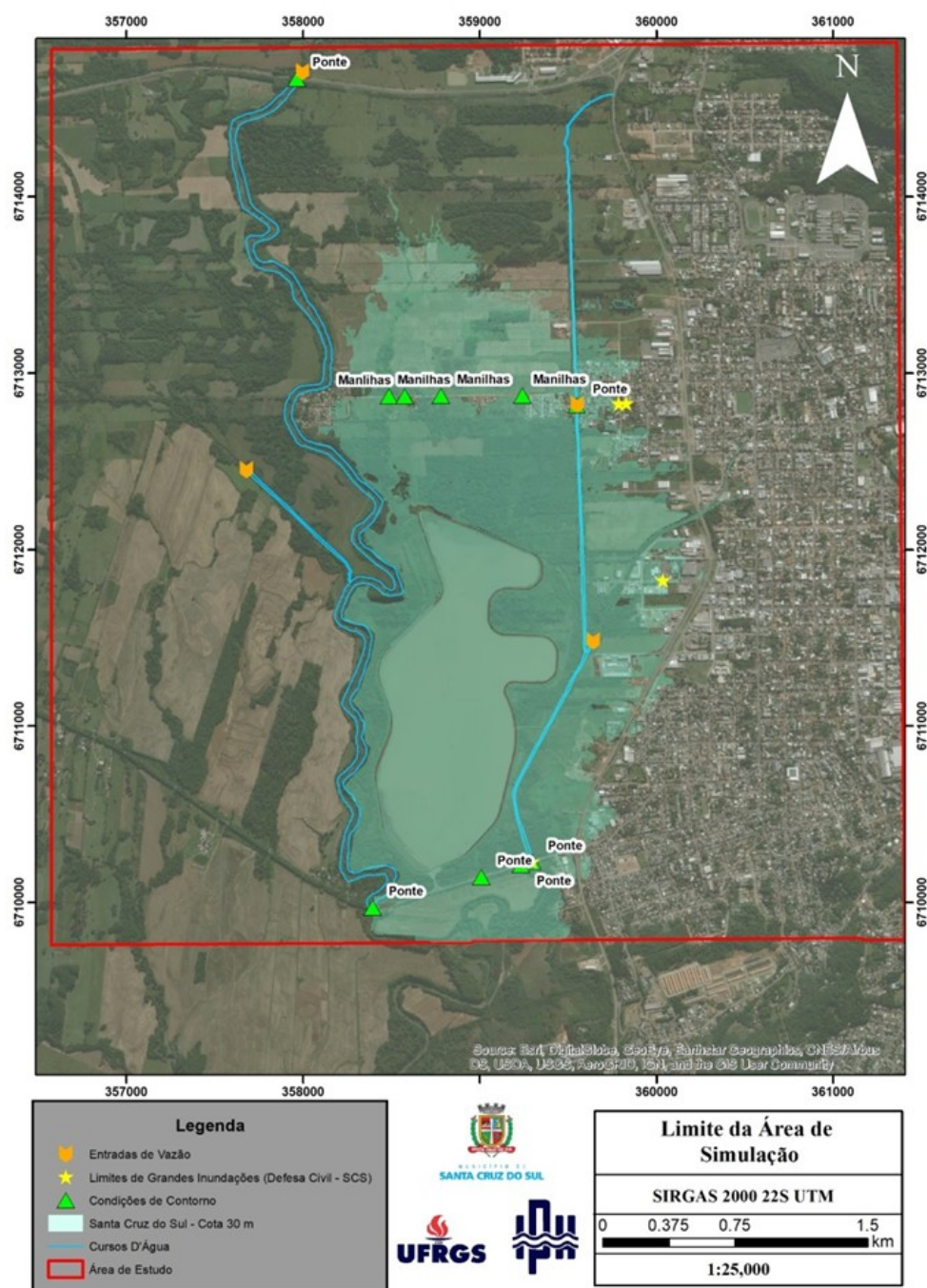


Figura 9: Pontes e manilhas do modelo na região do complexo do Lago Dourado. Fonte: IPH (2018).

3.3. Medidas de Prevenção de Inundações

De uma forma geral, as medidas estruturais e estruturantes passíveis de amenizar as cheias do Rio Pardinho na região do Bairro Várzea já foram mapeadas também por diversos estudos, mas nunca foram detalhadas até a fase de projeto executivo. Os estudos já citados, que auxiliaram na concepção desse Termo de Referência, elencaram as seguintes medidas:

Estruturais:

- Canalização de trechos críticos dos cursos d'água urbanos;
- Reservatórios de Amortecimento;
- Reservatórios para Laminação de Cheias no Rio Pardinho (envolvendo outros municípios);
- Aumento da condutância da cheia para além da RS 409 – implementação de mais galerias, erguimento sobre pilotis, etc;

Não estruturais:

- Zoneamento da passagem de cheias;
- Criação de Parques Lineares junto as Áreas de Preservação Permanente (APP's);
- Implementação de um sistema de alerta de cheias;
- Monitoramento das bacias representativas da zona urbana;
- Cadastramento das redes de micro e macrodrenagem;
- Levantamento do estado de conservação do sistema de drenagem;
- Plano de Recuperação do Sistema de Drenagem;
- Desassoreamento dos cursos d'água urbanos;
- Ações de educação ambiental.

Dessa forma, o presente termo de referência tenta aglutinar as diversas alternativas e recomendações técnicas apuradas ao longo dos anos e delimitar a realização de levantamentos topográficos, hidrológicos e aerofotogramétricos que embasem o subsequente, dentro do mesmo objeto de contrato, detalhamento de projetos estruturais e estruturantes para a mitigação das inundações na região alvo do trabalho. Na sequência, serão detalhados os levantamentos, estudos e produtos técnicos de engenharia e apoio à gestão para serem implementados em cronograma de trabalho a definir.

4. Caracterização dos Estudos e Produtos a Serem Entregues

4.1. Área de abrangência

A área de abrangência, em especial do levantamento topográfico via aerofotogrametria e sensoriamento remoto, equivale às principais bacias de contribuição para o bairro Várzea. Em função da geomorfologia da região, que é o ponto receptor das águas dos vales ao norte, ele recebe contribuições pluviométricas de extensas áreas. Para esse estudo se delimitou as áreas a serem levantadas com utilização do sistema de classificação de bacias hidrográficas adotado pela Agência Nacional de Águas (ANA), que o método de codificação de bacias criado por Otto Pfafstetter.

A região possui 4 principais afluentes: o Rio Pardinho, o Arroio Andreas, o Arroio Lajeado e o Arroio Jucuri. Pelo mapa de bacias ottocodificadas da ANA, o Arroio Andreas possui delimitação própria, e as demais estão contempladas inteiramente no caso dos arroios e parcialmente no caso do Rio Pardinho, por outras duas bacias de ottocodificação nível 7.

Adotou-se as bacias de ottocodificação nível 7 da Figura 10 de forma integral, uma vez que abrangem importantes contribuições difusas e permitirão também a avaliação dos efeitos de remanso e represamento que se observaram de forma empírica e informal durante a cheia de maio de 2024.

Sub bacia	Área (ha)
Rio Pardinho (Sub1 – Ottocodificada)	10898
Rio Pardinho (Sub2 – Ottocodificada)	18856
Arroio das Pedras	10797
Arroio Andreas	5899

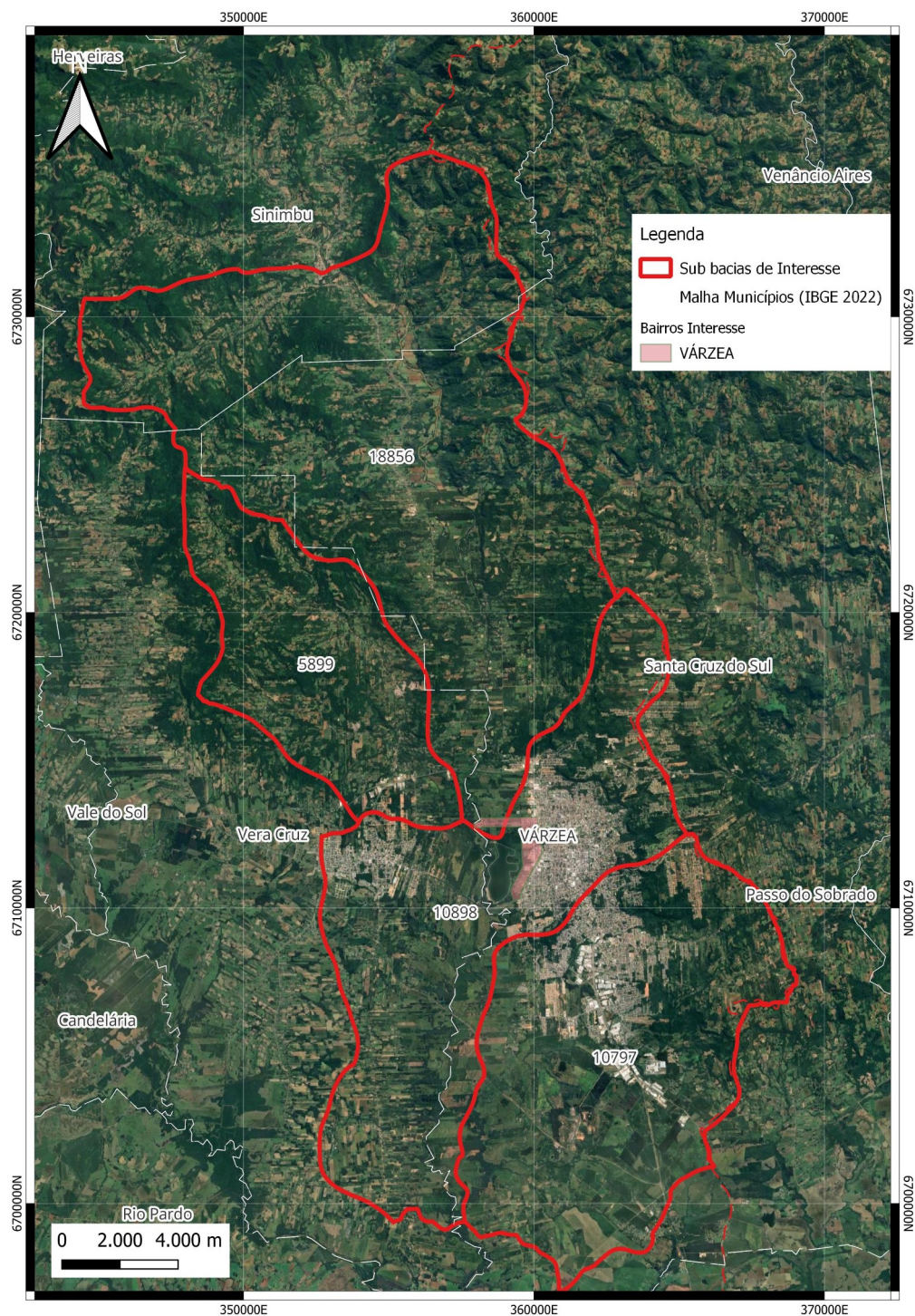


Figura 10: Bacias alvo do levantamento aerofotogramétrico.

4.2. Frentes de Trabalho

Por sugestão do órgão financiador, Caixa Econômica Federal (CEF), será adotado o sistema de Frentes de Trabalho e Eventos para o monitoramento e pagamento dos itens da planilha orçamentária. Abaixo, cada Frente de Trabalho será detalhada e dividida em eventos, que serão os marcos de evolução dos trabalhos e também dos respectivos pagamentos.

Ressalta-se que é facultado à CEF solicitar correções e informações complementares, a qualquer tempo. Os documentos deverão seguir as normas da ABNT aplicáveis, as especificações do Ministério Gestor e ainda obter aval da Caixa Econômica Federal, mandatária da União, sendo aplicáveis todas as normas técnicas pertinentes.

Há apenas um evento desassociado às frentes de trabalho, que é a elaboração do Plano de Trabalho Detalhado.

4.2.1. Evento 1 – Plano de Trabalho Detalhado

Descrição: Plano de trabalho, pormenorizando o objeto em etapas práticas – tão ou mais detalhadas que o eventograma – e relacionando o eventograma do Termo de Referência ao calendário vigente, a fim de controle por parte do contratante, contratado e órgão financiador (Caixa Econômica Federal – CEF) da evolução dos trabalhos.

O prazo para entrega do Plano de Trabalho Detalhado é de 20 dias, após dado o termo de início.

Produto a ser entregue: Plano de Trabalho Detalhado, em formato de documento em via digital assinada por responsável técnico do quadro efetivo da contratada, contendo, obrigatoriamente:

1. Cronograma associado ao calendário vigente de todos os itens do eventograma – podendo ser dividido em mais itens a fim de controle executivo interno, mas mantendo-se o cumprimento do eventograma deste TR como norteador dos pagamentos e avanço dos trabalhos;
2. Cronograma ajustado para o calendário corrente de cada Frente de Trabalho;
3. Fluxograma a execução do objeto;
4. Indicação dos serviços a serem executados pelo contratado e daqueles que serão subcontratados (terceirizados), para avaliação do contratante e do órgão financiador, nos termos do contrato;
5. Qualquer sugestão de ajuste do cronograma ou fluxograma, com justificativa técnica, a ser avaliada pelo contratante e pelo órgão financiador (CEF);

O Evento 1 se dará como ocorrido após aprovação da fiscalização do contrato e do órgão financiador (CEF).

4.3. Frente de Trabalho 1 – Levantamentos Topográficos e Cadastrais

4.3.1. Evento 2 – Mobilização e Administração – Levantamentos Topográficos e Cadastrais

O Evento 2 diz respeito a organização para coordenação e controle das equipes, prevendo o aluguel de veículos para uso em campo, um auxiliar administrativo para demandas burocráticas e gerenciamento do contrato, e um auxiliar técnico – aqui direcionado para a compilação dos dados de campo das duas equipes previstas, lançando em plataforma CAD e SIG os resultados obtidos em campo. Também prevê-se locação de espaço destinado a escritório, banheiro e vestiário para as equipes, e profissionais para serviços complementares.

O evento será remunerado por etapas, cada etapa correspondendo a um mês de mobilização e administração dos serviços. Assim, para medição e respectivo pagamento de 1/12 do valor total, devem ser entregues os seguintes produtos.

Produto a ser entregue:

Etapas 1:

Relatório de Mobilização, contendo no mínimo:

1. Lista dos trabalhadores envolvidos na Frente de Trabalho 1;
2. Localização da sede e alojamento (se houver) utilizada pela equipe envolvida com a Frente de Trabalho 1;
3. Imagens da instalação e comprovação de conformidade com as exigências trabalhistas e de segurança pertinentes;
4. Relatório Técnico Fotográfico, assinado por responsável técnico, com respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica, compilando as exigências acima;

Etapas 2 a 12:

1. Relatório Diário de Obra/Serviço;
2. Relatório de atualização dos dados fornecidos na Etapa 1;

4.3.2. Evento 3 – Levantamento Topocadastral da Rede Pluvial

Revisão da localização e georreferenciamento dos Poços de Visita (PV) e Pontos de Inspeção (PI) previamente cadastrados pelo município, identificação de PV's ou PI's não mapeados na área de abrangência deste Termo de Referência. Deverá ser usado equipamento de topografia georreferenciado, com sistema GPS/GNSS (Global Positioning System/ Global Navigation Satellite System) de precisão de 8 mm ou melhor, com sistema RTK (Real-time Kinematic). Os trabalhos devem atender à ABNT NBR 13133/2016 e às exigências e apontamentos realizados pelos técnicos da Caixa Econômica Federal.

Os pontos a serem inspecionados constam na Figura 11. Atualmente, o cadastro não diferencia bueiros, bocas de lobo, poços de visita ou poços de inspeção. Dessa forma, o cadastro apresenta apenas a existência de 2642 pontos, na região deste termo de referência, sem detalhes sobre qual dispositivo ele representa.

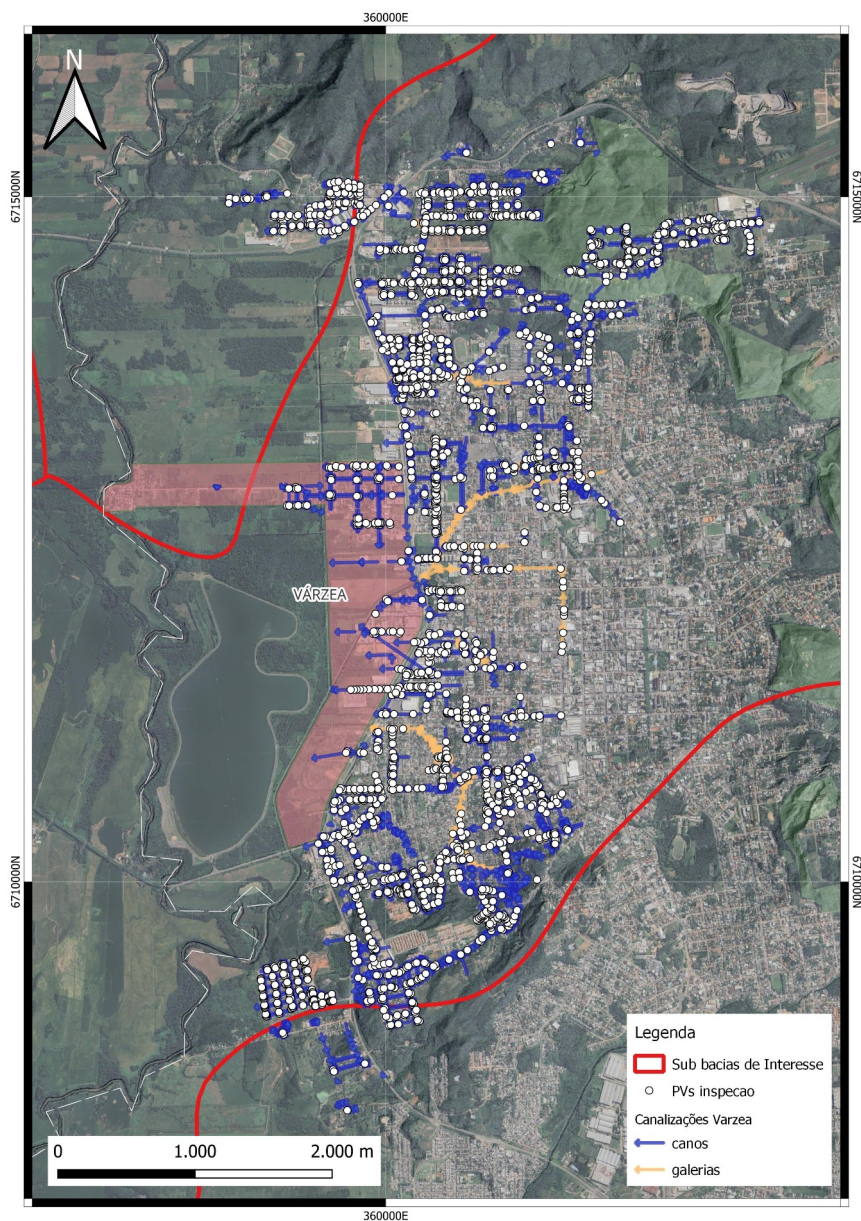


Figura 11: Mapa de localização das micro e macrodrenagens, além dos pontos de inspeção e visita a serem levantados.

Prevê-se a utilização de duas equipes de topografia, em um prazo de 6 meses para a execução do Evento 3, associado com outros trabalhos detalhados a seguir. Também é prevista uma equipe com pedreiro e servente, a fim de realizar a abertura e fechamento de eventuais PV's e bueiros selados com argamassa – e o respectivo selamento.

É responsabilidade das equipes do contratado a entrega de toda a infraestrutura vistoriada da maneira em que foi diagnosticada. Eventuais danos aos PV's e PI's devem ser reparados pela contratada.

Produto a ser entregue:

Levantamento Topocadastral, contendo no mínimo:

1. Camada geoespacial para visualização em software SIG, contendo:
 - I. Coordenadas geográficas de cada ponto inspecionado;
 - II. Geometrias das canalizações, fidedignas às suas localizações em campo;
 - III. Categorização qualitativa: Bueiro, Poço de Visita, Poço de Inspeção, Caixa de Passagem, etc...
2. Pranchas, em formado digital (PDF) e em arquivo .dwg – para visualização em software CAD (Computer-Aided Design) - separadas por quadras, linhas de drenagem, ou outro agrupamento tecnicamente interessante sugerido pela contratada, após aprovação da comissão de fiscalização e do órgão financiador (CEF).
3. Registrar para cada ponto, em relatório:
 - I. O status RTK (fix/float); PDOP/HDOP;
 - II. Tempo de ocupação;
 - III. Número de satélites e método (RTK, estação total, offset);
 - IV. Fotos georreferenciadas;
4. Medição principal por ponto (PV/PI/BL/CP) em arquivo georreferenciado, com tabela de atributos mínimos:
 - I. ID único, tipo (PV/PI/BL/CP), situação (selado/aberto), material da tampa, diâmetro, profundidade, cotas de tampa e de fundo, condição (obstruído/livre), data/hora, equipe, método (RTK/estação/offset), status de solução RTK, foto(s).
 - II. Medição secundária: metros de canalização digitalizados e conectados entre pontos (quando aplicável).
 - III. Critérios de aceitação:
 1. Precisão: conforme seção 1 (horiz. ≤ 2 cm; vert. $\leq 3-5$ cm), com evidências do controlador/relatórios.
 2. Topologia: rede conectada sem pendências; sem sobreposições;
 3. Produtos:

- SIG: GeoPackage e/ou Shapefile com layers de pontos e eixos, projeção SIRGAS2000/UTM 22S, EPSG 31982, metadados completos.
- CAD: DWG por quadra/linha de drenagem (ou setorização diversa aprovada), layers padronizados, escalas e legendas.
- Relatórios: memória descritiva dos métodos, controle de qualidade, lista de pendências (se houver) e justificativas.
- Mídia física: pen drive/flash com versão final aprovada.

4.3.3. Evento 4 – Relatórios Qualitativos da Rede e Croquis de Interferências

Associado aos produtos do Evento 3, deverá ser elaborado relatório técnico, por engenheiro com atribuição técnica e respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica, sobre o estado qualitativo das redes pluviais mapeadas no Evento 3.

Deverão ser avaliados, em laudo, a saúde do material que compõe a rede (tubos de concreto, galerias de pedra, etc), a presença de sedimentos e obstruções, eventual perda de seção na rede por presença de sedimentos ou materiais estranhos, de forma detalhada. Também, devem ser levantadas as características construtivas dos PV's e demais estruturas vistoriadas.

Cada trecho de rede e cada estrutura deverá ser alvo de um laudo, que contenha:

- I. Registro fotográfico;
- II. Elaboração de laudo descritivo qualitativo;
- III. Avaliação técnica do estado de conservação dos mesmos.
- IV. Constar coordenadas planialtimétricas por topografia georreferenciada, obtidos no Evento 3;
- V. Croqui, com todas as dimensões de interesse para modelagem hidráulica e hidrológica, na forma da Figura 12.

No laudo de inspeção de cada PV/PI, deve ser descrita quais as interferências (afluentes e efluentes) existem nesse ponto. Deverão ser obtidas informações topográficas e altimétricas da geratriz superior e inferior de cada uma das tubulações presentes nesse Ponto de Inspeção/Poço de Visita. Essas informações serão primordiais para embasar a etapa de modelagem hidráulica da microdrenagem afluente aos canais de macrodrenagem, propiciando simulações de alternativas para detenção e retenção da drenagem pluvial junto aos lotes ou construção de bacias de amortecimento ao longo das contribuições. Adicionalmente, o contratado deverá realizar inspeção visual por método endoscópico na rede pluvial, entre PV's ou entre PI's, a fim de averiguar a existência ou não de entupimentos, obstruções parciais ou presença de detritos em excesso nos trechos de rede

inspecionados. Para isso, deverá dispor de métodos como hastes com câmeras, robôs de inspeção, ou qualquer outro necessário a esse objetivo.

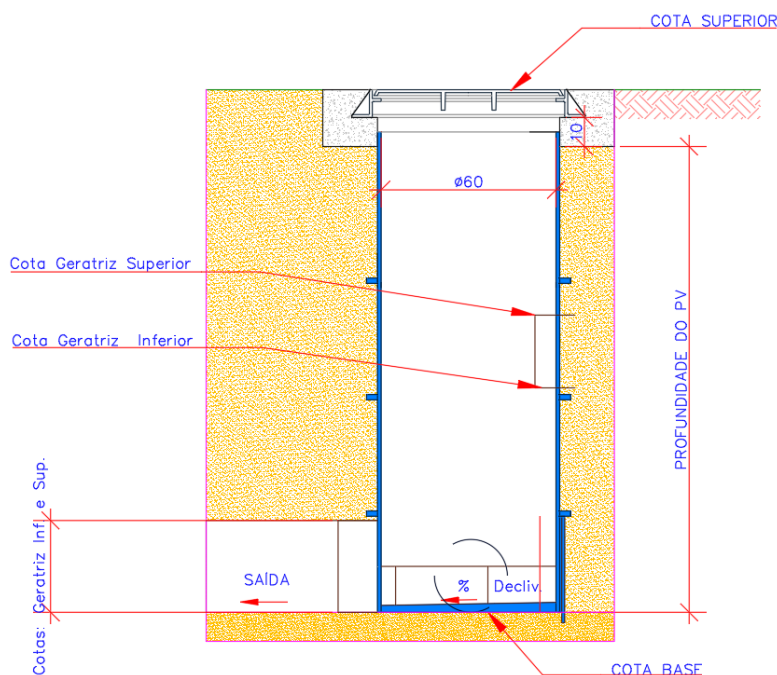


Figura 12: Modelo de descrição dos Poços de Visita/Poços de Inspeção a ser entregue na atualização cadastral.

Produto a ser entregue:

Deverão ser entregues, em versões finais após aprovação dos fiscais do contrato, em meio digital e impresso, os seguintes produtos:

- I. Relatórios mensais do andamento do trabalho, acompanhando os Relatórios de Diários de Obras;
- II. Laudos dos Poços de Visita, contendo:
 1. Cotas das geratrizes inferiores e superiores de cada tubo ligado ao PV ou PI, diâmetro do perfil vertical e demais informações quaisquer pertinentes à estimativa do volume útil do PV e interferências ao fluxo de esgotos pluviais;
 2. Dimensões das redes afluentes e efluentes: comprimento, largura nominal e largura efetiva (considerando incrustações identificadas);
 3. Descrição qualitativa do estado de conservação ou obstrução de cada tubulação que chega ou sai do PV ou PI;

- III. Planilha eletrônica com os dados coletados de todos os PV's e PI's inspecionados;
- IV. Camada *shapefile*, com as informações levantadas – obtida por meio da planilha do item II;
- V. Camada *shapefile* confirmatória ou atualização do atual cadastro de redes, contendo eventuais redes anteriormente não cadastradas;
- VI. Memorial descritivo das novas redes eventualmente cadastradas, contendo: diâmetro dos tubos, traçado georreferenciado e descrição situacional qualitativa, em cópia física encadernada e cópia digital;
- VII. Laudo do estado qualitativo sobre o estado dos PV's, PI's e redes inspecionadas, contendo:
 - 1. Imagens do dispositivo;
 - 2. Coordenadas geográficas (início e fim no caso de redes);
 - 3. diâmetro das redes, entradas e saídas dos dispositivos inspecionados;
 - 4. Cota de fundo, cota do topo e cota da rua naquele ponto;
 - 5. Croqui do dispositivo inspecionado, com as medidas acima solicitadas;

4.4. Topografia e Topobatimetria

4.4.1. Evento 5 – Modelo Digital de Terreno e Aerofotogrametria

O contratado deve realizar um mapeamento topográfico a fim de elaborar um modelo digital de terreno (MDT), tão detalhado ou mais quanto o atual MDT do cadastro técnico municipal – resolução de 0,5 m x 0,5 m – com uma nuvem cuja densidade seja de 8 pontos por metro quadrado (8 pt/m²) ou maior, a fim de detalhar de forma fidedigna o terreno da área objeto do contrato.

Varredura com 8,0 ptos/m² (perfilamento lidar) com GSD de 10 cm, ou menor (voo fotogramétrico), resultando em informações que garantam a escala do mapeamento altimétrico de 1:1.000.

Os dados devem ser tratados, de forma filtrar as interferências de elevações artificiais ou naturais (prédios, edificações, árvores, etc...). Todos os dados devem ser georreferenciados e amarrados a marcos geodésicos da Rede Geodésica Nacional, com elaboração de relatório geodésico dos pontos de amarração.

O levantamento pode utilizar aerofotogrametria via aeronave tripulado ou Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) com RTK embarcado, associados a pontos de amarração em marcos geodésicos da região levantada. O equipamento deve possuir tecnologia de *Light Detection and*

Ranging (LIDAR), ou equivalente, e o plano de voo deve possibilitar sobreposição de imagem a fim de proporcionar densa nuvem de pontos de cotas.

Equipe Técnica:

01 Coordenador Técnico Especializado (Engenheiro Agrimensor) em serviços topográficos e geodésicos com a utilização da tecnologia de Perfilamento a Laser (LiDAR) no Escritório da Metro Cúbico Engenharia;

01 Piloto comercial credenciado para vôos com aeronaves tripuladas;

01 Topografo para implantação de marcos topográficos;

01 Auxiliar de Topografia para implantação de marcos topográficos;

Desenhistas Projetistas para elaboração de Desenhos 2D (plantas) em CAD.

Equipamentos e Recursos (especificações a título de comparação, para atendimento aos padrões):

01 Aeronave (avião de asa fixa ou rotativa/helicóptero).

01 Sistema LIDAR (laser) Riegl LMS-Q680i – frequência até 200 kHz, e inercial Applanix 510 POS AV e acessórios;

01 Par de GPS RTK e acessórios;

01 Estação de trabalho para processamento dos dados (Workstation);

Softwares especializados para coleta e processamento dos dados de campo e geração dos resultados e relatórios topográficos.

Escopo dos Serviços:

O escopo dos serviços é o levantamento topográfico planialtimétrico com a utilização da tecnologia de Sistema de Perfilamento a Laser Aerotransportado com densidade de 08 pontos/m² (LiDAR) baseado em nuvem de pontos com recobrimento aerofotogramétrico colorido com resolução espacial GSD 0,10 m (escala 1:5.000) com câmera digital métrica acoplada ao GPS Inercial, geração de mosaicos ortofotográfico (com resolução de 8 cm ou menor – escala 1:1.000), nuvem de pontos, elaboração de MDT (curvas de nível com equidistância de 0,50 m x 0,50 m), MDS (modelo digital de superfície), malha triangular do terreno e desenho 2D (planta topográfica cadastral) na área de 04 bacias hidrográficas, sendo elas a do Rio Pardinho, o Arroio Andreas, o Arroio Lajeado e o Arroio Jucuri, perfazendo em sua totalidade uma área de aproximadamente 465,41 km² (distribuídos em 04 áreas) visando a utilização dos produtos gerados para suporte a projetos de engenharia, localizadas no município de Santa Cruz do Sul/RS.

O escopo inclui os seguintes serviços:

Etapa 1

Serviços de Campo:

- Planejamento da execução da implantação dos pontos de controle;
- Implantação e Rastreamento dos pontos de controle;
- Elaboração do memorial descritivo dos pontos de controle.

Preparação para Levantamento com Laser Aerotransportado (LiDAR):

- Planejamento da execução dos trabalhos (planejamento de voo);
- Solicitação de autorização de Voo nas entidades competentes (ANAC);

Etapa 2

Perfilamento a Laser Aerotransportado e Produtos de Geoprocessamento:

Serviços de Campo:

- Perfilamento a Laser Aerotransportado LiDAR (Voo);
- Elaboração de RDO – Relatório Diário de Obra.

Serviços de Escritório:

- Processamento dos Dados.
 - Importação e consolidação dos dados coletados em campo;
 - Geração da Nuvem de Pontos;
 - Relatório técnico fotográfico de execução dos serviços (*.PDF);
 - Ortofotos – resolução espacial 10 cm (individuais e única);
 - Curvas de nível – equidistância 0,50 m x 0,50 m (*.SHP e *.DWG);
 - MDT (*.ASCII, *.GEOTIFF);
 - MDS (*.ASCII, *.GEOTIFF);

Metodologia:

Referencial Planimétrico: SIRGAS 2000 – Nomenclatura oficial: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas Sistema Geodésico de Referência: Sistema de Referência Terrestre

Internacional – ITRS (International Terrestrial Reference System). Os produtos devem ser entregues em referência métrica, dentro do EPSG 31982.

Perfilamento a Laser (LiDAR): O mapeamento da área deverá ser realizado utilizando-se o processo de levantamento aerofotogramétrico digital e perfilamento a laser para geração de ortofotos digitais e mapeamento planialtimétrico.

Os serviços serão realizados através de sensores embarcados em aeronave.

Uma vez coletadas as informações, os dados de campo serão descarregados ao final do dia e enviados para processamento via FTP para o escritório central da contratada, onde técnicos especializados realizarão o processamento dos dados.

O prazo médio para envio da nuvem de pontos processada é de 72 horas úteis após o envio dos dados pela equipe de campo, sendo que ao final, os dados processados serão enviados ao cliente via FTP.

Elaboração dos Resultados (Coordenação):

O Coordenador dos serviços de escritório receberá os arquivos dos dados coletados em campo e iniciará o processo de cálculo, registro e extração dos dados (consolidação dos dados) e de eventuais desenhos.

Equipamentos (Tecnologia de Campo): Os equipamentos utilizados devem possuir capacidade e características similares ou superiores aquelas abaixo descritas.

GPS RTK	
Rede Estático (Horizontal)	3 mm+0,1 ppm RMS
Rede Estático (Vertical)	3,5 mm+0,4 ppm RMS
Canais	440
Taxas de Posicionamento	1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz e 20 Hz
Sensores	
Composição do Sistema	1 Sensor Laser Riegl VQ-480
Tipo da Câmera	1 PhaseOne (80 Mpixels)
Rack de Armazenagem	1 Computador com 2TB SSD
Sistema Inercial	GPS/IMU Applanix 410
Formato das Imagens	RGB
Distância Focal	F=55 mm

Entregas

Etapas 1: Devem ser entregues nessa etapa dos trabalhos, para recebimento de 40% do item, os seguintes produtos técnicos:

1. Relatório Técnico completo, com comprovação da elaboração e descrição de todos os itens da Etapa 1;
2. Cópia do Plano de Voo e Autorização da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) para execução dos serviços da Etapa 2;

Etapas 2: Devem ser entregues, nessa etapa dos trabalhos os seguintes produtos técnicos:

1. Modelo Digital de Terreno (MDT) com 0,5 x 0,5 metro de resolução, com no mínimo 8 pontos por metro quadrado, em formato digital para visualização em Sistemas de Informação Geográfica, preferencialmente em formato GeoTIFF. Admite-se precisão altimétrica de 27 cm, preferencialmente menor, com erro padrão máximo de 10 cm. A fim de garantir comparabilidade com o produto atualmente utilizado pelo município.
2. Modelo Digital de Superfície (MDS)– produto representativo do terreno associado aos objetos – naturais ou não – que se encontram sobre a superfície do terreno, de forma a representar as interferências na altitude de detectada em função das árvores, prédios e demais edificações. O produto deve atender às mesmas especificações do MDT.
3. Curvas de nível, com a mesma resolução do MDT, após tratamento dos dados;
4. Mosaico ortofotográfico detalhado, com resolução de 8 cm, ou menor;
5. Arquivos em shapefile ou geopackage com delimitação de:
 - i. Redes de drenagem do terreno;
 - ii. Massas d'água (lagos, represas, rios, etc);
 - iii. Rede hidrográfica;
6. Relatório técnico fotográfico da execução dos trabalhos, por etapa (mês/semana/outro que for pertinente), dividido em tópicos;

Todos os produtos devem estar georreferenciados no EPSG 31982 (SIRGAS 2000/UTM 22S). Os produtos devem atender aos critérios de qualidade aqui citados e aqueles trazidos pela NBR 13133 – Execução de levantamento topográfico.

Além do aceite da fiscalização da Prefeitura, deverão atender às demais normas da ABNT aplicáveis e ainda obter aval da Caixa Econômica Federal, mandatária da União;

4.5. Topobatimetria

Deverão ser levantados perfis topo batimétricos dos cursos d'água de interesse, com o objetivo de detalhar com dados de campo o levantamento aerofotogramétrico em seu entorno, e melhor descrever os meandros e pontos de estrangulamento do fluxo. Também, deverão fornecer dados para criação de *Curvas Chave*, em pontos estratégicos, a serem definidos pela equipe técnica da contratada junto à comissão de fiscalização do contrato. Serão previstas 3 linhas de detalhamento transversal do talvegue, para geração de curvas chave, a título de orçamentação. Os pontos com detalhamento para curva chave serão monitorados na Campanha de Monitoramento Hidrológico.

A distância máxima entre os perfis topo batimétricos será de 500 metros retilíneos, devendo ser menor em trechos de meandros ou confluências de canais, deságues de drenagens e pontos assoreados, a fim de representar fidedignamente os meandros e gargalos de fluxo dos cursos d'água estudados. Casos pontuais podem ser ajustados com justificativa técnica e concordância da fiscalização do contrato.

Será aceito o uso de equipamentos de RTK (Real Time Kinematic) ou PPK (Post-Processed Kinematic), com resolução de 10 mm + 1 ppm na horizontal e 20 mm + 1 ppm na vertical, em relação à estação base, ou melhor.

O detalhamento das seções de topo batimetria será ajustado com o contratado na elaboração do Plano de Trabalho Detalhado, no primeiro mês do contrato, variando entre 50 metros nas curvas e meandros e até 500 metros nos trechos mais retilíneos.

Confluências com outros fluxos, como o Arroio Andreas, Sanga Schultz e outros sem denominação oficial, devem ser levantados nos arredores do curso principal, a fim de dimensionar corretamente as interferências de fluxo.

Equipe mínima:

1 (um) Engenheiro Cartógrafo ou Agrimensor ou Civil (com experiência comprovada em levantamentos topográficos e batimétricos): Responsável Técnico (RT) pelo serviço, coordenador das equipes de campo, responsável pela qualidade e consistência dos dados levantados, pelo processamento final e pela elaboração dos produtos. Deverá possuir registro ativo no CREA.

1 (um) Topógrafo: Profissional com experiência em operação de equipamentos topográficos e batimétricos, responsável pela execução dos levantamentos em campo, garantia da acurácia dos dados e implantação de pontos de controle.

1 (um) Auxiliar de Topografia/Batimetria: Apoio operacional nas atividades de campo, manuseio de equipamentos e garantia da segurança da equipe.

1 (um) Hidrólogo ou Engenheiro Ambiental/Civil com Especialização em Recursos Hídricos: Responsável pela análise dos dados batimétricos em conjunto com dados

hidrológicos para a determinação das Curvas Chave e avaliação de seções críticas para o fluxo.

1 (um) Técnico em Geoprocessamento ou Cartógrafo: Responsável pelo processamento dos dados brutos, geração de modelos digitais de terreno (MDT), modelos batimétricos (MDB), confecção das plantas e perfis em CAD e criação/atualização dos arquivos shapefile em ambiente SIG.

A Contratada deverá apresentar a qualificação técnica de sua equipe no Plano de Trabalho Detalhado, comprovando a experiência e habilitação dos profissionais.

Equipamentos Mínimos Requeridos

A Contratada deverá utilizar equipamentos modernos e calibrados, garantindo a acurácia especificada, incluindo, mas não se limitando a:

Sistema GNSS RTK/PPK: Equipamentos para levantamento topográfico e de pontos de controle com a resolução horizontal de 10 mm + 1 ppm e vertical de 20 mm + 1 ppm, operando no sistema de coordenadas **EPSG 31982 (SIRGAS 2000 / UTM zone 22S)**.

Ecobatímetro: Equipamento de alta precisão para o levantamento batimétrico, capaz de integrar-se ao sistema GNSS para georreferenciamento em tempo real ou pós-processado.

Embarcação para levantamento batimétrico: Bote inflável ou similar, adequado para navegação nos rios de interesse, equipado com motor de popa e itens de segurança (coletes salva-vidas, boias, etc.).

Veículos 4x4: Para deslocamento e acesso aos pontos de levantamento em campo.

Estação Total (opcional, dependendo da metodologia): Para complementação de levantamentos em áreas de difícil acesso para GNSS ou para detalhamento de estruturas específicas.

Equipamentos de Segurança Individual (EPIs): Conforme normas de segurança do trabalho para atividades em campo e em ambiente aquático.

Software de Processamento: Licenças de software de processamento de dados GNSS, de dados batimétricos, CAD (para geração de plantas e perfis) e GIS (para manipulação de shapefiles e análise espacial), ou uso de similares de código aberto.

Contribuintes a Levantar

O levantamento topobatimétrico deve ser executado nos cursos d'água designados, entre os pontos abaixo.

Id	Rio	Ponto	X (EPSG 31982)	Y (EPSG 31982)
1	Rio Pardinho	Inicial	-52.4915605407	-29.56427108
2	Rio Pardinho	Fim	-52.4775560851	-29.8737152419

3	Arroio Jucuri	Inicial	-52.4033523966	-29.6901951354
4	Arroio Jucuri	Final	-52.4446747338	-29.7124271597
5	Sanga Preta	Inicial	-52.4448487345	-29.7125119094
6	Sanga Preta	Final	-52.457410008	-29.737139541
7	Arroio Lajeado	Inicial	-52.4327284501	-29.6822491105
8	Arroio Lajeado	Final	-52.4515640444	-29.7194457359

Produtos a Entregar na Topo batimetria

Deverão ser entregues, em formato digital para cada um dos 4 cursos d'água de interesse:

1. Relatório técnico fotográfico da realização do trabalho de topo batimetria, de acordo com o avanço mensal do mesmo, ou etapas pormenorizadas definidas no Plano de Trabalho Detalhado.
2. Relatório de Determinação de Curva Chave para ao menos 1 ponto de controle no curso d'água levantado.
3. Plantas baixas e perfis longitudinais, em arquivo .dwg ou .dxf, para visualização em ambiente CAD, georreferenciados;
4. Arquivos em shapefile para visualização em SIG dos dados levantados em campo;
5. Indicar em planta, nos arquivos .dwg /.dxf e shapefiles, as Áreas de Preservação Permanente e Áreas Não Edificantes dos rios estudados, incluindo a representação em planta das edificações eventualmente localizadas dentro dessas áreas.

Cópias impressas das versões finais desses materiais devem ser entregues após aceite final da fiscalização do contrato, nas escalas e agrupamentos definidos pela fiscalização.

Os trabalhos de topobatimetria dos cursos d'água citados serão separados em 2 eventos, conforme descrito na sequência.

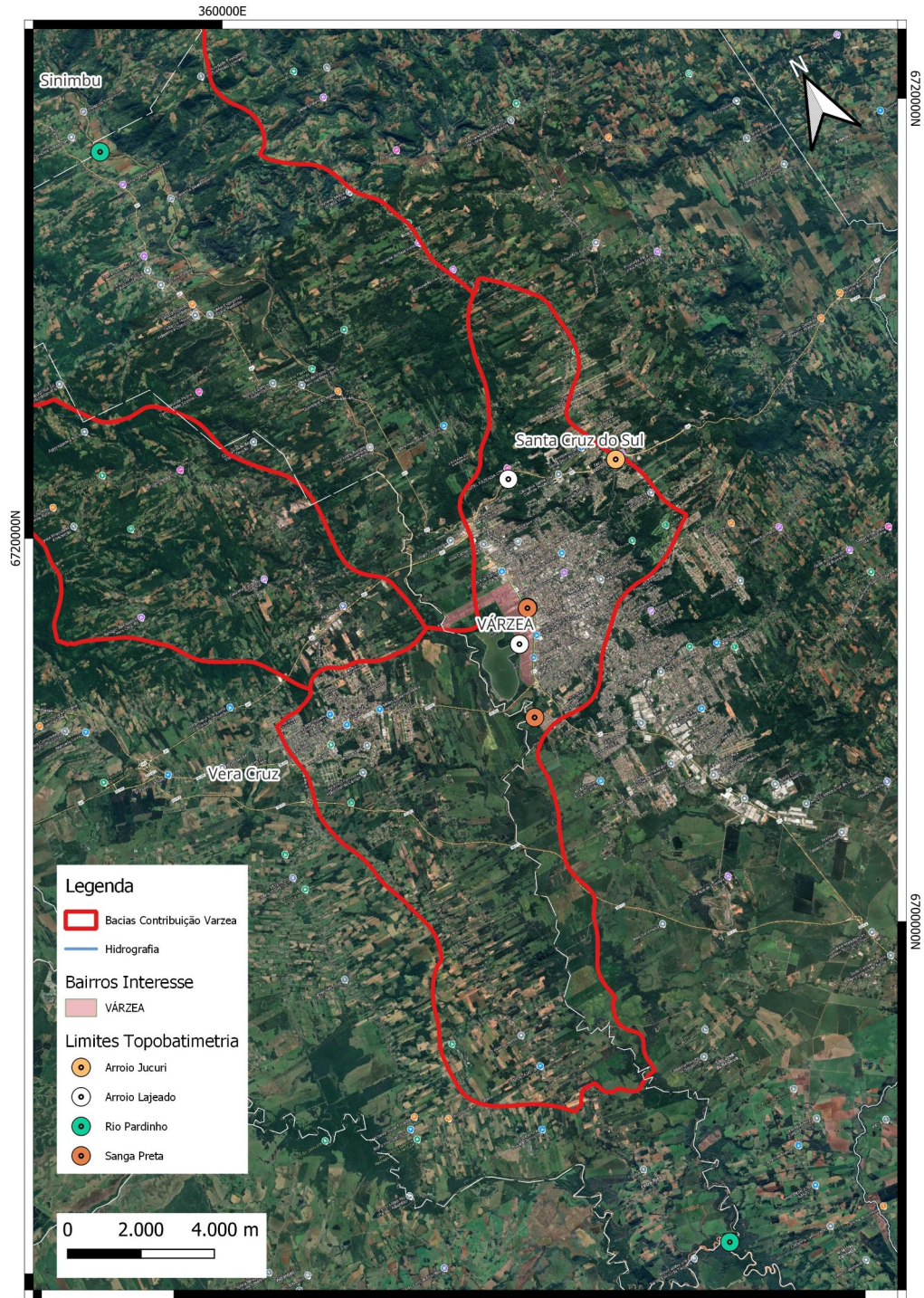


Figura 13: Limites do trajeto a ser realizada topobatimetria nos cursos d'água selecionados.

4.5.1. Evento 6 – Topobatimetria do Rio Pardinho;

Para o evento 6 – Topobatimetria do Rio Pardinho – devem ser atendidos todas as exigências do Capítulo 4.5, e ainda, atender ao que segue.

Cronograma Proposto para os Serviços de Topobatimetria do Evento 6

Considerando a complexidade e a extensão dos cursos d'água, os trabalhos de topobatimetria serão distribuídos ao longo de 3 **(três) meses**. O cronograma detalhado será apresentado no Plano de Trabalho Detalhado, mas a estrutura básica é a seguinte:

Mês 1 – Planejamento e Mobilização:

- Reunião de alinhamento com a fiscalização para definição de pontos estratégicos das Curvas Chave e detalhamento de seções.
- Mobilização de equipe, equipamentos e licenças.
- Reconhecimento de campo e instalação de pontos de controle.
- Calibração e validação dos equipamentos.

Mês 2 – Levantamento de Campo (Rio Pardinho):

- Execução dos levantamentos topo batimétricos no **Rio Pardinho**.
- Coleta de dados GPS, batimetria e topografia.
- Pré-processamento diário dos dados para controle de qualidade.

Mês 3 – Processamento Final e Entrega dos Produtos:

- Processamento completo dos dados de campo de todos os cursos d'água.
- Elaboração das plantas, perfis longitudinais e arquivos shapefile georreferenciados.
- Análise hidrológica e determinação das Curvas Chave para os pontos de controle.
- Elaboração do Relatório Técnico Fotográfico consolidado.
- Entrega preliminar de todos os produtos para a fiscalização.
- Período para revisão e ajustes solicitados pela fiscalização.
- Entrega final dos produtos digitais e cópias impressas.

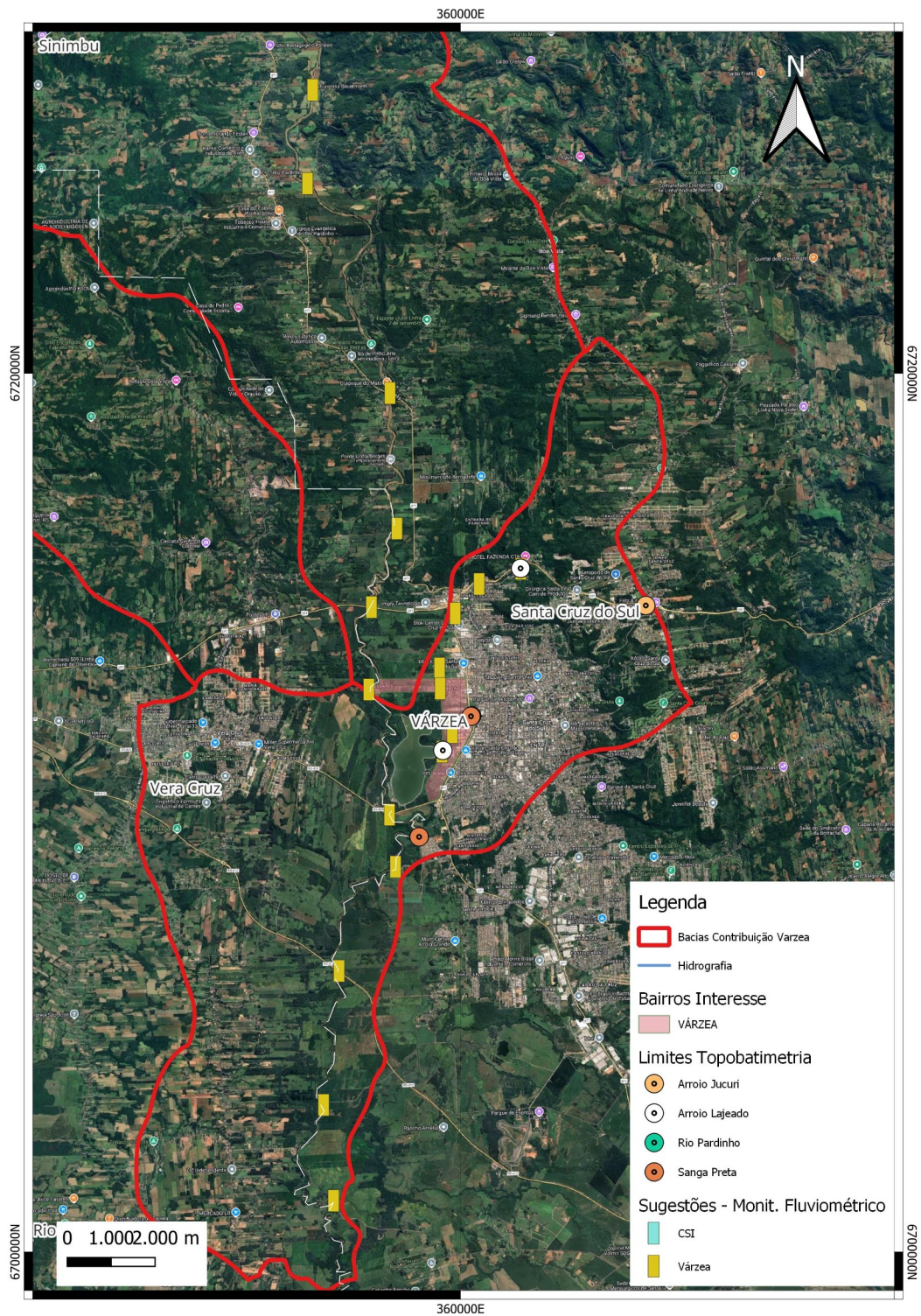


Figura 14: Sugestões de pontos para curva chave no Rio Pardinho e no Arroio Lajeado.

4.5.2. Evento 7 – Topobatimetria dos Arroios Lajeado, Jucuri e Sanga Preta

Para o evento 6 – Topobatimetria dos Arroios Lajeado, Jucuri e Sanga Preta – devem ser atendidos todas as exigências do item 4.5.1 e 4.5.2, e ainda, atender ao que segue.

Cronograma Proposto para os Serviços de Topobatimetria do Evento 6

Considerando a complexidade e a extensão dos cursos d'água, os trabalhos de topobatimetria serão distribuídos ao longo de 3 (**três**) meses. O cronograma detalhado será apresentado no Plano de Trabalho Detalhado, mas a estrutura básica é a seguinte:

Mês 1 – Planejamento e Mobilização:

- Reunião de alinhamento com a fiscalização para definição de pontos estratégicos das Curvas Chave e detalhamento de seções.
- Mobilização de equipe, equipamentos e licenças.
- Reconhecimento de campo e instalação de pontos de controle.
- Calibração e validação dos equipamentos.

Mês 2 – Levantamento de Campo :

- Execução dos levantamentos topo batimétricos nos Arroios designados.
- Coleta de dados GPS, batimetria e topografia.
- Pré-processamento diário dos dados para controle de qualidade.

Mês 3 – Processamento Final e Entrega dos Produtos:

- Processamento completo dos dados de campo de todos os cursos d'água.
- Elaboração das plantas, perfis longitudinais e arquivos shapefile georreferenciados.
- Análise hidrológica e determinação das Curvas Chave para os pontos de controle.
- Elaboração do Relatório Técnico Fotográfico consolidado.
- Entrega preliminar de todos os produtos para a fiscalização.
- Período para revisão e ajustes solicitados pela fiscalização.
- Entrega final dos produtos digitais e cópias impressas.

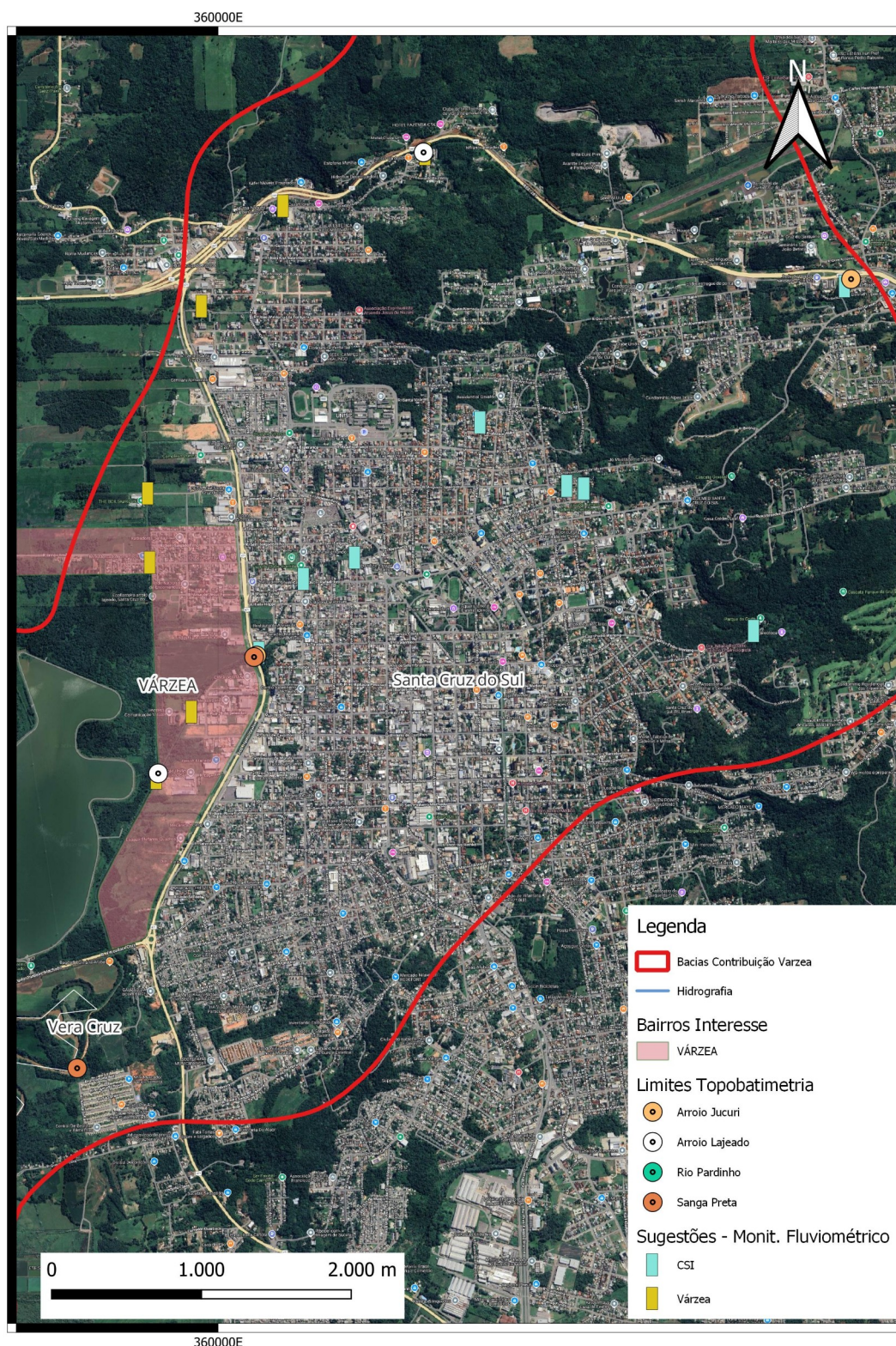


Figura 15: Sugestões de locais para instalação de estações fluviométricas - locais a definir junto à comissão de fiscalização.

4.6. Frente de Trabalho 2 – Estudo Hidrológico e Medidas de Prevenção e Reação a Eventos Climáticos

4.6.1. Estudo Hidrológico

Como exemplificado pelos dados trazidos pelo Plano de Gerenciamento de Bacia do Rio Pardo, na Figura 7, as normais climatológicas regionais estão em transição, com aumento do volume total precipitado e também da frequência de eventos extremos. Assim, dados passados não trazem uma segurança satisfatória na previsão de eventos futuros, demandando parâmetros de ajuste e fatores de segurança, como os preconizados por Paiva et al (2024). Adicionalmente, modelos hidrológicos demandam parâmetros de ajuste fino obtidos em campo, a fim de incorporar as diversas incertezas associadas aos modelos (Coeficientes de Runoff, infiltração, interceptação, rugosidade dos canais naturais e artificiais, etc) e ajustar da forma mais precisa possível o resultado numérico obtido computacionalmente.

Assim sendo, o contratado deve manter, ao longo de pelo menos 12 meses, uma campanha de monitoramento hidrológica da área objeto de estudo, com acompanhamento de dados pluvio e fluviométricos, a fim de calibrar com dados *in loco* o(s) modelo(s) desenvolvidos dentro do Estudo Hidrológico.

Pluviometria

O contratado poderá utilizar dados secundários, obtidos por diferentes órgãos que têm, ou estão em vias de instalar estações meteorológicas com pluviômetros na bacia do Rio Pardo, a citar: Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), entre outros. Adicionalmente, há previsão da instalação de 2 estações hidrometeorológicas, com pluviômetro, cujo local de instalação será definido em conjunto com a fiscalização do contrato, na aprovação do Plano de Trabalho Detalhado. A obtenção de dados primários, deve seguir o seguinte:

- As estações pluviométricas a serem instaladas devem possuir passo máximo de medição de chuvas de 1 minuto, sendo recomendados modelos com passos de medição na casa de segundos. Devem possuir sistema de transmissão remota dos dados, para monitoramento automatizado e via plataforma webservice.
- Os modelos de medidores pluviométricos a serem instalados pelo contratado devem ser previamente aprovados pela comissão de fiscalização.

Fluviometria

Nos pontos selecionados para determinação de curva chave (altura x vazão), no item 4.2.2 Topo batimetria, deverão ser instaladas réguas limnimétricas automatizadas, que por meio das respectivas curvas chaves, fornecerão informação de vazão instantânea. Como determinado nos serviços de topobatimetria, serão definidos 3 pontos para instalação de réguas fluviométricas ou medidores de vazão automatizados.

Esses pontos já levarão em conta e embasarão o Item 4.7 – Plano de Monitoramento e Alerta de Cheias do Rio Pardo. Os equipamentos a serem instalados devem ser pré aprovados pela fiscalização do contrato e devem permitir acompanhamento em tempo real dos dados.

A obtenção de dados primários, deve seguir o seguinte:

- As estações fluviométricas a serem instaladas devem possuir passo máximo de medição de fluxo de 1 minuto, sendo recomendados modelos com passos de medição na casa de segundos. Devem possuir sistema de transmissão remota via sinal de celular para monitoramento automático dos dados.
- Os modelos de medidores fluviométricos a serem instalados devem ser previamente autorizados pela comissão de fiscalização.

4.6.2. Estudo e Detalhamento Do Problema

O contratado deve estudar toda a documentação disponível sobre o problema, sendo obrigatória a análise dos seguintes documentos:

- Estudos Hidrológicos e Hidráulicos para Verificação e Mitigação de Impactos de Inundação do Complexo Lago Dourado – Santa Cruz do Sul/RS;
- Plano Pardo – Plano de Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (https://www.comitepardo.com.br/plano_pardo/index.html)
- Plano Municipal de Saneamento Básico de Santa Cruz do Sul – e seus subprodutos, especialmente o Plano de Gestão de Drenagem Urbana;
- Plano de Manejo das Águas Pluviais de Santa Cruz do Sul, (STE Engenharia, 2008) – a fim de contexto histórico;
- Estudos De Concepção Para Gestão Das Águas Pluviais Do Município De Santa Cruz Do Sul, Localizados Nas Micro Bacias Hidrográficas Do Arroio Das Pedras, Do Arroio Jucuri E Do Arroio São João, Contidas Na Áreas Urbanas Deste Município (ENCOP, 2013) – a fim de contexto histórico;

Com dados primários – da própria campanha de monitoramento – e dados secundários das fontes disponíveis, o contratado deve obter hidrogramas para diferentes tempos de retorno do Rio Pardinho, Arroio Jucuri, Arroio Lajeado e demais contribuintes de importância para o estudo. Métodos estatísticos podem ser utilizados caso haja falta de dados em período histórico necessários – geralmente 30 anos das normais climatológicas – como o Método de Pfastetter ou outros, tecnicamente justificados e com bibliografia técnica de respaldo. Assim, deve ser apresentado um relatório de caracterização da sub-bacia hidrográfica em estudo:

- Hidrogramas diários para diferentes períodos de retorno;
- Hidrogramas horários para diferentes períodos de retorno;
- Tempos de concentração das microbacias e sub-bacia;
- Relação temporal entre diferentes precipitações e o nível dos cursos d'água monitorados, para basear futuro Sistema de Alerta de Cheias;

Os estudos hidrológicos deverão fornecer embasamento para as demais etapas do presente termo de referência, como, por exemplo: vazões de projeto; vazão dos cursos d'água para delimitação de zonas de segurança; delimitação da zona de passagem de cheia, Plano de Monitoramento e Alerta de Cheias, e projetos de engenharia.

I. Levantamento e Consistência de Dados Pluviométricos:

Identificar todas as estações pluviométricas (convencionais e automáticas) localizadas na bacia hidrográfica e em áreas adjacentes, incluindo estações da Agência Nacional de Águas (ANA), órgãos estaduais, prefeituras, empresas privadas e outras fontes.

Coletar dados pluviométricos diários e horários (ou em intervalos menores, se disponíveis) de todas as estações identificadas, abrangendo o período mais longo possível (priorizando séries históricas com mais de 30 anos).

II. Consistência e Preenchimento de Falhas:

Realizar testes de consistência nos dados coletados, identificando e corrigindo erros e outliers. Preencher as falhas nas séries históricas utilizando métodos estatísticos apropriados (ex: interpolação linear, regressão linear, método da razão normal, etc.), garantindo a qualidade e a integridade dos dados.

III. Cálculo de Médias e Variabilidades:

Calcular as médias mensais e anuais de precipitação para cada estação, bem como os desvios padrão e os coeficientes de variação. Analisar a distribuição espacial e temporal da precipitação na bacia hidrográfica em ambiente de SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Identificar regiões onde a relação entre a precipitação intensa gere maior efeito no nível dos cursos de água, com os respectivos tempos de concentração.

IV. Identificação de Eventos Extremos:

Identificar os eventos de precipitação extrema (chuvas intensas) que ocorreram na bacia, determinando a sua duração, intensidade e frequência. Analisar a distribuição espacial e temporal dos eventos extremos. Exemplos: enchentes de 2015, 2023 e 2024.

Essa retroanálise tem o intuito de validar os modelos gerados e estimar efeitos na bacia de chuvas teóricas.

V. Análise de Frequência:

Realizar análise de frequência das precipitações máximas diárias e horárias, utilizando distribuições de probabilidades apropriadas (ex: Gumbel, Log-Normal, Pearson Tipo III, etc.). Determinar as precipitações de projeto para diferentes tempos de retorno (ex: 2, 5, 10, 25, 50, 100 anos).

VI. Relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF):

Elaborar curvas IDF para diferentes pontos da bacia hidrográfica, expressando a relação entre a intensidade da chuva, a sua duração e a sua frequência. Utilizar as curvas IDF para estimar as precipitações de projeto para diferentes durações e tempos de retorno.

VII. Determinação dos Tempos de Concentração:

Delimitar as microbacias hidrográficas da bacia principal, utilizando dados topográficos de alta resolução (ex: modelos digitais de elevação – MDE).

Cálculo dos Tempos de Concentração: Calcular os tempos de concentração (T_c) para a bacia principal e para cada microbacia, utilizando diferentes métodos empíricos (ex: Kirpich, SCS, Bransby-Williams, etc.).

Justificar a escolha dos métodos utilizados, considerando as características da bacia hidrográfica e a disponibilidade de dados. Comparar os resultados obtidos com os diferentes métodos e selecionar os valores mais representativos.

VIII. Definição das Taxas de Precipitação de Alerta:

Analisar eventos históricos de cheias e inundações na bacia hidrográfica, relacionando as precipitações observadas com os níveis de água e as áreas afetadas. Identificar os limiares de precipitação que desencadeiam eventos críticos de inundação.

IX. Modelagem Hidrológica:

Utilizar o modelo hidrológico calibrado para simular a resposta da bacia hidrográfica a diferentes cenários de precipitação. Determinar as taxas de precipitação que levam ao atingimento de níveis críticos de água em pontos estratégicos da bacia.

Solicita-se a utilização de softwares livres, sem custo ao erário para sua utilização e manutenção, que também serão alvo de capacitação do corpo técnico do contratante, a citar:

- HEC HMS;
- HEC RAS;
- SWMM;
- QGIS;

X. Definição dos Níveis de Atenção para Alertas:

Definir as taxas de precipitação de alerta para diferentes níveis de risco (ex: alerta, atenção, emergência), considerando os tempos de concentração da bacia e das microbacias, as características da população e as áreas vulneráveis.

As taxas de alerta devem ser expressas em termos de intensidade (mm/h) e/ou volume acumulado (mm) em diferentes períodos de tempo (ex: 1 hora, 3 horas, 6 horas, 12 horas, 24 horas).

As taxas de alerta devem ser ajustadas para cada estação pluviométrica, considerando as suas características, sua localização na bacia e relação com as características fisiográficas da bacia.

XI. Elaboração de Relatórios e Mapas:

Mapas Temáticos:

Deverão ser entregues, em formato digital e impresso, em escala adequada, padrão A2 ou maior, os seguintes produtos cartográficos:

- Mapa de localização das estações pluviométricas.
- Mapa de distribuição espacial da precipitação média anual.

- Mapas de risco de inundações para diferentes tempos de retorno: 5, 10, 25, 50, 100, 250 e 300 anos.
- Proposta de Zoneamento Urbanístico em função do risco de danos por inundações;

Os dados pluviométricos deverão ser consistentes e confiáveis.

Os métodos estatísticos deverão ser aplicados corretamente e justificados.

Os tempos de concentração deverão ser calculados com base em dados precisos e métodos apropriados.

As taxas de precipitação de alerta deverão ser definidas de forma clara e objetiva, considerando os riscos de inundações e as características da população.

4.6.3. Evento 8 – Mobilização e Administração dos Serviços – Estudo hidrológico

O Evento 8 engloba os custos de acomodação dos prestadores de serviço, manutenção periódica e eventuais reparos nas estações meteorológicas, supervisão técnica da operação das estações, levantamentos topográficos para instalação das estações, por meio de RTK/GNSS, e gestão dos serviços administrativos da Frente de Trabalho 2.

O contratado deverá prover a mobilização e desmobilização dos recursos necessários, a administração da Frente de Trabalho 2, a supervisão técnica, a operação e manutenção preventiva e corretiva das 5 estações da rede (2 hidrometeorológica e 3 para medição de nível, no mínimo), bem como os levantamentos topográficos por RTK/GNSS para implantação e As *Built* necessárias ao(s) modelo(s).

Deverão ser assegurados o planejamento logístico, hospedagem e alimentação das equipes, gestão de sobressalentes e consumíveis, gestão documental (incluindo ARTs), e atendimento a requisitos de segurança e meio ambiente. As rotinas de *Operação & Manutenção* compreenderão, no mínimo, inspeções, limpeza, testes e calibrações em campo (pluviômetro, réguas e sensores de nível, datalogger, energia, telemetria, etc...), com resposta a ocorrências corretivas dentro do período de máximo de 7 dias corridos.

1. Os levantamentos RTK/GNSS deverão atender ao sistema SIRGAS2000/UTM, altitudes ortométricas via modelo geoidal oficial, com precisões planimétricas e altimétricas compatíveis ($\leq 0,02$ m e $\leq 0,05$ m a 95%, respectivamente) e entrega de memorial, monografia, arquivos brutos e croquis. Devem ser aplicadas práticas de QA/QC⁴,

4 QA/QC: Garantia da Qualidade e Controle da Qualidade

contemplando POP's⁵, checklists, validação automática e manual de dados, auditorias trimestrais e metas de disponibilidade mínima ($HM^6 \geq 95\%$, $Nível \geq 92\%$).

Produto a ser entregue:

Etapas 1:

A medição/pagamento do Evento 8 será realizada a partir da entrega de relatório técnico fotográfico, assinado pelo responsável técnico do contratado, contendo no mínimo:

1. Descrição das instalações, com memorial descritivo e *as built*;
2. Arquivo shapefile ou geopackage com a localização as estações, e demais dados que forem julgados pertinentes pelo responsável técnico e fiscalização;
3. Comprovação de atendimento a todas as legislações trabalhistas, ambientais e de segurança aplicáveis;

Etapas 2 a 12:

1. Relatório Diário de Obra/Serviço;
2. Relatório de atualização dos dados fornecidos na Etapa 1;

4.6.4. Evento 9 – Instalação da Rede e Monitoramento

O contratado poderá utilizar dados secundários, obtidos por diferentes órgãos que têm, ou estão em vias de instalar estações meteorológicas com pluviômetros na bacia do Rio Pardo, a citar: Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), entre outros. Adicionalmente, há previsão da instalação de 5 estações automatizadas, sendo duas delas hidrometeorológicas, com medição pluviométrica contínua, cujo local de instalação será definido em conjunto com a fiscalização do contrato, na aprovação do Plano de Trabalho Detalhado. A obtenção de dados primários, deve seguir o seguinte:

1. As estações hidrometeorológicas a serem instaladas devem possuir passo máximo de medição de chuvas de 1 minuto, sendo recomendados modelos com passos de medição na casa de segundos. Devem possuir sistema de transmissão remota dos dados, para monitoramento automatizado e via plataforma webservice.
2. Os modelos de medidores pluviométricos a serem instalados pelo contratado devem ser previamente aprovados pela comissão de fiscalização.

⁵ POP's: Procedimentos Operacionais Padrão

⁶ Hidrometeorologia medida em campo, expressa em % do tempo (meses, semanas ou dias) com dados.

Nos pontos selecionados para determinação de curva chave (altura x vazão) – Figura 15, estações Fluviométricas – deverão ser instaladas réguas limnimétricas automatizadas, que por meio das respectivas curvas chaves, fornecerão informação de vazão instantânea.

Os equipamentos a serem instalados devem ser pré aprovados pela fiscalização do contrato e devem permitir acompanhamento em tempo real dos dados.

A obtenção de dados primários, deve seguir o seguinte:

- As estações hidrometeorológicas a serem instaladas devem possuir passo máximo de medição de chuvas de 1 minuto, sendo recomendados modelos com passos de medição na casa de segundos. Devem possuir sistema de transmissão remota via sinal de celular para monitoramento automático dos dados.
- Os modelos de medidores fluviométricos a serem instalados devem ser previamente autorizados pela comissão de fiscalização.

Duração do Monitoramento: 12 meses, ou até a finalização do Estudo Hidrológico, caso haja prorrogação de prazo do mesmo.

Entregas:

O evento 9 será considerado finalizado com a apresentação por parte do contratado, e a aprovação da comissão fiscalizadora e do órgão financiador (CEF), dos seguintes documentos:

1. Relatório Técnico da Campanha de Monitoramento Hidrológico, constando:
 - Relato dos trabalhos em campo;
 - Histórico de ocorrências adversas com os equipamentos, como trocas, dados inconsistentes, perda de informações;
 - No caso de haver períodos sem dados, por fato superveniente e imprevisível, realizar inferência estatística, utilizando as estações mais próximas do SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos);
2. Banco de dados em formato digital (CSV ou MDB) com as informações coletadas e consolidadas;

4.6.5. Modelagem Hidráulica e Hidrológica

Utilizando os dados do levantamento topo cadastral e toda a Frente 1, montar modelos no SWMM, HEC RAS e HEC HMS que sejam fidedignos à microbacia urbana do bairro Várzea. **O objetivo dessa fase é obter um modelo da rede atual da área de interesse.**

O contratado deve desenvolver, calibrar e validar modelos hidrológicos e hidráulicos representativos da Bacia do Arroio Jucuri, integrando as informações da Frente 1 (topografia, cadastro de drenagem, uso do solo, solos, pluviometria/fluviometria do Evento 6), de forma a:

- Quantificar a resposta chuva–vazão por sub-bacias e no exutório;
- Simular o escoamento em rede urbana (microdrenagem) e no curso d'água principal e afluentes (macrodrenagem);
- Mapear faixas de inundação, profundidades, velocidades e classes de risco para diferentes períodos de retorno;

Abrangência e softwares

- I. HEC-HMS: modelagem chuva–vazão em escala de bacia/sub-bacia (hidrologia de eventos e contínua).
- II. SWMM: modelagem detalhada da drenagem urbana (microdrenagem, LIDs/BMPs) e interação superfície–rede.
- III. HEC-RAS 1D/2D: propagação hidráulica em leito e várzea, com estruturas (pontes, bueiros, barragens, travessias), em regime não permanente.

Premissas gerais: Sistema de referência: SIRGAS 2000/UTM (EPSG 31982), cota altimétrica conforme datum do levantamento; Unidades métricas do SI. Hidrologia/hidráulica em passos de tempo coerentes com a escala do fenômeno e o critério de Courant; Integração com o Evento 6 para calibração/validação com dados primários (nível, vazão, chuva)

Duas rodadas de calibração: preliminar (com dados históricos/contínuos disponíveis) e final (com base nos 12 meses do monitoramento do Evento 6, quando concluídos).

A fim de obter dados de campo sobre a capacidade de infiltração, o contratado deve realizar pelo menos 3 ensaios de anéis concêntricos (Duplo Anel), de acordo com as normas NORMA ABGE 107/2024 e ASTM D3385-18 (2018). Os locais de ensaio devem ser escolhidos pelo responsável técnico, em função da calibração do modelo.

4.6.6. Evento 10 – Modelagem Da Microdrenagem (SWMM)

Por meio do Storm Water Management Model (SWMM), software livre e gratuito, utilizando dados da atualização cadastral, deverão ser modeladas, por microbacia de contribuição, todas as entradas de microdrenagem na rede de canais de macrodrenagem, com ênfase em pontos críticos – como reduções, encontros de redes em ângulos desfavoráveis, e pontos de alagamento históricos na região de estudo.

Essa modelagem visa dar embasamento técnico para a proposição de novos canais de macrodrenagem, bacias de retenção ou retenção de drenagem pluvial que diminuam os aportes na rede de macrodrenagem, e demais sugestões que surjam da análise dos dados.

Modelagem da Rede de Microdrenagem:

Nesta etapa, utilizando os dados obtidos nas etapas anteriores, deverão ser modeladas via SWMM:

- Localização e dimensões de bocas de lobo, poços de visita, galerias, canaletas, sarjetas e outros componentes da rede. Materiais de construção, estado de conservação e capacidade de vazão de cada componente.
- Conexões entre os diferentes componentes da rede.
- Utilizar dados existentes (plantas, cadastros municipais, etc.) e realizar levantamentos de campo para complementar as informações.

Delimitação de Sub-bacias

Delimitar as sub-bacias de contribuição rede, considerando a topografia do terreno, a declividade das ruas e a direção do escoamento superficial e das redes de drenagem.

Utilizar modelos digitais de elevação (MDE) de alta resolução e ferramentas de geoprocessamento para auxiliar na delimitação das sub-bacias.

Caracterização das Superfícies:

Determinar a área total e a área impermeável de cada sub-bacia, considerando o tipo de cobertura do solo (asfalto, concreto, grama, etc.) e o grau de impermeabilização.

Estimar o coeficiente de escoamento superficial para cada sub-bacia, utilizando tabelas e métodos apropriados.

Modelo Digital (SWMM)

1. Criação do Modelo:

Implementar o modelo da rede de microdrenagem no software SWMM, representando cada componente da rede (bocas de lobo, galerias, poços de visita, etc.) com suas características físicas e hidráulicas. Simplificações serão admitidas, desde que representativas do fenômeno geral.

Utilizar dados cadastrais, levantamentos topográficos e informações de campo para garantir a precisão do modelo.

2. Definição dos Parâmetros:

Definir os parâmetros hidrológicos e hidráulicos do modelo, como:

- Coeficientes de rugosidade de Manning para os diferentes tipos de superfície e canais.
- Capacidade de infiltração do solo.
- Características das bocas de lobo (tipo, área de captação, eficiência).
- Dimensões e características das galerias (diâmetro, declividade, material).

Calibrar os parâmetros do modelo utilizando dados de eventos de chuva-vazão observados na área de estudo.

3. Simulação de Eventos de Chuva:

Simular o comportamento da rede de microdrenagem para diferentes eventos de chuva, utilizando dados pluviométricos históricos e de projeto.

Considerar diferentes cenários de tempo de retorno (ex: 2, 5, 10, 25, 50, 100 anos) e diferentes distribuições temporais da chuva. Analisar os resultados das simulações, identificando os pontos críticos de alagamento, os trechos da rede com maior carga hidráulica, tempos de esvaziamento da rede, velocidades e demais parâmetros disponíveis.

4. Análise da Capacidade da Rede e Identificação de Pontos Críticos:

I. Avaliação da Capacidade:

Avaliar a capacidade da rede de microdrenagem para diferentes eventos de chuva, determinando se a rede é capaz de escoar as vazões geradas sem causar alagamentos.

Identificar os trechos da rede que estão subdimensionados e que necessitam de ampliação ou requalificação.

II. Identificação de Pontos Críticos:

Mapear os pontos críticos de alagamento na rede de microdrenagem, com base nos resultados das simulações e em dados históricos de alagamentos. Analisar as causas dos alagamentos em cada ponto crítico, identificando os fatores que contribuem para a ocorrência dos eventos.

Entregas

O evento 10 será considerado finalizado com entrega de Relatório Técnico detalhado com a descrição da metodologia utilizada, os resultados obtidos e as recomendações propostas, dividido da seguinte forma:

1. Modelo SWMM da rede de microdrenagem calibrado e validado (com envio dos arquivos digitais de todo o modelamento).
2. Mapas temáticos de alta qualidade apresentando os pontos críticos de alagamento, as áreas de risco e as soluções propostas.
3. Apresentação dos resultados do estudo em reuniões técnicas, para escolha das soluções a serem detalhadas em etapa subsequente.

4.6.7. Evento 11 – Modelagem da Macrodrenagem e Áreas de Inundação (HEC RAS e HEC HMS) e Alagamento (SWMM)

Objetivo: Realizar uma modelagem hidrológica e hidráulica detalhada da bacia hidrográfica e da área de estudo, utilizando os softwares HEC-HMS e HEC-RAS (1D e 2D), visando determinar a mancha de inundação para diferentes cenários de cheias e subsidiar a gestão de riscos, o planejamento urbano e eventuais propostas de projetos a serem detalhadas em etapa posterior.

Modelagem Hidrológica com HEC-HMS

Delimitação da Bacia Hidrográfica: Utilizar dados topográficos de alta resolução (ex: modelos digitais de elevação – MDE) para delimitar a bacia hidrográfica e as sub-bacias de contribuição para os principais cursos d'água. Verificar a consistência da delimitação com informações de campo e imagens de satélite.

Caracterização Física da Bacia: Determinar as características físicas da bacia e das sub-bacias, como área, perímetro, declividade média, comprimento do rio principal, densidade de drenagem e outros parâmetros relevantes.

Índices Fisiográficos de Interesse:

- i. Área da Bacia (A): A área total da bacia hidrográfica, expressa em km² ou ha. É um dos parâmetros mais importantes, pois influencia diretamente o volume de água que escoar pela bacia.
- ii. Perímetro da Bacia (P): O comprimento da linha que delimita a bacia hidrográfica, expressa em km ou m.
- iii. Comprimento da Bacia (Lb): Distância em linha reta entre o exutório (ponto de saída da água da bacia) e o ponto mais distante da bacia na direção do rio principal, expressa em km ou m.
- iv. Largura Média da Bacia (Lm): Obtida pela divisão da área da bacia pelo seu comprimento ($Lm = A / Lb$), expressa em km ou m.
- v. Fator de Forma (Kf): Relação entre a área da bacia e o quadrado do seu comprimento ($Kf = A / Lb^2$). Varia de 0 a 1 e indica a tendência da bacia a gerar picos de cheia mais ou menos intensos.
- vi. Índice de Compacidade ou Índice de Gravelius (Kc): Relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo com a mesma área da bacia ($Kc = P / (2 * \sqrt{\pi * A})$). Quanto mais próximo de 1, mais a forma da bacia se assemelha a um círculo.
- vii. Índice de Circularidade (Ic): Relação entre a área da bacia e a área de um círculo com o mesmo perímetro da bacia ($Ic = 4\pi A / P^2$). Varia de 0 a 1 e indica o quão circular é a forma da bacia.
- viii. Alongamento (Re): $Re = Db/Lb$, onde Db é o diâmetro de um círculo de área equivalente à bacia e Lb é o comprimento da bacia.
- ix. Altitude Máxima (Hmax): A maior altitude encontrada na bacia hidrográfica, expressa em metros.
- x. Altitude Mínima (Hmin): A menor altitude encontrada na bacia hidrográfica, geralmente no exutório, expressa em metros.
- xi. Amplitude Altitudinal (H): Diferença entre a altitude máxima e a altitude mínima da bacia ($H = Hmax - Hmin$), expressa em metros.
- xii. Declividade Média da Bacia (Sb): Medida da inclinação média do terreno na bacia, expressa em porcentagem ou graus. Pode ser calculada por diferentes métodos, como o método das curvas de nível ou o método dos perfis topográficos.

- xiii. Curva Hipsométrica: Representação gráfica da distribuição das altitudes na bacia, mostrando a porcentagem da área da bacia acima de cada altitude.
- xiv. Integral Hipsométrica: Área sob a curva hipsométrica, expressa em porcentagem. Indica o estágio de desenvolvimento geomorfológico da bacia.
- xv. Comprimento Total dos Rios (ΣL): A soma dos comprimentos de todos os rios e córregos da bacia hidrográfica, expressa em km ou m.
- xvi. Densidade de Drenagem (Dd): Relação entre o comprimento total dos rios e a área da bacia ($Dd = \Sigma L / A$), expressa em km/km² ou m/ha. Indica o grau de desenvolvimento da rede de drenagem.
- xvii. Ordem dos Rios (Nu): Classificação hierárquica dos rios da bacia, utilizando o sistema de Strahler ou outros métodos.
- xviii. Número de Rios de Cada Ordem (Nu): Quantidade de rios de cada ordem na bacia.
- xix. Relação de Bifurcação (Rb): Relação entre o número de rios de uma ordem e o número de rios da ordem imediatamente superior ($Rb = Nu / Nu+1$). Indica o grau de ramificação da rede de drenagem.
- xx. Extensão Média de Escoamento Superficial (Lg): Distância média que a água percorre na superfície do terreno antes de atingir um canal de drenagem ($Lg = 1 / (2 * Dd)$).
- xxi. Índice de Rugosidade: Medida da irregularidade do terreno, que influencia o escoamento superficial.
- xxii. Índice de Umidade Antecedente: Medida da umidade do solo antes de um evento de chuva, que influencia a infiltração e o escoamento superficial.
- xxiii. Índice de Vegetação: Medida da cobertura vegetal da bacia, que influencia a interceptação da chuva e a evapotranspiração.

Caracterização do Uso do Solo e Cobertura Vegetal: Mapear o uso do solo e a cobertura vegetal da bacia, utilizando imagens de satélite, dados cadastrais e informações de campo.

Classificar o uso do solo em categorias relevantes para a modelagem hidrológica (ex: área urbana, área agrícola, floresta, pastagem, etc.). Determinar o grau de impermeabilização das áreas urbanas.

Estimativa dos Parâmetros Hidrológicos: Estimar os parâmetros hidrológicos necessários para o modelo HEC-HMS, como:

- Tempo de concentração (Tc)
- Curva Número (CN) do SCS
- Taxa de infiltração

- Coeficientes de armazenamento
- Outros parâmetros relevantes

Utilizar métodos empíricos, dados de estações meteorológicas e informações de campo, da campanha de monitoramento, para estimar os parâmetros.

Calibração e Validação do Modelo: Calibrar o modelo HEC-HMS utilizando dados históricos de chuva e vazão, ajustando os parâmetros do modelo para reproduzir o comportamento hidrológico da bacia.

Validar o modelo utilizando um conjunto de dados diferente do utilizado na calibração, verificando a sua capacidade de prever eventos de cheias e secas.

Avaliar o desempenho do modelo utilizando indicadores estatísticos apropriados (ex: Nash-Sutcliffe Efficiency, Root Mean Square Error).

Simulação de Cenários de Cheias: Simular eventos de cheias para diferentes cenários de tempo de retorno (ex: 2, 5, 10, 25, 50, 100 anos), utilizando dados de precipitação de projeto obtidos a partir da análise de frequência.

Gerar hidrogramas de cheias para os principais pontos da bacia hidrográfica, incluindo a área de estudo e o Complexo Lago Dourado.

Modelagem Hidráulica 2D com HEC-RAS:

Deverá ser utilizada a versão mais recente disponível do HEC-RAS.

Preparação dos Dados Topográficos:

Integrar os dados topográficos e batimétricos (obtidos nas etapas anteriores) em um modelo de terreno unificado, utilizando técnicas de interpolação e suavização.

Criação da Malha Computacional: Criar uma malha computacional 2D, ou 3D se necessário e viável, para representar a área de estudo no HEC-RAS, utilizando elementos finitos ou volumes finitos.

Definir o tamanho e a densidade da malha, considerando a precisão desejada e a capacidade computacional disponível.

Refinar a malha nas áreas de maior interesse (ex: áreas urbanas, obras de arte, etc.).

Definição das Condições de Contorno: Definir as condições de contorno do modelo hidráulico, incluindo:

- hidrogramas de cheias nos pontos de entrada da água na área de estudo (obtidos na modelagem hidrológica com HEC-HMS).
- Condições de jusante (ex: curva de remanso, nível de água fixo).
- Condições de contorno internas (ex: rios afluentes, canais de drenagem).

Representar as obras de arte (pontes, bueiros, etc.) de forma precisa no modelo, utilizando as ferramentas disponíveis no HEC-RAS.

Atribuir os parâmetros hidráulicos necessários para o modelo HEC-RAS, como:

- Coeficientes de rugosidade de Manning para os diferentes tipos de superfície (canal, planície de inundação, áreas urbanas, etc.).
- Coeficientes de contração e expansão para as obras de arte (caso considere-se significativo);
- Calibrar os parâmetros do modelo utilizando dados de eventos de cheias observados na área de estudo.

Simulação de Cheias: Simular o escoamento da água na área de estudo para os diferentes cenários de cheias definidos na modelagem hidrológica.

Utilizar um passo de tempo adequado para garantir a estabilidade e a precisão dos resultados. Monitorar a convergência do modelo e verificar a consistência dos resultados.

Mapeamento da Mancha de Inundação: Exportar os resultados da simulação para um sistema de informação geográfica (SIG). Gerar mapas da mancha de inundação para diferentes cenários de cheias, apresentando a profundidade, a velocidade e o tempo de duração da inundação em cada ponto da área de estudo.

Identificar as áreas mais vulneráveis aos impactos das cheias.

Análise e Validação dos Resultados:

Comparação com Dados Observados: Comparar os resultados da modelagem com dados de eventos de cheias observados na área de estudo, como:

- Níveis de água em estações limnimétricas.

- Extensão das áreas inundadas.
- Relatos de moradores e órgãos de defesa civil.

Análise de Sensibilidade: Realizar uma análise de sensibilidade dos resultados da modelagem em relação aos principais parâmetros de entrada (ex: precipitação, rugosidade, parâmetros do modelo hidrológico).

Identificar os parâmetros que têm maior influência nos resultados e avaliar a incerteza associada a esses parâmetros.

Validação do Modelo: Validar o modelo utilizando um conjunto de dados diferente do utilizado na calibração e na análise de sensibilidade.

Avaliar a capacidade do modelo de prever eventos de cheias futuras.

Entregas:

O Evento 11 será finalizado com a entrega da seguinte documentação, no formato de Relatório Técnico:

1. Relatório técnico detalhado com a descrição da metodologia utilizada, os dados coletados, os resultados obtidos e as conclusões do estudo.
2. Modelos HEC-HMS e HEC-RAS (2D) calibrados e validados, em formato digital, acompanhados de documentação detalhada sobre a sua utilização.
3. Mapas da mancha de inundação para diferentes cenários de cheias, apresentando a profundidade, a velocidade e o tempo de duração da inundação em cada ponto da área de estudo.
4. Relatório de análise de sensibilidade e incerteza dos resultados da modelagem.

4.6.8. Evento 12 - Retroanálise – Efeitos da Inundação pelo Rio Pardinho nas Macro e Microdrenagens

Neste item o contratado deve avaliar a precisão e capacidade preditiva do seu modelo usando os dados disponíveis da cheia histórica de maio de 2024. Assim, ter-se-á uma avaliação

precisa das eventuais extrapolações de dados, uma vez que a excepcionalidade do evento colocará à prova os métodos estatísticos.

Coleta de Dados: Coletar dados pluviométricos horários (ou em intervalos menores, se disponíveis) de todas as estações meteorológicas da bacia hidrográfica durante o período da cheia de maio de 2024. Verificar a qualidade e a consistência dos dados, corrigindo eventuais erros e preenchendo falhas utilizando métodos apropriados.

Coletar dados de níveis de água e vazões em estações fluviométricas do rio Pardinho, seus afluentes e dos rios a jusante durante o período anterior, durante e posterior à cheia maio de 2024, até o retorno aos níveis normais.

Obter informações sobre os horários de pico da cheia, comparando as áreas inundadas registradas com as fornecidas pelo modelo. Obter imagens aéreas ou de satélite da área de estudo durante o período da cheia de maio de 2024, para verificar a extensão das áreas inundadas.

Realizar levantamentos de campo para determinar as cotas máximas atingidas pela água em pontos estratégicos da área de estudo, caso não mapeadas pela municipalidade no levantamento a ser fornecido ao contratado.

Simulação da Cheia de Maio de 2024

Utilização dos Modelos Calibrados: Utilizar os modelos hidrológico (HEC-HMS) e hidráulico (HEC-RAS 2D) calibrados e validados nas etapas anteriores do estudo. Inserir os dados pluviométricos da cheia de maio de 2024 no modelo hidrológico e simular a resposta da bacia hidrográfica. Utilizar os hidrogramas de cheias gerados pelo modelo hidrológico como condição de contorno para o modelo hidráulico.

Simulação do Escoamento: Simular o escoamento da água na área de estudo durante a cheia de maio de 2024, utilizando o modelo hidráulico 2D. Considerar as condições de contorno apropriadas (ex: nível de água no exutório).

Monitorar a convergência do modelo e verificar a consistência dos resultados.

Comparação dos Resultados da Simulação com os Dados Observados

Análise Visual e Vetorial: Comparar visualmente a mancha de inundação simulada com as imagens aéreas ou de satélite da cheia de maio de 2024. Verificar se o modelo reproduz corretamente a extensão das áreas inundadas e os padrões de escoamento da água. Utilizar camadas vetoriais geradas pelo contratante – vistoriadas *in loco* – com as geradas pelo modelo, comparando as diferenças em software de Geoprocessamento, preferencialmente de acesso livre, como o Qgis.

Análise Quantitativa: Comparar os níveis de água simulados com os níveis de água observados nas estações limnimétricas. Calcular indicadores estatísticos para avaliar a precisão da simulação (ex: Root Mean Square Error, Nash-Sutcliffe Efficiency). Comparar as vazões simuladas com as vazões observadas nas estações fluviométricas, se disponíveis.

Análise da Propagação da Cheia: Comparar os tempos de pico da cheia simulados com os tempos de pico observados em diferentes pontos da área de estudo. Verificar se o modelo reproduz corretamente a velocidade de propagação da cheia.

Identificação de Discrepâncias: Identificar as áreas onde os resultados da simulação não concordam com os dados observados. Analisar as possíveis causas das discrepâncias (ex: erros nos dados de entrada, simplificações no modelo, etc.).

Ajustes nos Parâmetros: Ajustar os parâmetros do modelo hidrológico e hidráulico para melhorar a concordância entre os resultados da simulação e os dados observados. Realizar uma análise de sensibilidade para avaliar o impacto dos ajustes nos resultados.

Entrega:

Relatório da Retroanálise

Elaborar um relatório técnico detalhado descrevendo a metodologia utilizada, os dados coletados, os resultados da simulação e a comparação com os dados observados. Apresentar os indicadores estatísticos utilizados para avaliar a precisão da simulação.

Discutir as limitações do modelo e as incertezas associadas aos resultados, concluindo sobre a capacidade preditiva do modelo e a sua adequação para a gestão de riscos de inundações na área de estudo.

Critérios de Aceitação: A simulação da cheia de maio de 2024 deverá apresentar resultados consistentes com os dados observados, com um nível de precisão aceitável.

O relatório da retroanálise deverá ser claro, objetivo e completo, apresentando todos os dados, métodos e resultados utilizados.

O contratado deverá demonstrar capacidade de analisar criticamente os resultados da simulação, indicando índices de coerência e assertividades utilizados, e propor ajustes no modelo, se necessário.

4.6.9. Evento 13 – Elaboração de Manchas de Inundação e Cotas de Monitoramento

Produzir manchas de inundação e mapas derivados, bem como definir cotas de monitoramento (atenção, alerta e emergência) para pontos e seções de interesse na área da Bacia do Rio Pardinho, com base nos modelos calibrados dos Evento 10 e 11.

Escopo dos serviços:

- Gerar, para os tempos de retorno definidos no Evento 11, as seguintes camadas: mancha de inundação, profundidade de lâmina d'água, velocidade média, tempo de chegada e duração de alagamento.
- Definir cotas de monitoramento por ponto/seção (níveis de atenção, alerta e emergência), associando-as a gatilhos operacionais para a Defesa Civil e órgãos gestores.
- Consolidar insumos de topografia, cadastro de drenagem, uso e ocupação do solo, precipitação e séries hidrometeorológicas validadas (Frente 1 e Eventos 10 e 11).
- Tratar inconsistências (falsos positivos/negativos, áreas desconectadas, buracos topológicos) e registrar decisões de edição cartográfica.

Metodologia e critérios mínimos:

- Utilizar resultados dos modelos do Evento 11 (HEC-RAS/2D e equivalentes) como base hidráulica e cenários hidrológicos (HEC-HMS/SWMM).
- Processamento espacial com prioridade a formatos abertos; validações topológicas e checagem de conectividade hidrológica.
- Classificação de níveis de criticidade conforme diretrizes de gestão de risco (atenção < alerta < emergência) e histórico local.
- Sistema de referência: SIRGAS2000; projeção UTM (EPSG 31982); referência altimétrica compatível com o padrão oficial vigente (modelo geoidal brasileiro). Precisão compatíveis com a escala de trabalho definida no Evento 5, 7 e 11.
- Registro completo de premissas (malha, condições de contorno, rugosidade, cotas de controle) e de qualquer ajuste manual.
- Aplicar as sugestões de ***Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil*** (Paiva et al, 2024).

Entradas mínimas: Modelos calibrados e validados do Evento 11, insumos cartográficos atualizados, rede de drenagem e seções de controle, séries de precipitação e vazão/nível, pontos de monitoramento dos Eventos 7 e 8.

Entregas:

1. Mapas em PDF/GeoPDF por tempo de retorno, com layout padronizado (legenda, escala gráfica, norte, sistema de referência, fonte, data e versão).
2. Camadas vetoriais: manchas e eixos hidrológicos (GeoPackage e Shapefile), com atributos de TR, profundidade, velocidade e metadata.
3. Rasters: profundidade, velocidade, tempo de chegada e duração (GeoTIFF, 32-bit, com CRS e NoData definidos).
4. Tabela de cotas de monitoramento por ponto/seção (CSV e XLSX) com níveis de atenção/alerta/emergência, coordenadas e justificativa técnica.
5. Relatório técnico analítico (memorial descritivo) com metodologia, premissas, validações, incertezas, mapa de calor de qualidade e plano de atualização.
6. Arquivos de estilo (SLD/QML) e projeto de visualização (QGIS) para reprodutibilidade.
7. Implantação de 45 marcos físicos, delimitando limites das Cotas de Monitoramento.

Critérios de aceitação:

- Consistência hidráulica com os modelos calibrados do Evento 7 e coerência espacial com a base topográfica e o cadastro da drenagem.
- Validações documentadas: topologia sem erros críticos; diferenças altimétricas dentro das tolerâncias definidas; fechamento de balanço entre volumes inundados simulados e mapeados.
- Metadados completos (origem, data, versão, CRS, precisão, responsável) e controle de versões dos produtos.
- Reprodutibilidade: possibilidade de refazer mapas a partir dos insumos e do roteiro metodológico entregue.

4.6.10. Evento 14 – Determinação das Cotas e Zonas de Inundação

A modelagem hidrológica e hidráulica deve fornecer manchas de inundação para diferentes períodos de retorno, assim como demarcar coordenadas que sirvam de referência para a delimitação urbanística de diferentes zonas de ocupação controlada.

Tempos de Retorno: Definir os tempos de retorno a serem considerados para a determinação das cotas e zonas de inundação, incluindo:

- Eventos frequentes (ex: 2, 5, 10 anos)
- Eventos raros (ex: 25, 50, 100 anos)
- Eventos extremos (ex: 200, 500 anos)

Cenários de Mudanças Climáticas: Considerar diferentes cenários de mudanças climáticas (aumento da temperatura, alteração dos padrões de precipitação, elevação do nível do mar, etc.) e avaliar os seus impactos nos níveis de inundação. Um exemplo é a nota técnica do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS): “*Crerérios Hidrológicos Para Adaptação À Mudança Climática: Chuvas E Cheias Extremas Na Região Sul Do Brasil*”, disponível em <https://www.ufrgs.br/iph/nota-tecnica-criterios-hidrologicos-para-adaptacao-a-mudanca-climatica-chuvas-e-cheias-extremas-na-regiao-sul-do-brasil/>

Cenários de Ocupação do Solo: Considerar diferentes cenários de ocupação do solo na bacia hidrográfica (ex: aumento da impermeabilização, expansão das áreas urbanas, desmatamento, etc.) e avaliar os seus impactos nos níveis de inundação.

Determinação das Cotas de Inundação

Extração dos Resultados da Modelagem: Extrair os resultados da modelagem hidráulica (HEC-RAS 2D) para cada cenário de cheia, obtendo as profundidades máximas da água em cada ponto da área de estudo.

Cálculo das Cotas de Inundação: Somar as profundidades máximas da água às cotas do terreno (obtidas a partir do modelo digital de elevação – MDE) para determinar as cotas de inundação para cada cenário. Identificar em arquivo vetorial os limites de inundação para cada zona determinada nessa etapa do estudo, a fim de propiciar a instalação de marcos físicos no terreno, indicando cada uma das zonas determinadas.

Geração de Mapas de Cotas de Inundação: Gerar mapas de cotas de inundação para cada cenário, apresentando as áreas atingidas pela água e as respectivas cotas máximas.

Delimitação das Zonas de Inundação

Definição das Zonas de Risco: Definir as zonas de risco de inundação com base nas cotas de inundação e nos critérios estabelecidos pelas normas técnicas e pela legislação municipal, estadual e federal.

As zonas de risco podem incluir:

Zona de Preservação Permanente (APP) - Áreas marginais aos cursos d'água que devem ser preservadas para garantir a estabilidade do solo e a proteção da qualidade da água.

Zona de Proteção – Áreas onde a ocupação deve ser restrita para minimizar os riscos de inundações e desastres.

Zona de Alerta – Áreas onde a população deve ser alertada sobre o risco de inundações e preparada para evacuar em caso de emergência.

Zona de Segurança – Áreas onde o risco de inundações é baixo e a ocupação pode ser permitida com restrições mínimas.

Análise de Vulnerabilidade

Identificação dos Elementos Expostos:

- Identificar os elementos expostos aos riscos de inundações nas diferentes zonas de risco, incluindo:
- Edificações residenciais, comerciais e industriais
- Infraestruturas (ex: estradas, pontes, redes de energia, redes de saneamento)
- Equipamentos urbanos (ex: escolas, hospitais, parques)
- População residente e pendular;

Avaliação dos Danos Potenciais:

Estimar os danos potenciais causados pelas inundações em cada elemento exposto, considerando a profundidade, a velocidade e o tempo de duração da inundação. Utilizar modelos de avaliação de danos para estimar os prejuízos econômicos, sociais e ambientais causados pelas inundações.

Identificação de Grupos Vulneráveis:

Identificar os grupos populacionais mais vulneráveis aos impactos das inundações (ex: idosos, crianças, pessoas com deficiência, famílias de baixa renda). Analisar as necessidades específicas desses grupos e propor medidas para protegê-los em caso de emergência.

Entregas

O evento 14 será considerado como atingido com a entrega de **Relatório Técnico – Definição de Zonas de Inundação e Zoneamentos**, contendo os seguintes itens:

1. Relatório técnico detalhado com a descrição da metodologia utilizada, os dados coletados, os resultados obtidos e as recomendações propostas.
2. Mapas de cotas de inundação para diferentes cenários de cheias, em pranchas e arquivos digitais georreferenciados em .dwg e .shp, no mínimo.
3. Mapas de zoneamento de risco de inundações, apresentando as diferentes zonas de risco e as regras de ocupação para cada zona.
4. Relatório de análise de vulnerabilidade, identificando os elementos expostos e os danos potenciais causados pelas inundações.
5. Recomendações para a gestão de riscos de inundações e o planejamento urbano, em especial com vistas à modificações nas políticas públicas e Plano Diretor.
6. Integralidade dos modelos hidrológicos e hidráulicos, utilizados no HEC HMS e HEC RAS, em arquivos digitais, incluindo os dados brutos e de validação;

4.6.11. Evento 15 – Modelagem de Alternativas para Redução e Contenção de Cheias

Simular e avaliar tecnicamente a eficácia de diferentes alternativas estruturais e não estruturais de manejo de águas pluviais para a redução e contenção de inundações na microbacia do bairro Várzea. Esta etapa visa subsidiar a seleção das soluções mais adequadas para a elaboração de projetos executivos futuros, considerando critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

Contexto e Insumos: Os insumos para este evento serão os resultados e produtos obtidos nas etapas anteriores, que fornecem uma compreensão aprofundada do problema e as ferramentas para testar as soluções:

- Modelos hidrológicos e hidráulicos calibrados e validados (HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM) provenientes dos Eventos 8, 9 e 10.

- Mapas de manchas de inundação e cotas de monitoramento para diferentes tempos de retorno (Eventos 9, 11 e 12), que servirão como linha de base para comparação.
- Identificação de pontos críticos, áreas vulneráveis e causas dos alagamentos (Eventos 8, 9, 10 e 12).
- Dados topográficos, cadastrais, de uso e ocupação do solo (Frente de Trabalho 1, Evento 5).
- Resultados da investigação geotécnica (Seção 4.7) para subsidiar parâmetros de infiltração e estabilidade do solo, essenciais para a modelagem de certas alternativas.

Alternativas a Serem Modeladas: A contratada deverá propor um conjunto de alternativas viáveis, baseando-se nas medidas já mapeadas em estudos prévios (Seção 3.3) e nas especificidades da área de estudo, incluindo, mas não se limitando a:

Medidas Estruturais:

1. Ampliação, retificação e/ou canalização de trechos críticos da rede de macrodrenagem (Rio Pardinho, Arroio Lajeado, Arroio Jucuri, Sanga Preta).
2. Implantação de reservatórios de amortecimento, bacias de retenção ou detenção, e estruturas de controle de vazão em locais estratégicos.
3. Melhorias na condutância de vazões sob infraestruturas lineares (BR-471, RS-409, BR – 287), por meio de novas galerias ou ampliação das existentes.
4. Desassoreamento de trechos críticos dos cursos d'água urbanos.
5. Retificação, desassoreamento e outras ações, em especial, a jusante da RS-409;
6. Implantação de Parque Linear em área pública a ser indicada.

Medidas Não Estruturais:

1. Modelagem dos efeitos da implantação de Parques Lineares ou faixas de preservação em Áreas de Preservação Permanente (APPs), considerando sua contribuição para a infiltração e retardo do escoamento.
2. Simulação de cenários de zoneamento da passagem de cheias e restrições de uso e ocupação do solo em áreas de risco.
3. Avaliação do impacto de medidas de controle na fonte (LIDs – *Low Impact Development* / BMPs – *Best Management Practices*) em cenários de ocupação futura ou de requalificação urbana.

Metodologia

1. **Proposição e Estudo Conceitual das Alternativas:** A contratada deverá elaborar um estudo conceitual das alternativas consideradas, justificando sua relevância, viabilidade técnica e potencial de mitigação dos problemas identificados.

2. **Modificação e Simulação nos Modelos Existentes:** As alternativas propostas serão incorporadas aos modelos hidrológicos (HEC-HMS) e hidráulicos (HEC-RAS 1D/2D,

SWMM) já calibrados e validados. Serão realizadas simulações para os mesmos tempos de retorno utilizados no Evento 9, permitindo uma comparação direta com as condições atuais:

- Para medidas estruturais, como reservatórios ou canalizações, os modelos serão alterados para refletir as novas características hidráulicas e topo batimétricas.
- Para medidas não estruturais que influenciam a hidrologia, os parâmetros de infiltração, tempo de concentração e coeficientes de escoamento serão ajustados nos modelos hidrológicos, conforme dados da investigação geotécnica e premissas de projeto.

3. Análise Comparativa de Eficácia: Avaliação quantitativa e qualitativa dos resultados das simulações, comparando as manchas de inundação (extensão, profundidade), velocidades de escoamento e duração dos alagamentos em cada cenário de alternativa com o cenário atual (sem intervenção).

4. Análise Multicritério: Desenvolvimento de uma matriz de decisão multicritério para avaliar e ranquear as alternativas mais promissoras, considerando:

- Redução da área e profundidade de inundação para diferentes tempos de retorno.
 - Estimativa de custos de implantação, operação e manutenção.
 - Impactos sociais, ambientais e econômicos (positivos e negativos).
 - Exequibilidade técnica e prazos de implementação.
 - Benefícios adicionais e sinergias com outras políticas públicas.
- **Elaboração de Recomendações Técnicas:** Com base na análise multicritério, serão elaboradas recomendações técnicas sobre as alternativas mais promissoras, justificando a escolha e os impactos esperados, visando a fase de projetos executivos.

Entregas

1. Relatório Técnico Detalhado: Documento contendo a descrição conceitual e técnica das alternativas propostas, a metodologia de modelagem empregada, os resultados das simulações para cada cenário, a análise de eficácia e a matriz de decisão multicritério. Deverá incluir:

- Resultados comparativos (gráficos e tabelas) das simulações pré e pós-implantação das alternativas.
- Análise de custo-benefício preliminar das alternativas.
- Recomendações fundamentadas para a seleção das alternativas a serem detalhadas em projetos executivos.

2. **Mapas Temáticos Comparativos:** Mapas em formato digital (GeoPDF, Shapefile) e impresso, apresentando as manchas de inundação (profundidade, velocidade e duração) para os cenários de alternativas, em comparação com os cenários atuais, para os tempos de retorno de projeto definidos.

3. **Modelos Numéricos Atualizados:** Arquivos digitais dos modelos hidrológicos e hidráulicos (HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM) com as modificações relativas às alternativas modeladas, acompanhados de documentação técnica detalhada para sua reprodução e uso futuro.

4. **Apresentação Técnica:** Reunião formal de apresentação dos resultados e das recomendações à fiscalização do contrato e à equipe técnica municipal, com espaço para discussão e validação.

Critérios de Aceitação

- Apresentação de um conjunto de alternativas tecnicamente justificadas, alinhadas com os objetivos do Termo de Referência e com o perfil da área de estudo.
- Simulações de modelos hidrológicos e hidráulicos coerentes, demonstrando claramente os impactos das alternativas propostas na dinâmica de inundações.
- Análise de eficácia e multicritério robusta e transparente, que permita uma tomada de decisão informada para a próxima fase.
- Relatório técnico claro, objetivo, completo e bem fundamentado, evidenciando todos os passos metodológicos e os resultados obtidos.
- Modelos numéricos atualizados e documentados que permitam a verificação e a reprodução independente dos resultados.

4.6.12. Evento 16 – Treinamento e Capacitação do Corpo Técnico

Programa de Treinamento “In Company” em Softwares com Foco em Drenagem Pluvial

O objetivo desse evento é capacitar até 10 servidores municipais no uso dos softwares HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM e QGIS para a modelagem, simulação e gestão de sistemas de drenagem pluvial. O treinamento visa aprimorar a capacidade de análise crítica dos produtos gerados no âmbito deste Termo de Referência, subsidiar a tomada de decisões e garantir a autonomia da gestão municipal nas ações de manutenção, planejamento e atualização dos modelos.

Público-Alvo: 10 servidores municipais com formação em engenharia, meio ambiente e áreas afins, responsáveis pela gestão e planejamento de sistemas de drenagem pluvial. A lista de participantes será indicada pela comissão de fiscalização.

Carga Horária Total: 160 horas (40 horas por software).

Formato: Treinamento “in company”, com aulas teóricas e práticas, exercícios de simulação e estudos de caso.

Local: Laboratório de informática a ser definido pelo contratante (município), com a possibilidade, avaliada em conjunto pelo contratado e comissão fiscalizadora do contrato, de realizar o treinamento na modalidade EAD (Ensino a Distância).

Instrutores: Profissionais especializados em modelagem hidrológica e hidráulica e em geoprocessamento, com experiência comprovada no uso dos softwares HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM e QGIS, e com diploma de graduação em Engenharia ou área afim. A equipe de instrutores deverá ser a mesma que atuou no desenvolvimento dos modelos e análises deste Termo de Referência, garantindo a transferência do conhecimento específico do projeto.

Certificação: Certificado de conclusão do curso para os participantes que cumprirem a carga horária mínima e obtiverem aproveitamento satisfatório nas avaliações.

Conteúdo Programático Detalhado por Módulo:

1. Módulo HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) - 40 horas

Objetivo: Capacitar os servidores a utilizar o HEC-HMS para a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas, simulação de eventos de chuva-vazão e análise de cenários de cheias e secas, com foco nos modelos desenvolvidos para a área de estudo.

Conteúdo Programático:

Introdução ao HEC-HMS:

- Conceitos básicos de hidrologia e modelagem hidrológica.
- Interface do software e principais funcionalidades.
- Configuração do ambiente de modelagem para os modelos do projeto.

Modelagem de Bacias Hidrográficas:

- Revisão da delimitação de bacias e sub-bacias hidrográficas da área de estudo.
- Caracterização física da bacia (área, declividade, cobertura do solo, etc.) e sua representação no modelo.
- Estimativa de parâmetros hidrológicos (tempo de concentração, curva número, etc.) e sua calibração no modelo.

Modelagem de Eventos de Chuva:

- Importação e análise de dados pluviométricos utilizados no projeto.
- Distribuição temporal da chuva (hietograma) e aplicação nos modelos.
- Modelos de transformação chuva-vazão (SCS, Green-Ampt, etc.) e sua parametrização.

Simulação de Cheias e Secas:

- Processo de calibração e validação do modelo hidrológico conforme realizado no projeto.
- Simulação de eventos de cheias e secas, incluindo cenários históricos e de projeto.
- Análise de sensibilidade e incerteza do modelo, e interpretação dos resultados.

Estudos de Caso:

- Modelagem hidrológica de bacias hidrográficas reais, preferencialmente aquelas que foram objeto deste Termo de Referência.
- Simulação de eventos de cheias e secas em diferentes cenários e análise dos resultados.
- Elaboração de relatórios técnicos e interpretação dos hidrogramas gerados.

2. Módulo HEC-RAS (River Analysis System) - 40 horas

Objetivo: Capacitar os servidores a utilizar o HEC-RAS para a modelagem hidráulica de rios e canais, simulação de escoamentos em regime permanente e variado, e análise de áreas inundáveis, aplicando os modelos desenvolvidos para o Rio Pardinho e seus afluentes.

Conteúdo Programático:

Introdução ao HEC-RAS:

- Conceitos básicos de hidráulica e modelagem hidráulica.
- Interface do software e principais funcionalidades, com foco nos modelos do projeto.
- Configuração do ambiente de modelagem 1D e 2D.

Modelagem de Rios e Canais:

- Revisão do levantamento topográfico e batimétrico do leito do rio e sua inserção no modelo.
- Definição das seções transversais do rio e da planície de inundação.
- Estimativa e calibração de parâmetros hidráulicos (rugosidade, declividade, etc.).

Simulação de Escoamentos em Regime Permanente:

- Definição das condições de contorno (vazão, nível de água, etc.) e simulação.
- Análise dos resultados e elaboração de perfis de escoamento.

Simulação de Escoamentos em Regime Variado (1D e 2D):

- Definição das condições de contorno (hidrograma de cheias, etc.) e simulação de eventos extremos.
- Análise dos resultados e elaboração de mapas de inundação (extensão, profundidade, velocidade, tempo de duração).

Estudos de Caso:

- Modelagem hidráulica de rios e canais reais, preferencialmente aqueles investigados durante a realização dos estudos deste Termo de Referência.
- Simulação de cheias e análise de áreas inundáveis em diferentes cenários.
- Elaboração de mapas de risco de inundações e relatórios técnicos.

3. Módulo SWMM (Storm Water Management Model) - 40 horas

Objetivo: Capacitar os servidores a utilizar o SWMM para a modelagem de sistemas de drenagem urbana, simulação de escoamentos em redes de microdrenagem e macrodrenagem, e avaliação de medidas de controle de cheias, com foco nos modelos desenvolvidos para o bairro Várzea.

Conteúdo Programático:

Introdução ao SWMM:

- Conceitos básicos de drenagem urbana e modelagem de sistemas de drenagem.
- Interface do software e principais funcionalidades, com foco nos modelos da microdrenagem.
- Configuração do ambiente de modelagem e importação de dados cadastrais.

Modelagem de Sistemas de Drenagem Urbana:

- Definição da rede de microdrenagem (bocas de lobo, galerias, poços de visita, etc.).
- Definição da rede de macrodrenagem (canais, rios, bacias de retenção, etc.).
- Caracterização das áreas de contribuição (impermeabilização, declividade, etc.) e seus parâmetros no SWMM.

Simulação de Escoamentos em Redes de Drenagem:

- Definição das condições de contorno (chuva, nível de água, etc.).
- Simulação de escoamentos em redes de microdrenagem e macrodrenagem.

- Análise dos resultados e identificação de pontos críticos de alagamento, incluindo tempos de esvaziamento e sobrecargas.

Avaliação de Medidas de Controle de Cheias:

- Simulação de diferentes cenários de controle de cheias (bacias de retenção, valas de infiltração, telhados verdes, etc.) e LIDs/BMPs.
- Análise dos resultados e avaliação da eficácia das medidas de controle de cheias na área de estudo.

Estudos de Caso:

- Modelagem de sistemas de drenagem urbana reais, preferencialmente os modelos de microdrenagem no entorno dos canais de macrodrenagem do município.
- Simulação de cheias e avaliação de medidas de controle em diferentes cenários.
- Elaboração de planos de gestão de águas pluviais e relatórios técnicos.

4. Módulo QGIS Aplicado aos Recursos Hídricos – 40 horas

Objetivo: Capacitar os servidores a utilizar o QGIS para a análise espacial de dados geográficos relacionados à drenagem pluvial, a criação de mapas temáticos, a gestão de bancos de dados espaciais e a integração com os softwares de modelagem hidrológica e hidráulica utilizados no projeto.

Conteúdo Programático:

Introdução ao QGIS:

- Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica (SIG).
- Interface do software e principais funcionalidades para análise ambiental.
- Configuração do ambiente de trabalho e sistemas de coordenadas (EPSG 31982).

Importação e Gestão de Dados Geográficos:

- Importação e manipulação de dados vetoriais (shapefiles, GeoPackage, etc.) e raster (MDE, ortofotos) gerados no projeto.
- Criação e edição de dados geográficos, com foco em dados de drenagem e uso do solo.
- Noções de gestão de bancos de dados espaciais (PostGIS, SpatiaLite, etc.).

Análise Espacial de Dados Hidrológicos:

- Análise de terrenos (declividade, aspecto, curvatura) a partir de MDEs.
- Delimitação de bacias hidrográficas e cálculo de parâmetros morfométricos.
- Análise de redes de drenagem, identificação de cursos d'água e microbacias.

Criação de Mapas Temáticos:

- Simbologia avançada de dados vetoriais e raster (manchas de inundação, níveis de alerta).
- Rótulos, anotações, e criação de layouts de impressão de alta qualidade (padrão A2 ou maior).
- Exportação de mapas em diferentes formatos (PDF, imagem, GeoPDF).

Integração com Softwares de Modelagem Hidrológica e Hidráulica:

- Exportação de dados para HEC-HMS, HEC-RAS e SWMM.
- Importação de resultados de modelagem (manchas, profundidades, velocidades) para o QGIS.
- Visualização e análise de resultados de modelagem em mapas temáticos comparativos.

Estudos de Caso:

- Análise espacial de dados de drenagem pluvial para cenários do Termo de Referência.
- Criação de mapas de risco de inundações e de zoneamento.
- Apoio ao planejamento de intervenções para a gestão de águas pluviais.

Softwares e Ferramentas:

- QGIS (versão LTR – *long term release* - mais recente).
- Plugins específicos para análise de recursos hídricos (ex: TauDEM, entre outros).

Dados Geográficos para Treinamento:

- Imagens de satélite de alta resolução das áreas de estudo.
- Modelos Digitais de Elevação (MDE) e de Superfície (MDS).
- Mapas topográficos e batimétricos.
- Dados cadastrais da rede de drenagem (micro e macrodrenagem).
- Dados pluviométricos e fluviométricos coletados na campanha de monitoramento.
- Modelos HEC-HMS, HEC-RAS e SWMM desenvolvidos no âmbito deste Termo de Referência.

Material Didático: O contratado deve elaborar e fornecer material didático em nível adequado ao curso, em formato digital, preferencialmente em arquivos .pdf, incluindo apostilas, conjuntos de dados para exercícios e manuais de referência.

Entrega:



O evento será dado como concluído após a aplicação de todos os cursos, com emissão de certificado para os participantes.

4.7. Investigação Geotécnica Preliminar

Evento 17 – Investigação Geotécnica Preliminar

O contratado deve desenvolver uma investigação geológico geotécnica preliminar, a fim de levantar dados de campo para os modelos hidrológicos e hidráulicos. Informações do entorno dos cursos d'água e canais de macrodrenagem, com vistas a embasar a etapa posterior de elaboração de projetos executivos das medidas que a contratada sugerir para a região alvo dos trabalhos.

Também devem ser feitas coletas de solo e ensaios de permeabilidade em pontos representativas dos diversos usos de solo presentes na bacia de contribuição, a fim de determinar com representatividade adequada os valores da capacidade de infiltração do solo na região.

Os **perfis de sondagem** devem ter escala homogênea e conter os seguintes elementos mínimos:

- Referência de nível;
- Posição do NA;
- Tipo de sondagem;
- Tipo de amostrador;
- Contatos de horizontes e profundidades;
- Legenda gráfica dos materiais;
- Descrição sumária dos horizontes sondados;
- Nivelamento das “bocas” dos furos de sondagem; e
- Posição da superfície de cisalhamento.

As **amostras deformadas** serão submetidas aos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica por peneiramento simples;
- Análise granulométrica por sedimentação e densidade real dos grãos, em amostras representativas dos grupos de solos existentes com características geológico-geotécnicas similares;
- Limite de liquidez;
- Limite de plasticidade;
- Umidade natural;

- Solo – Ensaio de compactação – executado com no mínimo 5 pontos, conforme norma brasileira;
- Ensaio de CBR (ISC) e Expansão, conforme norma brasileira.

As **amostras indeformadas** serão submetidas aos ensaios:

- Massa específica aparente;
- Granulometria com sedimentação;
- Limite de liquidez;
- Limite de plasticidade;
- Densidade real dos grãos;
- Triaxial lento;
- Cisalhamento direto rápido pré-adensado na umidade natural e após saturação.

Os **ensaio de solo** deverão ser dirigidos para os seguintes objetivos:

- I. Determinação de índices físicos e resistência ao cisalhamento dos diversos materiais envolvidos;
- II. Determinação da Taxa de Infiltração Natural do solo;

Os ensaios acima citados serão conduzidos de acordo com as seguintes normativas técnicas:

- NBR 6484/2020 – Solo — Sondagem de simples reconhecimento;
- NBR 16797/2020 – Medida de torque em ensaios SPT durante a execução de sondagens de simples reconhecimento à percussão — Procedimento;
- NBR-9604 – Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas;
- NBR-9820 – Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem;

Os ensaio de penetração (SPT+T), seguidos de ensaios rotativos de perfuração, serão realizados de forma intercalada, entre as margens direita e esquerda, dos cursos d'água, em densidade a ser definida pelo responsável técnico, junto à comissão de fiscalização.

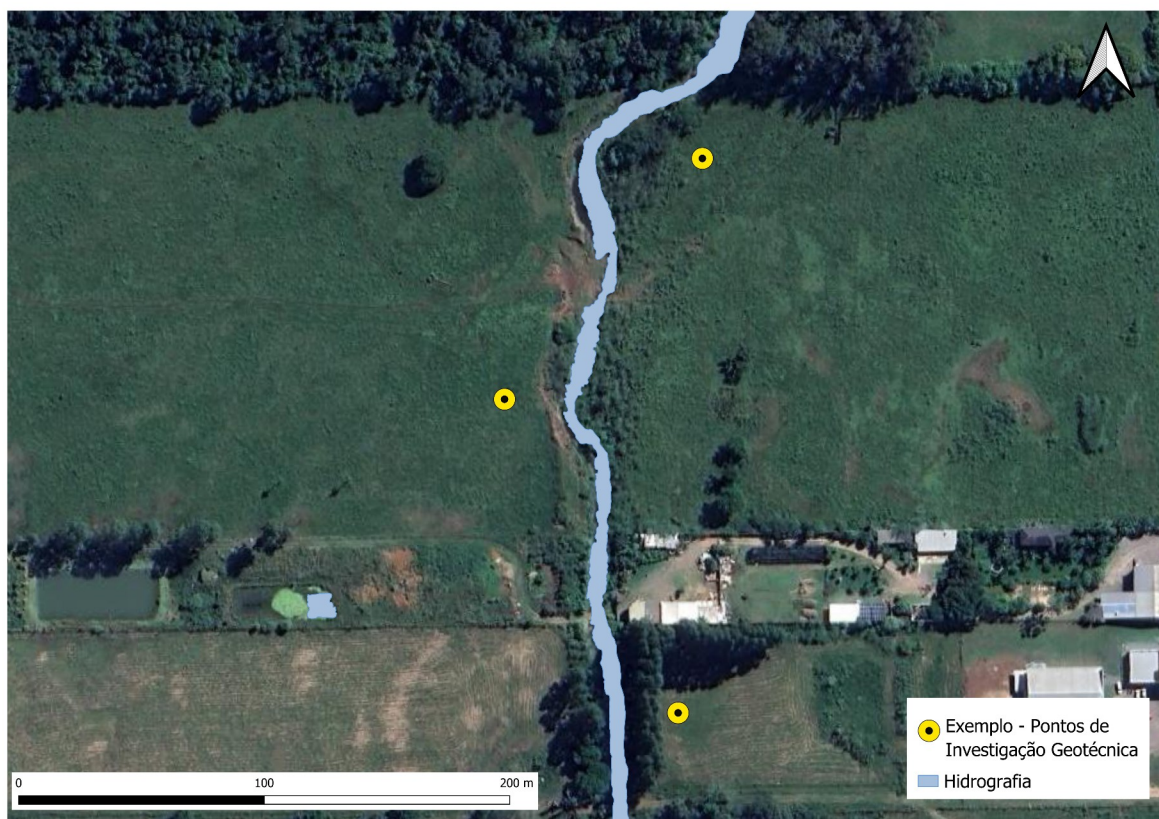


Figura 16: Exemplo de investigação geotécnica, intercalando sondagens ao curso d'água. Escala e espaçamento das sondagens é apenas demonstrativa.

Os pontos indicados na Figura 17, são sugestões de locais para execução de **Ensaio de Anéis Concêntricos (Duplo Anel)** - NORMA ABGE 107/2024 e ASTM D3385-18 (2018). No Ensaio de Anéis Concêntricos, são posicionados dois anéis metálicos, de diferentes diâmetros mas com a mesma altura, de forma concêntrica sobre a superfície previamente preparada do solo que será analisado. Em seguida, ambos os anéis são simultaneamente preenchidos com água, monitorando-se o decréscimo do nível de água no anel interior ao longo do tempo, usando uma régua. Dessa maneira, ao correlacionar o volume de água que diminui devido à infiltração com o tempo decorrido, é possível determinar a taxa de infiltração do líquido no solo. Essa taxa está diretamente associada à permeabilidade do solo, pois uma taxa de infiltração mais elevada indica uma maior capacidade do solo para permitir o escoamento do fluido, refletindo em uma maior permeabilidade.

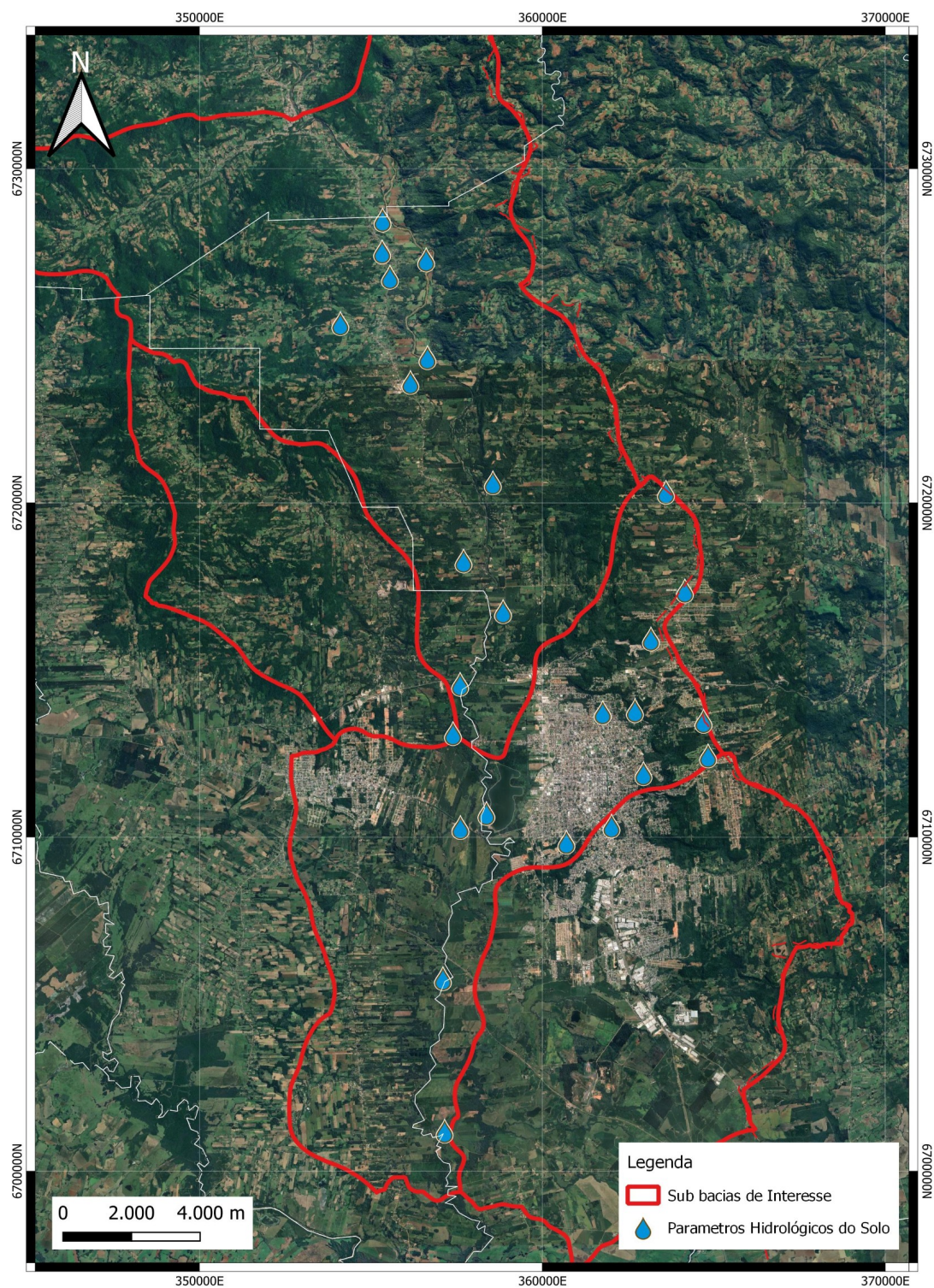


Figura 17: Pontos sugeridos para realização do ensaio de anéis concêntricos. Esses pontos podem ser alterados, suprimidos ou ampliados durante a elaboração do Plano de Trabalho Detalhado, junto ao contratado.

Ensaaios Geotécnicos Preliminares

Para essa tipologia de projeto, devem ser executados, nas condições descritas no item 4.3.1, os seguintes ensaios geotécnicos:

DESCRIÇÃO BÁSICA	UNIDADE	QTDE
Ensaio de Sondagem por Penetração (SPT)	Metro	100
Vane Test (Cisalhamento por Torção) - in situ, exclusive Sondagem SPT	un	5,00
Sondagem rotativa em rocha alterada D=2" - inclusive equipamentos e pessoal	Metro	30,00
Sondagem rotativa em rocha vulcânica D=2" - inclusive equipamentos e pessoal	Metro	20,00
Sondagem rotativa em rocha sedimentar D=2" - inclusive equipamentos e pessoal	Metro	30,00
Ensaio – cisalhamento direto (p/3 corpos de prova)	Ensaio	10,0
Ensaio – triaxial lento (p/3 corpos de prova)	Ensaio	10,0
Permeabilidade a Carga Constante, com Permeâmetro	Ensaio	10,0
Ensaio – granulometria por peneiramento	Ensaio	10,0
Ensaio – granulometria por sedimentação	Ensaio	10,0
Ensaio – limite de liquidez	Ensaio	10,0
Ensaio – limite de plasticidade	Ensaio	10,0
Compactação Proctor Intermediário com Reuso Material (6 pontos)	Ensaio	10,0
Compactação e ISC na Energia Intermediária (6 pontos)	Ensaio	10,0
Massa Específica Real dos Grãos	Ensaio	10,0
Ensaio de Anéis Concêntricos	Ensaio	10,0

Produtos a Entregar

O Evento 17 será considerado concluído e passível de medição/pagamento com a entrega e aprovação formal, por parte da fiscalização do contrato, dos seguintes produtos:

1. Relatório Final de Investigação Geotécnica: Documento técnico completo, em formato digital (.PDF) e cópia impressa (encadernada), contendo:

- Descrição detalhada da metodologia de campo e laboratório.
- Resultados de todos os ensaios de campo (*in situ*), incluindo Vane Test e Ensaaios de Anéis Concêntricos, com taxas de infiltração.

- Perfis individuais de sondagens (SPT, SPT-T, Rotativa), com a localização precisa dos furos.
- Resultados dos ensaios de laboratório para amostras deformadas e indeformadas.
- Interpretação geológico-geotécnica do subsolo, com a classificação dos solos e rochas, identificação de horizontes, estimativa de parâmetros de resistência, deformabilidade e permeabilidade.
- Fornecimento explícito dos valores e faixas de variação da taxa de infiltração e demais parâmetros geotécnicos relevantes para a alimentação e calibração dos modelos hidrológicos e hidráulicos (HEC-HMS, SWMM).
- Recomendações geotécnicas preliminares para subsidiar futuras etapas de projeto executivo das soluções.

2. Base de Dados Digital da Investigação Geotécnica: Arquivos em formato editável (planilhas.xlsx ou banco de dados..mdb/.csv), contendo todos os dados brutos e resultados dos ensaios geotécnicos de campo e laboratório, organizados de forma clara e auditável.

3. Arquivos Geoespaciais dos Pontos de Investigação: Camadas em formato *shapefile* ou *GeoPackage* (EPSG 31982 – SIRGAS 2000/UTM 22S), contendo a localização georreferenciada de todas as sondagens e pontos de ensaio de campo (*in situ*), com tabelas de atributos vinculadas aos resultados principais de cada ponto (ex: tipo de ensaio, profundidade, taxa de infiltração, etc.).

5. Considerações Finais

O presente Termo de Referência, ao detalhar a Fase I - "Diagnóstico da Rede de Micro e Macrodrenagem e Estudos Hidrológicos e de Prevenção de Inundações na Microbacia do Bairro Várzea – de um contrato maior, para Elaboração de Projetos de Prevenção de Inundações e Alagamentos na microbacia do bairro Várzea, estabelece um marco fundamental e estratégico para a resiliência urbana do município de Santa Cruz do Sul.

Este documento delinea um estudo abrangente e multifacetado, essencial para a compreensão aprofundada dos complexos fenômenos hidrológicos e hidráulicos que historicamente afetam o bairro Várzea. Através da integração de levantamentos topográficos e cadastrais precisos, campanhas de monitoramento hidrológico robustas, modelagem avançada (HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM) e investigações geotécnicas preliminares, a Fase I visa fornecer um diagnóstico técnico sólido e dados primários para a calibração de modelos preditivos.

A metodologia proposta, que inclui a retroanálise de eventos críticos, a determinação de cotas e zonas de inundação, e a simulação de alternativas de mitigação, reflete o compromisso com a busca de soluções eficazes e sustentáveis. Mais do que um mero levantamento de dados, este Termo de Referência orienta a elaboração de ferramentas de gestão e subsídios técnicos que embasarão projetos executivos futuros, visando a redução dos riscos de inundações, a proteção do patrimônio e, sobretudo, a segurança e a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos.

A capacitação técnica do corpo funcional da Prefeitura em softwares livres e de ponta é um diferencial que assegurará a longevidade dos estudos e a autonomia municipal na gestão contínua e adaptativa dos recursos hídricos. A colaboração entre a administração municipal, o contratado e o órgão financiador (Caixa Econômica Federal) é crucial para o sucesso desta iniciativa, que representa um passo decisivo em direção a um desenvolvimento urbano mais planejado, seguro e resiliente.

Reitera-se a importância também do corpo técnico da Caixa Econômica Federal nos processos de elaboração e revisão desse material, com apoio contínuo e parceria no andamento desse trabalho. A equipe técnica da CEF também é parte fiscalizadora dos trabalhos, e tem poder de fazer apontamentos, solicitar complementações e alterações ao futuro contratado.

6. Responsabilidade Técnica

O presente termo de referência foi elaborado sob a ART nº **14063985**.

Marcio Alexandre Nicknig
Engenheiro Ambiental- CREA/RS 215871
Engenheiro de Meio Ambiente – SEPLAN

7. Referências Bibliográficas

ABNT NBR 13133:2016. *Execução de levantamento topográfico*. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT NBR 16797:2020. *Medida de torque em ensaios SPT durante a execução de sondagens de simples reconhecimento à percussão — Procedimento*. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT NBR 6484:2020. *Solo — Sondagem de simples reconhecimento*. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT NBR 9604:2016. *Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas*. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT NBR 9820:1987. *Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem*. Rio de Janeiro, 1987.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Resolução nº 101, de 27 de setembro de 2021. Dispõe sobre condições de uso dos recursos hídricos no sistema hídrico Pardo, localizado nos Estados de Minas Gerais e da Bahia. Disponível em: www.gov.br. Acesso em: 10 set. 2025.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM D3385-18. *Standard Test Method for Infiltration Rate of Soils in Place by Double-Ring Infiltrometer*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL (ABGE). Norma ABGE 107/2024. *Ensaio de infiltração com anel duplo (Duplo Anel)*. São Paulo, 2024.

COMITÊ DE GERENCIAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO. *Plano Pardo: Consolidação do Conhecimento sobre os Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo e Elaboração do Programa de Ações da Sub-Bacia do Rio Pardinho*. Disponível em:  www.comiteparado.com.br. Acesso em: 15 mai. 2025.

DELEVATI, Dionei Minuzzi et al. Gestão das águas na bacia hidrográfica do Rio Pardo. *Revista Ciências Administrativas*, Fortaleza, v. 10, n. 1, 2004. Disponível em:  ojs.unifor.br. Acesso em: 6 ago. 2025.

ENCOP ENGENHARIA. *Estudos de Concepção Para Gestão Das Águas Pluviais Do Município De Santa Cruz Do Sul, Localizados Nas Micro Bacias Hidrográficas Do Arroio Das Pedras, Do Arroio Jucuri E Do Arroio São João, Contidas Na Áreas Urbanas Deste Município*. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <Anexo: PMSCS_E.CONCEPCAO_VOLUME I_R00.pdf>.

GAZ.COM.BR. FOTOS: Bairros Várzea e Schulz seguem com pontos de inundação. *Gaz.com.br*, 08 maio 2024. Disponível em: www.gaz.com.br. Acesso em: 15 mar. 2025.

GZH. Rio transborda e atinge residências em Santa Cruz do Sul. *GZH*, 22 jul. 2015. Disponível em: gauchazh.clicrbs.com.br. Acesso em: 15 mar. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS (IPH). *Estudos Hidrológicos e Hidráulicos para Verificação e Mitigação de Impactos de Inundação do Complexo Lago Dourado – Santa Cruz do Sul/RS*. Porto Alegre: UFRGS, 2018. Relatório Técnico.

PAIVA, Eduardo Mario Mendiondo de; GOLDENFUM, Jorge Aloisio; ABRÃO, Jeferson Machado de S. *Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2024. Nota Técnica. Disponível em: www.ufrgs.br. Acesso em: 15 set. 2025.

PORTAL ARAUTO. FOTOS: Veja como está a situação no Bairro Várzea em Santa Cruz do Sul. *Portal Arauto*, 05 set. 2023. Disponível em: portalarauto.com.br. Acesso em: 15 mar. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA CRUZ DO SUL. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. *Plano de Manejo das Águas Pluviais da Cidade de Santa Cruz do Sul: Programa Saneamento para Todos*. Santa Cruz do Sul, 2008. Disponível em: <Anexo: Volume I.pdf>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA CRUZ DO SUL. Secretaria Municipal de Planejamento e Governança. *Dados de mapeamento de mancha de inundação do evento de maio de 2024*. Santa Cruz do Sul, 2024.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – G 090. Disponível em: sema.rs.gov.br. Acesso em: 3 mai. 2025.

STE ENGENHARIA. *Estudo de Áreas Inundáveis - Zona Urbana de Santa Cruz do Sul*. Porto Alegre, 2008. Relatório Técnico.