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

Prefeitura de Santa Cruz do Sul
Secretaria Municipal de Planejamento e Mobilidade
Abril/2026

Sumário

1. Objeto....4
2. Descrição do Problema....4
2.1. Introdução....4
2.2. Rede Hidrográfica....8
2.3. Rede de Macro e Microdrenagem....10
3. Estudo de Concepção....12
3.1. Estudos Prévios....12
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. Frentes de Trabalho....20
4.1.1. Evento 1 – Plano de Trabalho Detalhado....21
4.2. Frente de Trabalho 1 – Levantamentos Topográficos e Cadastrais....22
4.2.1. Evento 2 – Mobilização e Administração – Levantamentos Topográficos e Cadastrais 22
4.2.2. Evento 3 – Levantamento Topocadastral da Rede Pluvial....23
Pontos de Inspeção com Interferências e Afluentes....25
Produtos a sererm entregues:....25
Pontos de Inspeção com Interferências....26
4.3. Topografia e Topobatimetria....26
4.3.1. Evento 4 – Topobatimetria do Rio Pardinho;....26
4.3.2. Evento 5 – Topobatimetria dos Arroios Lajeado, Jucuri e Sanga Preta....29
4.4. Frente de Trabalho 2 – Estudo Hidrológico e Medidas de Prevenção e Reação a Eventos Climáticos....33
4.4.1. Estudo Hidrológico....33
Pluviometria....33
Fluviometria....34
4.4.2. Estudo e Detalhamento Do Problema....34
4.4.3. Evento 6 – Mobilização e Administração dos Serviços – Estudo hidrológico....38
4.4.4. Evento 7 – Instalação da Rede e Monitoramento....40
4.4.5. Evento 8 – Modelagem Da Macrodrenagem E Áreas De Inundação (Hec RAS e HEC HMS) e Alagamento (SWMM)....43
Modelagem da Rede de Microdrenagem:....43
Modelagem da Macrodrenagem e Áreas de Inundação....44
Modelagem Hidrológica com HEC-HMS....45
Modelagem Hidráulica 2D com HEC-RAS:....48
Análise e Validação dos Resultados:....49
Entregas:....50
4.4.6. Evento 9 - Retroanálise – Efeitos da Inundação pelo Rio Pardinho nas Macro e Microdrenagens....51
Simulação da Cheia de Maio de 2024....51
Entrega:....52
4.4.7. Evento 10 – Elaboração de Manchas de Inundação e Cotas de Monitoramento....53
Entregas:....54
4.4.8. Evento 11 – Modelagem de Alternativas para Redução e Contenção de Cheias....54
Metodologia....56

Entregas.....57
4.4.9. Evento 12 – Treinamento e Capacitação do Corpo Técnico.....58
Programa de Treinamento “In Company” em Softwares com Foco em Drenagem Pluvial 58
1. Módulo HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) - 40 horas.....59
2. Módulo HEC-RAS (River Analysis System) - 40 horas.....60
3. Módulo SWMM (Storm Water Management Model) - 40 horas.....61
4. Módulo QGIS Aplicado aos Recursos Hídricos – 40 horas.....62
Entregas:.....63
5. Considerações Finais.....64
6. Responsabilidade Técnica.....65
7. Referências Bibliográficas.....66

1. Objeto

O presente termo de referência tem como objeto a realização da **FASE 1 – Diagnóstico da Rede de Micro e Macrodrenagem e Estudos Hidrológicos e de Prevenção de Inundações na Microbacia do Bairro Várzea**, composto por estudos hidrológicos e hidráulicos, para obtenção de parâmetros construtivos e escolha de alternativas a serem detalhadas na FASE 2 – Elaboração de Projetos Executivos, a ser realizada na sequência, em certame licitatório próprio, embasado com as conclusões da FASE 1

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 2015[1], 2023[2] e 2024[3].

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/

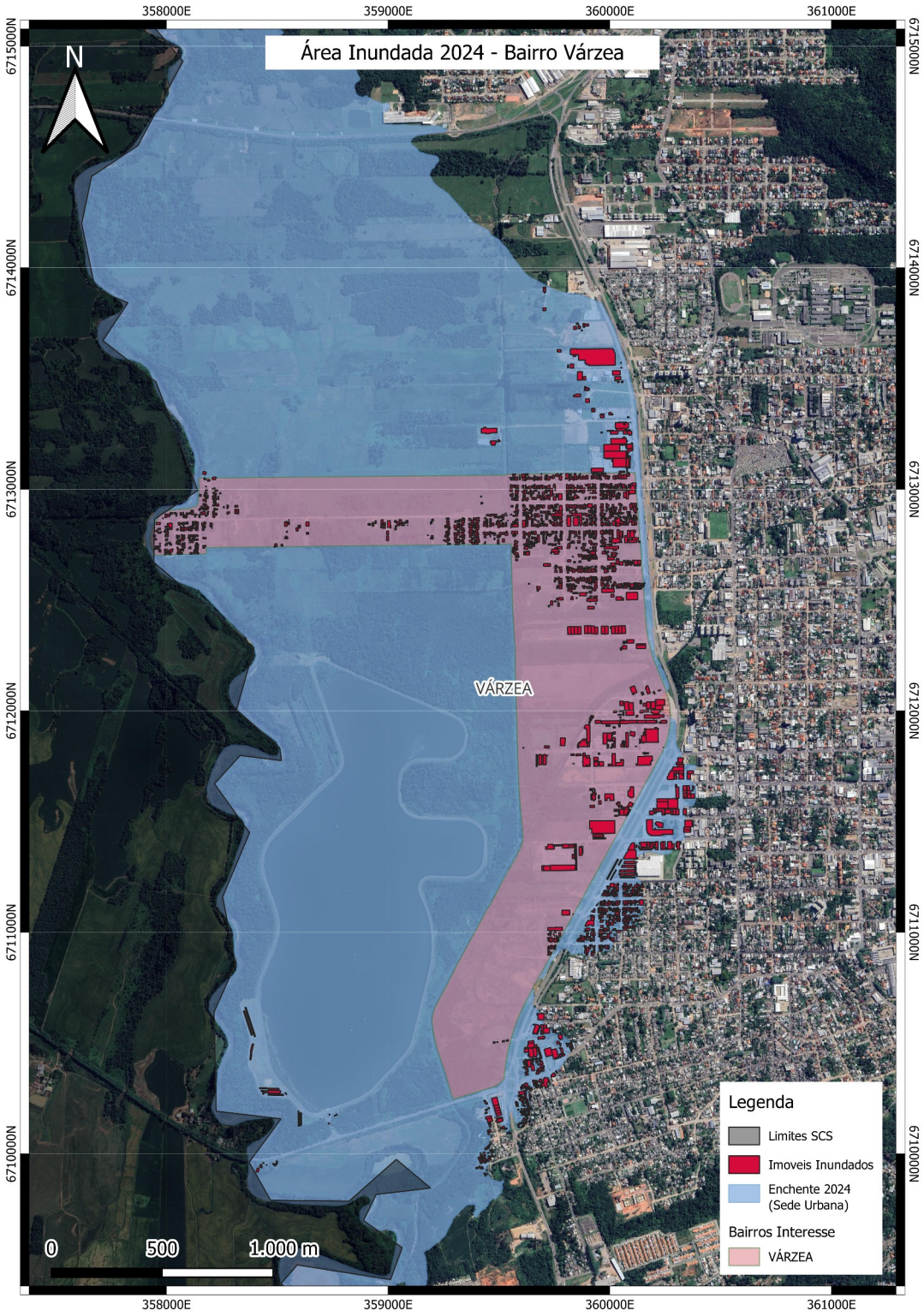


Figura 1: Área inundada no distrito sede de Santa Cruz do Sul. Fonte: Secretaria Municipal de Planejamento e Governança (2024);

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 sanitarista – 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 pôlder. 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.

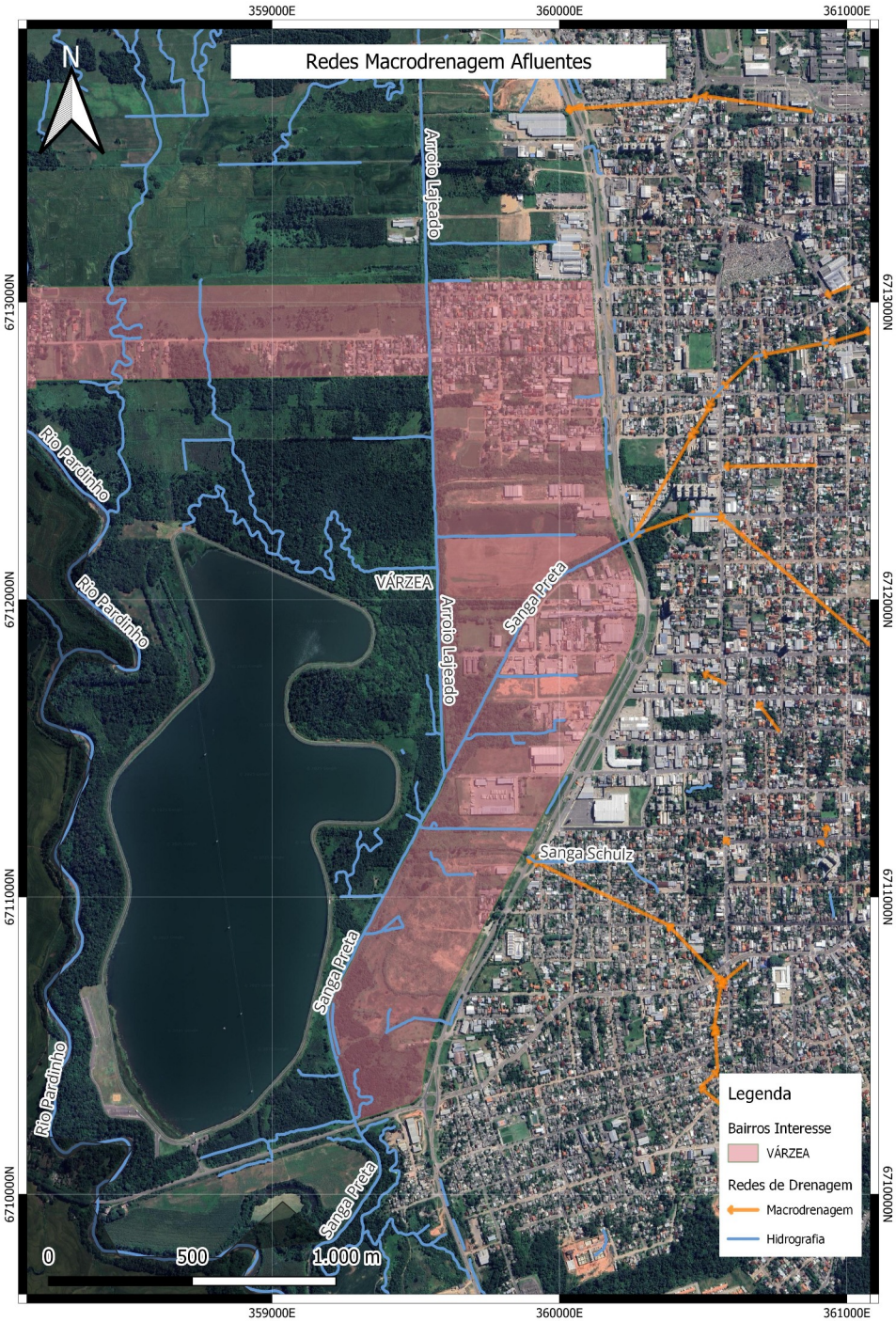


Figura 3: Hidrografia e redes de macrodrenagem que afluem ao bairro Várzea. Fonte: Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul.

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.

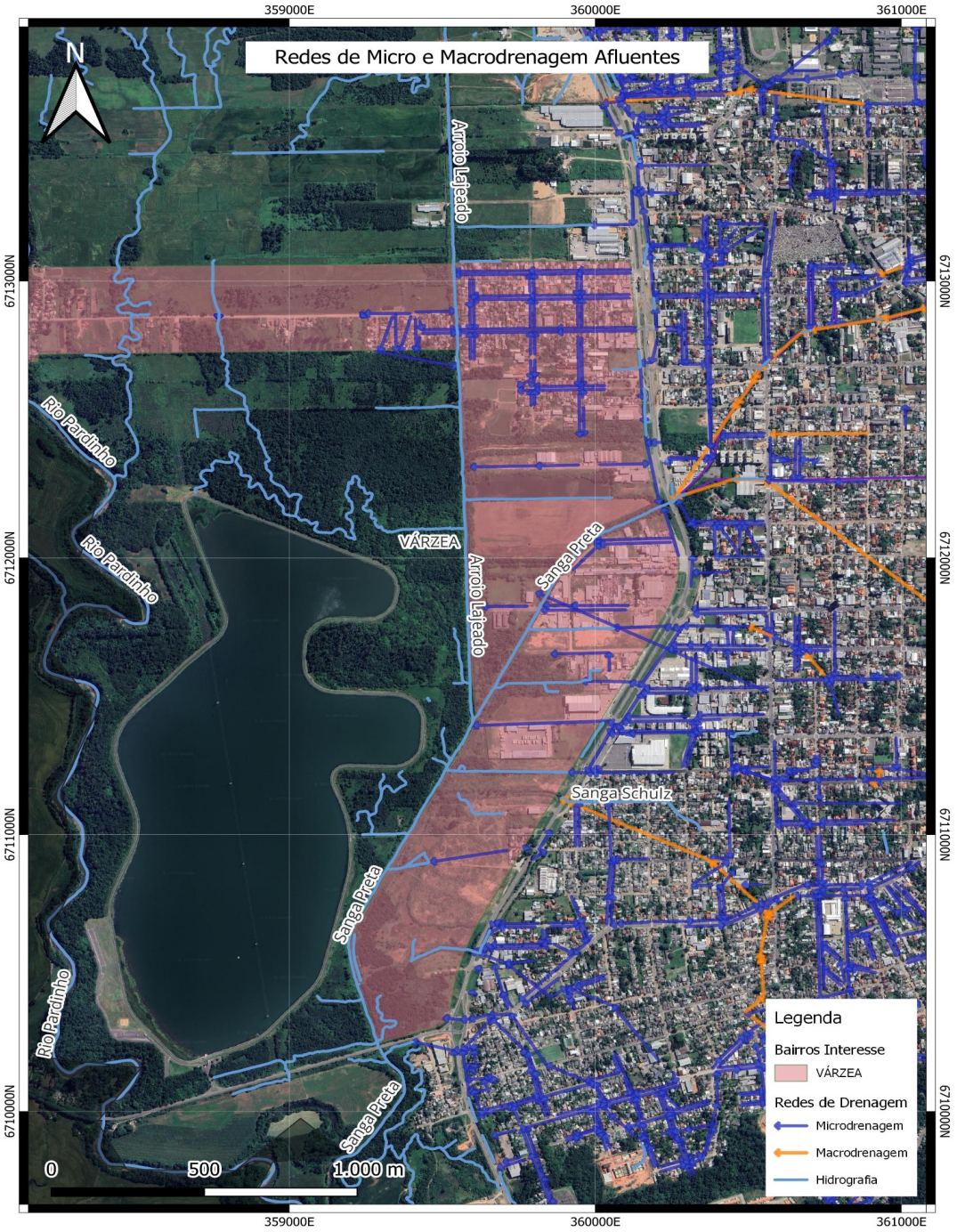


Figura 4: Redes de micro e macrodrenagem no bairro Várzea. Fonte: Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul.

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 n° 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 n° 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 n° 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.

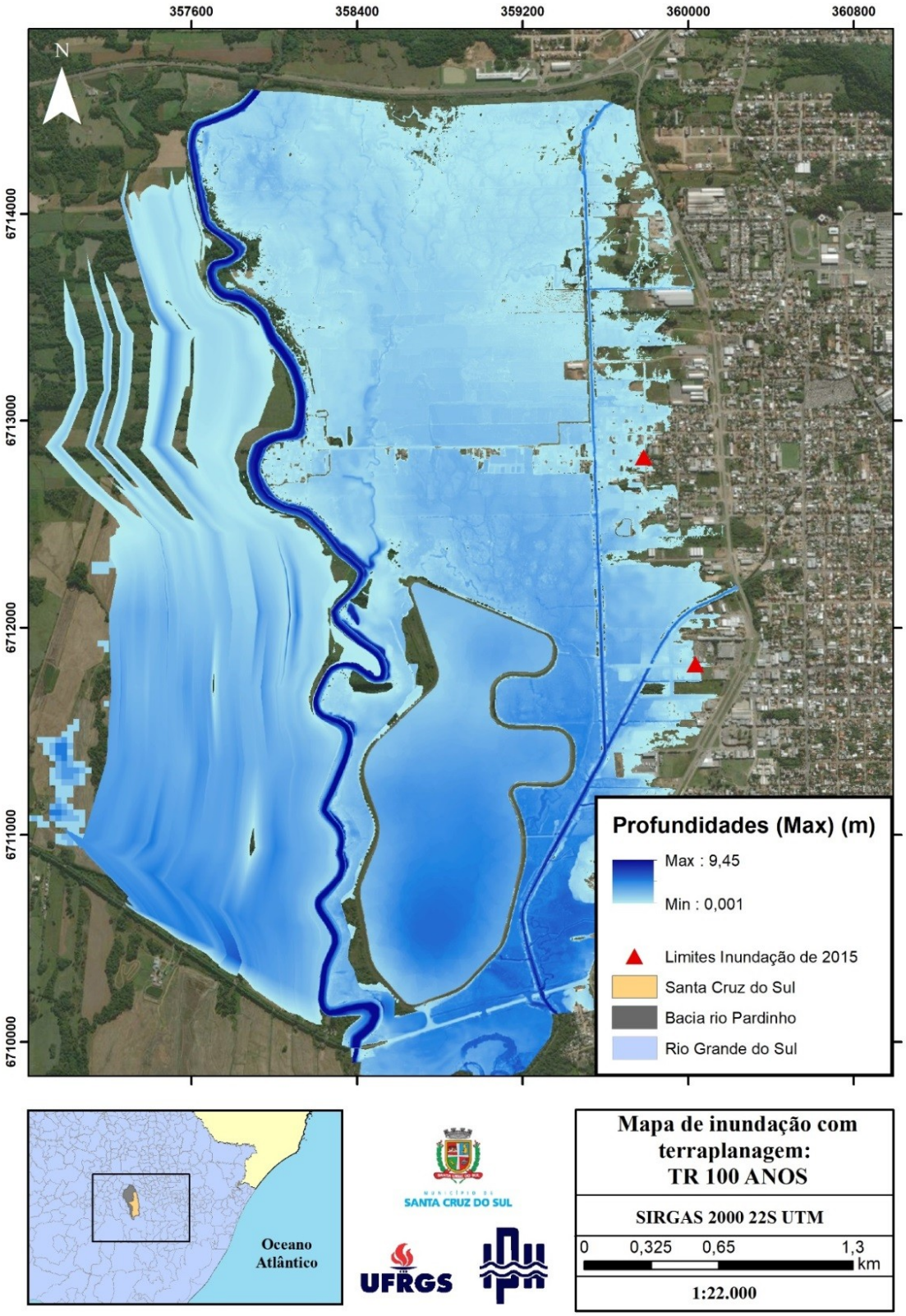


Figura 5: Planície de inundação para TR = 100 anos. Fonte: IPH (2018).

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.

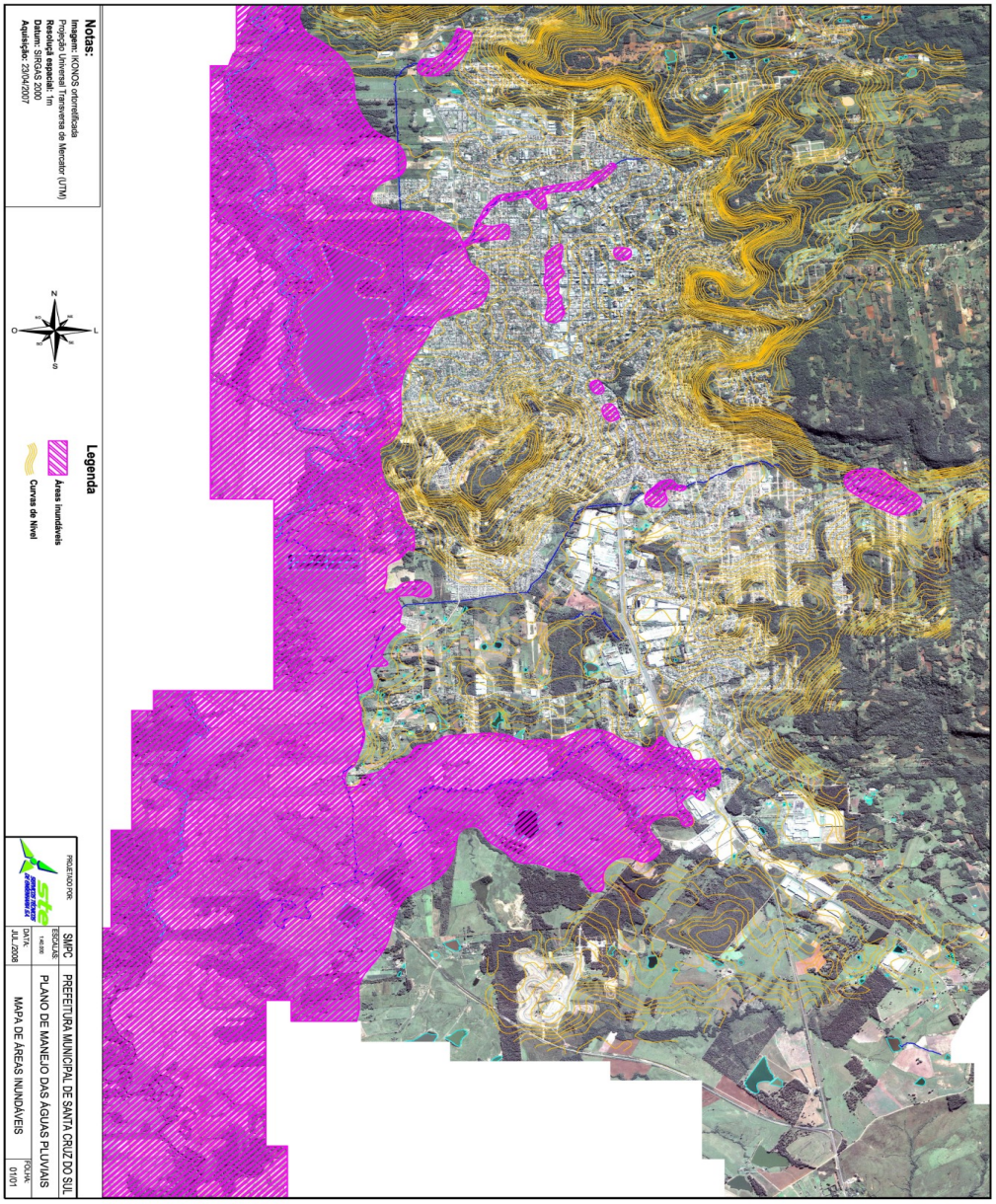


Figura 6: Áreas Inundáveis - Zona Urbana de Santa Cruz do Sul. Fonte: STE (2008).

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).

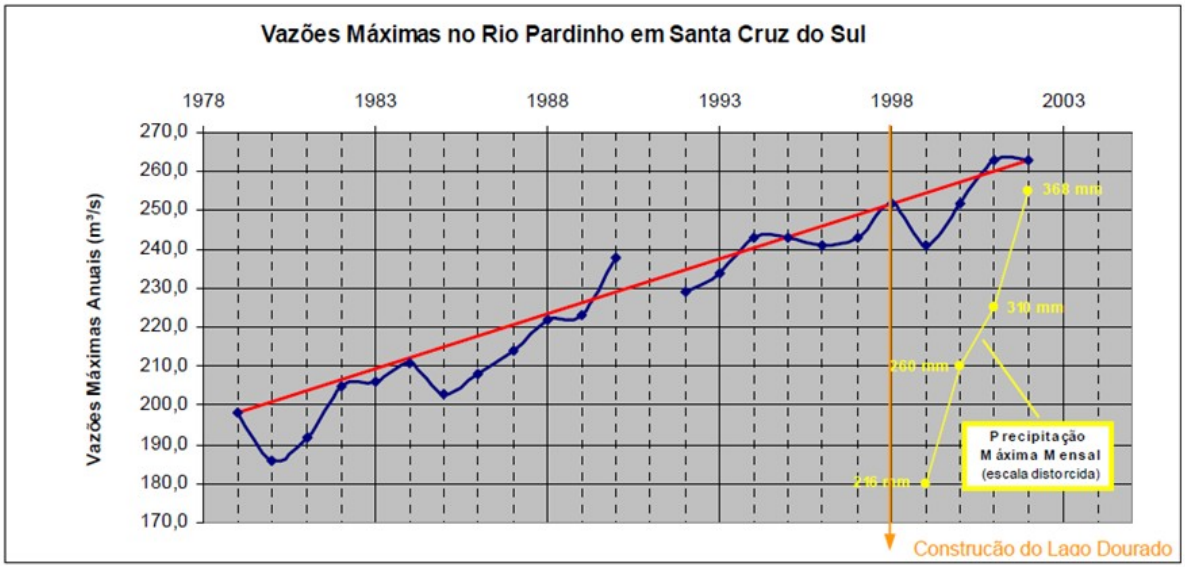


Figura 7: Tendência crescente das vazões diárias máximas no rio Pardinho em Santa Cruz Montante (SEMA 2005, apud IPH, 2018).

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.

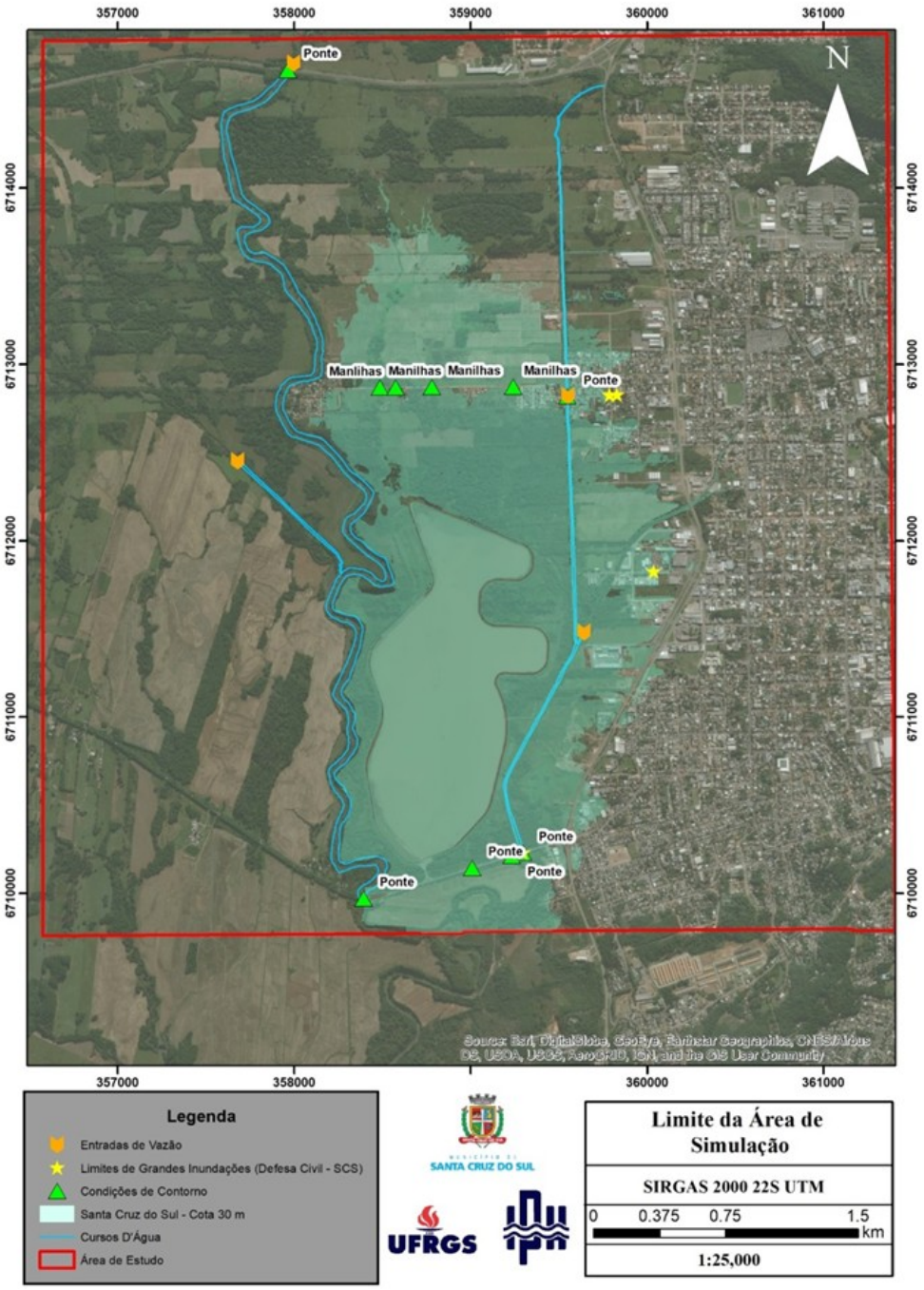


Figura 9: Pontes e manilhas do modelo na região do complexo do Lago Dourado. Fonte: IPH (2018).

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;
- Implementação de Sistemas de Proteção às Cheias, como diques e casas de bombas.

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.

Dentro do termo de compromisso xxxx , seguindo recomendação da equipe técnica da Caixa Econômica Federal, os valores viabilizados via PAC Drenagem, no presente Termo de Compromisso, serão aplicados em duas fases.

FASE 1: Diagnóstico da Rede de Micro e Macrodrenagem e Estudos Hidrológicos e de Prevenção de Inundações na Microbacia do Bairro Várzea.

FASE 2: Elaboração de Projetos Executivos.

O presente Termo de Referência se refere apenas à Fase 1, e busca atualizar as informações hidrológicas da área de interesse, uma vez que o evento climático de maio de 2024 ocasionou mudanças fisiográficas nos rios da região e trouxe efeitos até então não registrados no município, demandando atualização dos parâmetros hidrológicos e na concepção de eventuais projetos de mitigação e enfrentamento dos problemas de macrodrenagem da região.

Parâmetros construtivos, operacionais e orçamentários dos futuros projetos da FASE 2 estarão inclusos no seu respectivo Termo de Referência, cuja versão preliminar já foi aprovada pela entidade financiadora, sendo eventualmente ajustado de acordo com os resultados da FASE 1.

4. Caracterização dos Estudos e Produtos a Serem Entregues

4.1. 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.

4.1.1. 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. Eventual 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).

4.2. Frente de Trabalho 1 – Levantamentos Topográficos e Cadastrais

4.2.1. 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, base local de apoio, 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 1/6 do valor total, devem ser entregues os seguintes produtos.

Produto a ser entregue:

Etapa 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;

Etapa 2 a 6:

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

4.2.2. 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 dentro da área do bairro várzea e nas transposições selecionadas sob a BR 471. Foram selecionados 99 pontos para inspeção da microdrenagem.

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.

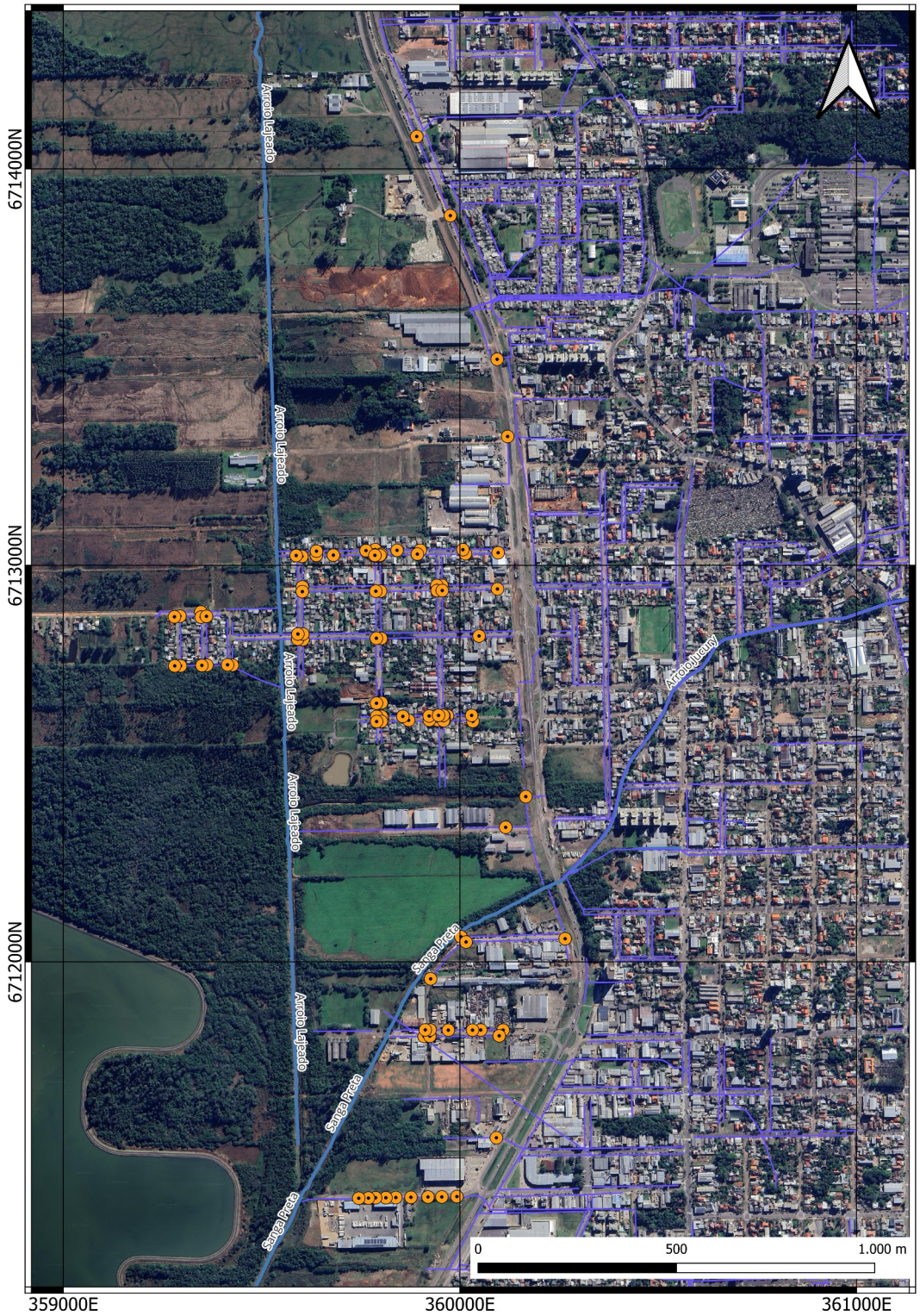


Figura 10: Mapa de localização das micro e macrodrenagens, e também dos pontos de inspeção a serem vistoriados.

Pontos de Inspeção com Interferências e Afluentes

Nos pontos de inspeção que se configurarem como Poços de Vistoria, sendo possível sua abertura e inspeção, onde haja mudança de diâmetro (bitola) das tubulações e/ou afluência de mais de um trecho de rede, deverá ser levantado croqui do referido poço de visita, na forma da Figura 11

O objetivo dessa ação é verificar, visualmente, obstruções nos Pontos de Vistoria e trechos de canalização adjacentes, ao mesmo tempo que são coletados dados indispensáveis para modelagem da microdrenagem via SWWM (Storm Water Management Model).

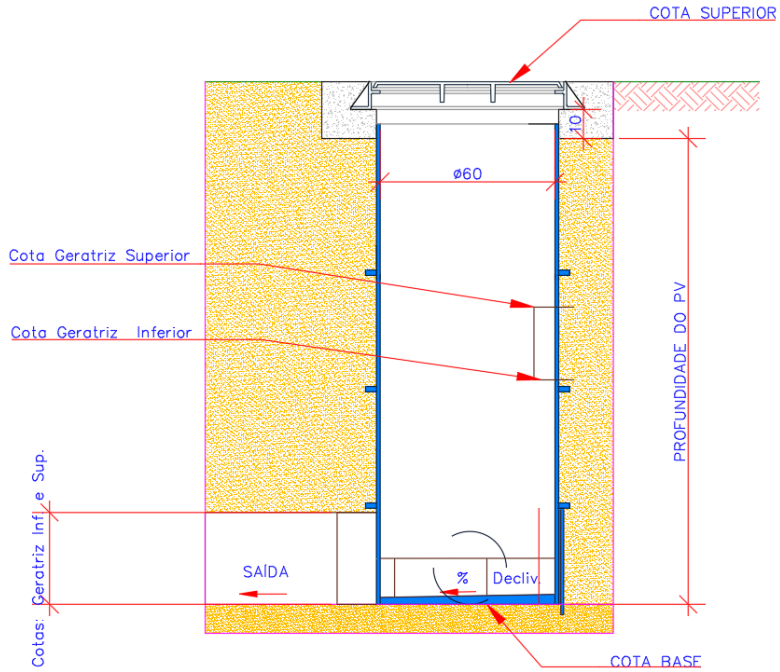


Figura 11: Modelo de descrição dos Poços de Visita/Poços de Inspeção a ser entregue na atualização cadastral.

Produtos a serem entregues:

Atualização Topocadastral:

1. Camada geoespacial para visualização em software SIG, contendo coordenadas geográficas de cada ponto inspecionado, 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).

2. Relatório dos Poços de Visita abertos, contendo:

    I. Geometrias das canalizações, fidedignas às suas localizações em campo;

II. Categorização qualitativa: Bueiro, Poço de Visita, Poço de Inspeção, Caixa de Passagem, etc…

Pontos de Inspeção com Interferências

3. Relatório de Inspeção dos Poços de Visita, contendo:

   I. Cotas das geratrizes inferiores e superiores de cada tubo ligado ao Poço de Visita, diâmetro do perfil vertical e demais informações das redes afluentes e efluentes ao Poço de Visita

   II. Descrição qualitativa do estado de conservação ou obstrução das tubulações averiguadas

4. Planilha eletrônica com os dados coletados de todos os PV's e PI's inspecionados, tabela de atributos mínimos: ID único, tipo (PV/PI/BL/CP), situação (selado/aberto), material da tampa, diâmetro, profundidade, cotas de tampa e de fundo, condição (obstruído/livre).;
5. Camada *shapefile*, com as informações levantadas – obtida por meio da planilha do item II, com fim de discrimar, dentro os Pontos de Inspeção, quais são bocas de lobo, poços de inspeção, etc;
6. Monografia de vértices e amarração aos marcos geodésicos;
7. Dados brutos do levantamento topográfico.

4.3. Topografia e Topobatimetria

4.3.1. Evento 4 – Topobatimetria do Rio Pardinho;

Para o evento 4 – Topobatimetria do Rio Pardinho – pretende-se obter seções transversais médias representativas dos pontos críticos para escoamento do Rio Pardinho dentro da área de estudo.

Considerando a complexidade e a extensão dos cursos d'água, os trabalhos de topobatimetria serão distribuídos ao longo de 4 (três) meses. O cronograma detalhado deve ser apresentado no Plano de Trabalho Detalhado.

Deverão ser escolhidos pontos de controle, para elaboração de curvas chave, associadas à instalação de estações hidrometeorológicas com medição de nível.

Deverão ser descritas as margens e cotas de travessia das curvas mais acentuadas, dos trechos assoreados, dos gargalos de escoamento, como pontes, galerias de passagem sob rodovias e fisionomias geográficas relevantes à modelagem hidrológica. Será fornecido o MDT (modelo digital de terreno) do Cadastro Técnico Municipal, que possui resolução de 0,5 x 0,5 metro, e que

abrange a zona urbana do município, propiciando que os trabalhos de topografia possam se concentrar nas regiões não mapeadas.

Os serviços de topografia/batimetria dos cursos d’água e detalhes topográficos foram orçados por meio de composições SINAPI, usando horas técnicas de topografia convencional georreferenciada em tempo real. Caso julgue pertinente, o contratado pode propor outros métodos, como a utilização de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), por exemplo, desde que aprovado pela fiscalização do contrato, desde que mantidos ou melhorados os padrões de precisão, e sem revisão do orçamento. Também devem ser apresentados todos os documentos pertinentes nessa situação, como autorizações e cadastros na ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) e Ministério da Defesa, registros do equipamento e capacitação do operador.

A extensão do Rio Pardinho a ser detalhada se dá entre as coordenadas:

[-29.6837371 N, -52.4638538 L] e [-29.7680693 N, -52.4761097 L];

(EPSG 4326: WGS 84);



Figura 12: Extensão do trecho do Rio Pardinho a ser levantada no Evento 4.

Entregas do Evento 4:

I. Levantamento topográfico georreferenciado e amarrado aos marcos geodésicos da região, em formato .dwg e .shp;

II. Elaboração das plantas de corte dos perfis longitudinais e arquivos shapefile georreferenciados das suas localizações – aprovados pelo responsável técnico da modelagem hidrológica;

III. Análise hidrológica e determinação das Curvas Chave para os pontos de controle escolhidos para instalação das estações hidrometeorológicas e fluviométricas;

IV.Elaboração do Relatório Técnico Fotográfico consolidado.

V. Entrega dos produtos digitais após aprovação pela fiscalização.

4.3.2. Evento 5 – Topobatimetria dos Arroios Lajeado, Jucuri e Sanga Preta

Para o evento 5 – Topobatimetria dos Arroios Lajeado, Jucuri e Sanga Preta – pretende-se obter seções transversais médias representativas dos pontos críticos para escoamento dos cursos d'água citados, a fim de modelar as vazões afluentes da zona urbana em direção ao bairro Várzea.

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.

Deverão ser escolhidos pontos de controle, para elaboração de curvas chave, associadas à instalação de estações hidrometeorológicas com medição de nível.

Deverão ser descritas as margens e cotas de travessia das curvas mais acentuadas, dos trechos assoreados, dos gargalos de escoamento, como pontes, galerias de passagem sob vias urbanas e fisionomias geográficas relevantes à modelagem hidrológica. Será fornecido o MDT (modelo digital de terreno) do Cadastro Técnico Municipal, que possui resolução de 0,5 x 0,5 metro, e que abrange a zona urbana do município, propiciando que os trabalhos de topografia possam se concentrar nas regiões não mapeadas e verificação de pontos críticos à modelagem.

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.

Os serviços de topografia/batimetria dos cursos d’água e detalhes topográficos foram orçados por meio de composições SINAPI, usando horas técnicas de topografia convencional georreferenciada em tempo real. Caso julgue pertinente, o contratado pode propor outros métodos, como a utilização de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), por exemplo, desde que aprovado pela fiscalização do contrato, desde que mantidos ou melhorados os padrões de precisão, e sem revisão do orçamento. Também devem ser apresentados todos os documentos pertinentes nessa situação, como autorizações e cadastros na ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) e Ministério da Defesa, registros do equipamento e capacitação do operador.

Deverão ser levantados detalhes dos Arroio Lajeado e Arroio Jucuri/Jucury/Sanga Preta entre as seguintes coordenadas:

[-29.7372841 N, -52.4577963 L] e [-29.6819939 N,-52.4328490 L];

[-29.7195428 N, -52.4515546 L] e [-29.6902178 N, -52.4033564 L];

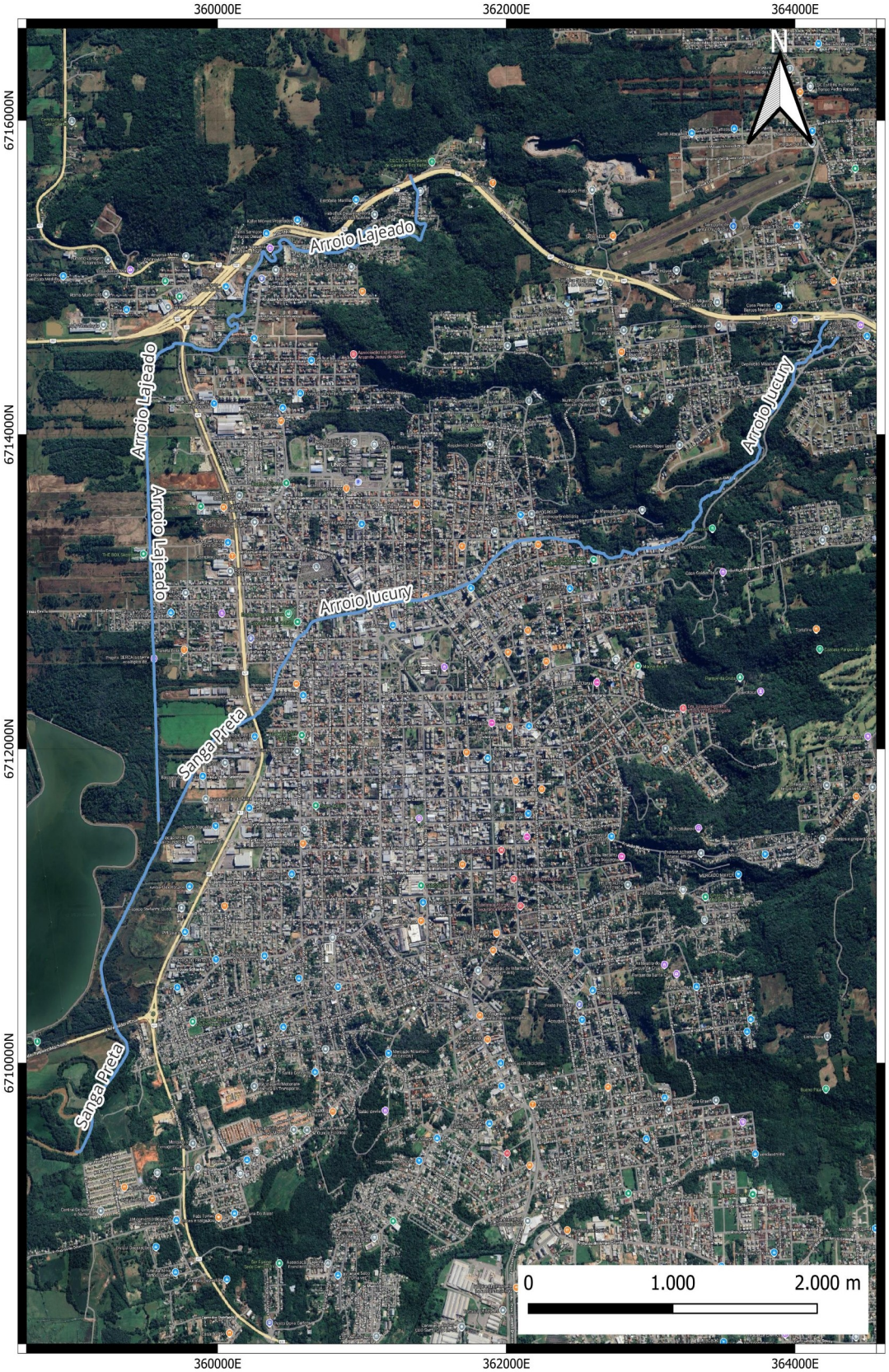


Figura 13: Trechos dos Arroios Lajeado e Jucuri a serem detalhados.

Entregas do Evento 5:

I. Levantamento topográfico georreferenciado e amarrado aos marcos geodésicos da região, em formato .dwg e .shp;

II. Elaboração das plantas de corte dos perfis longitudinais e arquivos shapefile georreferenciados das suas localizações;

III. Análise hidrológica e determinação das Curvas Chave para os pontos de controle escolhidos para instalação das estações hidrometeorológicas e fluviométricas;

IV. Elaboração do Relatório Técnico Fotográfico consolidado.

V. Entrega dos produtos digitais após aprovação pela fiscalização.

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

4.4.1. 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 entro 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 Pardinho. 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.

4.4.2. 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 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'águas 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 (Tc) 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 da bacia do Rio Pardinho – se possível, com os dados históricos.
- 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.

4.4.3. Evento 6 – Mobilização e Administração dos Serviços – Estudo hidrológico

O Evento 6 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.

Os levantamentos RTK/GNSS deverão atender ao sistema SIRGAS2000/UTM, altitudes ortométricas via modelo geoidal oficial, com precisões planimétricas e altimétricas compatíveis (≤ 0,02 m e ≤ 0,05 m a 95%, respectivamente) e entrega de memorial, monografia, arquivos brutos e croquis. Devem ser aplicadas práticas de QA/QC[4], contemplando POP's[5], checklists, validação automática e manual de dados, auditorias trimestrais e metas de disponibilidade mínima (HM[6] ≥ 95%, Nível ≥ 90%).

Produto a ser entregue:

Etapa 1:

A medição/pagamento do Evento 6 será realizada a partir da entrega de relatório técnico fotográfico, assinado pelo responsável técnico do contratado, contendo no mínimo:

1. Descrição dos trabalhos realizados no respectivo período;
2. Arquivo shapefile ou geopackage com a localização as estações instaladas no perído, e demais dados que forem julgados pertinentes pelo responsável técnico e fiscalização;
3. Comprovação de atendimento a todas as legislações trabalhistas, ambientais e de seguranças aplicáveis;
4. RDO (Registro Diário de "Obra") para a fiscalização do contrato;

4 QA/QC: Garantia da Qualidade e Controle da Qualidade
5 POP's: Procedimentos Operacionais Padrão
6 Hidrometeorologia medida em campo, expressa em % do tempo (meses, semanas ou dias) com dados.

Etapas 2 a 12:

1. Relatório Diário de Obra/Serviço;
2. Dados mensais dos Monitoramento Hidrometeorológico;
3. Relatório de atualização dos dados fornecidos na Etapa 1;
4. Relatório de operação do Sistema de Monitoramento Hidrometeorológico, atestando o correto funcionamento do sistema. Não será realizado pagamento da mobilização se alguma das estações do sistema estiver inoperante.

4.4.4. Evento 7 – Instalação da Rede e Monitoramento

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.

Nos pontos selecionados para determinação de curva chave (altura x vazão), escolhidos pelos responsáveis técnicos e fiscalização, estações Fluviométricas deverão ser instaladas, utilizando 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.

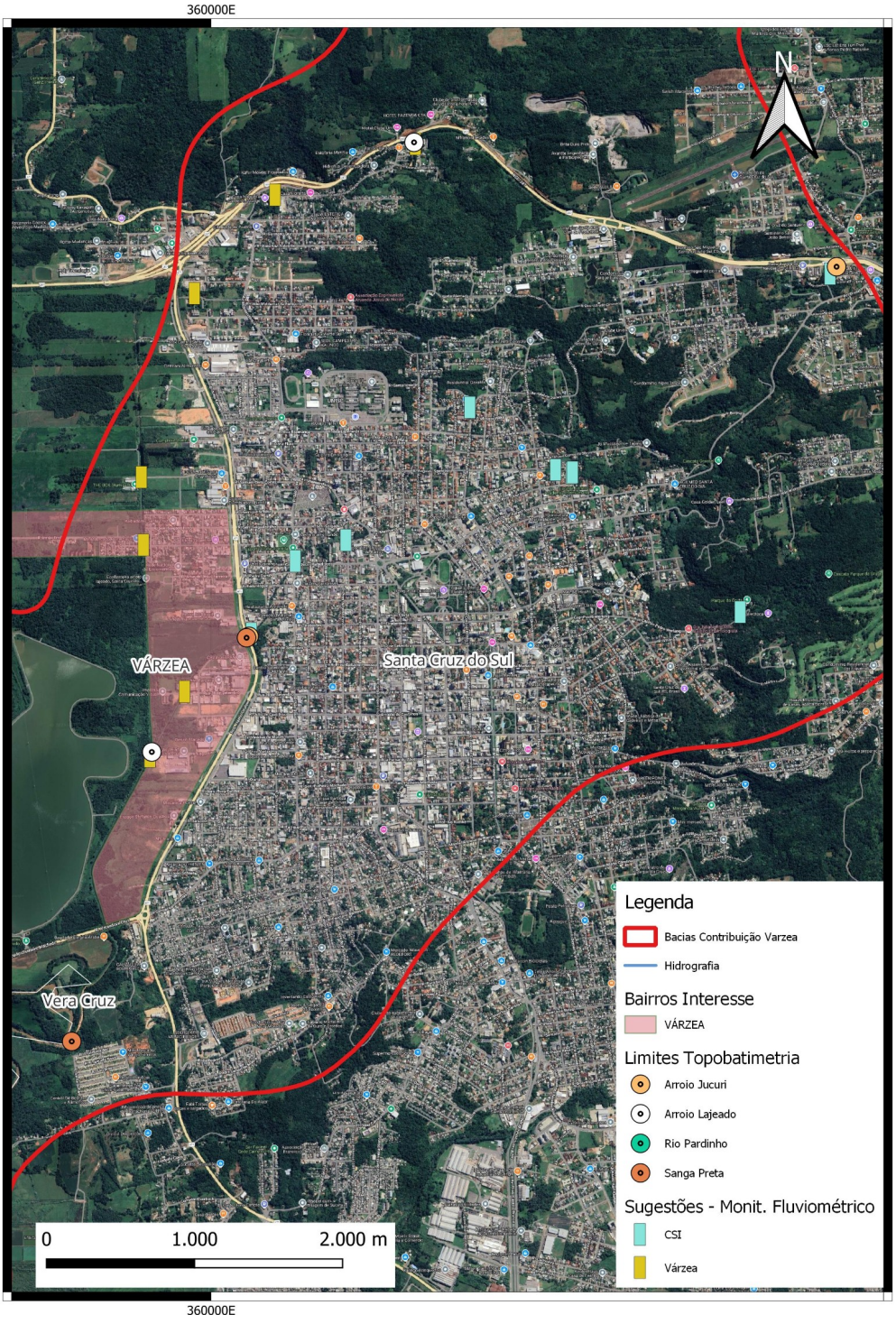


Figura 14: Sugestões de locais para instalação de estações fluviométricas - locais a definir junto à comissão de fiscalização.

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

Produto a ser entregue:

Etapa 1:

Relatório técnico contendo:

I. Localização das estações instaladas no período;

II. Curvas chaves das estações fluviométricas;

III. Descrição técnica das estações instaladas;

IV. Memorial do posicionamento georreferenciado das mesmas, contendo cotas do entorno, fundo do ponto de medição e amarração nos marcos geodésicos mais próximos (ao menos 3).

Etapa 2:

Relatório técnico contendo:

I. Localização das estações instaladas no período;

II. Curvas chaves das estações fluviométricas;

III. Descrição técnica das estações instaladas;

IV. Memorial do posicionamento georreferenciado das mesmas, contendo cotas do entorno, fundo do ponto de medição e amarração nos marcos geodésicos mais próximos (ao menos 3).

V. 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);

VI. Banco de dados em formato digital (CSV ou MDB) com as informações coletadas e consolidadas;

4.4.5. Evento 8 – Modelagem Da Macrodrenagem E Áreas De Inundação (Hec RAS e HEC HMS) e Alagamento (SWMM)

Por meio do Storm Water Management Model (SWMM), software livre e gratuito, utilizando dados da atualização cadastral, deverão ser modeladas, na área do bairro Várzea 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 detenção ou retenção de drenagem pluvial que diminuam os aportes na rede de macrodrenagem, e demais sugestões que surjam da análise dos dados.

É previsto para esse Evento também o detalhamento de topografia que for necessário às bordas da área modelada e à realização de Ensaios de Anéis Concêntricos (nos termos da ASTM D3385-18 e da ABGE 107/2024) em 5 pontos, a serem definidos pelo responsável técnico em conjunto com a fiscalização do contrato.

Os serviços topográficos foram orçados por meio de composições SINAPI, usando horas técnicas de topografia convencional georreferenciada em tempo real. Caso julgue pertinente, o contratado pode propor outros métodos, como a utilização de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), por exemplo, desde que aprovado pela fiscalização do contrato, desde que mantidos ou melhorados os padrões de precisão, e sem revisão do orçamento.

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.)

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 terreno (MDT) fornecido 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.

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.

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.

Modelagem da Macrodrenagem e Áreas de Inundação

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 próprios e de fontes abertas 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 escoa 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 / Lb²). 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 * √(π * 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 = 4πA / P²). 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 = ΣL / 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 influência o escoamento superficial.

xxii. Índice de Umidade Antecedente: Medida da umidade do solo antes de um evento de chuva, que influência a infiltração e o escoamento superficial.

xxiii. Índice de Vegetação: Medida da cobertura vegetal da bacia, que influência 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 dados primários, dados de estações meteorológicas, informações de campo e 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.

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:

Etapas 1 a 3:

Relatório Técnico de Atividades no período;

Etapa 4:

O Evento 8 será finalizado com a entrega da seguinte documentação, no formato de Relatório Técnico:

I. Relatório técnico detalhado com a descrição da metodologia utilizada, os dados coletados, os resultados obtidos e as conclusões do estudo.

II. Modelos SWMM, HEC-HMS e HEC-RAS (2D) calibrados e validados, em formato digital, acompanhados de documentação detalhada sobre a sua utilização.

III. Relatório de análise de sensibilidade e incerteza dos resultados da modelagem.

IV. Geodatabase/GeoPackage com:

- Limites de bacia e sub-bacias, rede de drenagem, seções, estruturas, malhas 2D.
- Camadas de uso do solo, solos, rugosidades, zonas de LID, áreas de contribuição.
- Séries temporais consolidadas: Chuva (minutal/horária conforme disponibilidade) e nível/vazão (minutal/horária) com QA/QC, lacunas e tratamentos registrados.
- Arquivos em CSV e DSS (quando adotado para integração com HEC).

V. Modelos configurados e executáveis HEC-HMS: Pasta de projeto (.hms) com Basin, Meteorologic e Control sets; cenários por TR; arquivos de saída.

VI. Relatório de calibração/validação com tabelas e gráficos de hidrogramas e métricas (NSE, KGE, PBIAS).

VII. SWMM: Arquivo .inp com rede, subáreas e cenários; arquivos de resultados.

VIII. Relatório de desempenho hidráulico (extravasamentos, cotas críticas, efetividade de LIDs).

IX. HEC-RAS 1D/2D: Projeto (.prj) com planos de simulação (unsteady), geometrias, malhas, estruturas e condições de contorno.

Relatório de calibração (níveis vs observados, marcas de cheia) e estabilidade numérica.

4.4.6. Evento 9 - 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.

Será fornecido levantamento realizado pelos topógrafos da Secretaria Municipal de Planejamento e Mobilidade, sobre as cotas máximas atingidas na sede urbana e no distrito de Monte Alverne, a fim de embasar a calibragem do modelo. Caso necessário, realizar levantamentos de campo para determinar informações complementares.

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).

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

I. 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;

II. Modelo eventualmente atualizado, dados brutos da simulação e demais arquivos que permitam a replicação própria por parte da prefeitura da simulação;

4.4.7. Evento 10 – Elaboração de Manchas de Inundação e Cotas de Monitoramento

Este evento tem como objetivo elaborar uma proposta de zoneamento urbano integrado para complementar o Plano Diretor de Santa Cruz do Sul, identificando pontos sensíveis na região (áreas de alto risco social, econômico e ambiental) e propondo restrições/regras de uso do solo. Essa proposta será baseada nos resultados dos produtos anteriores (Eventos 7, 8 e 9), priorizando a mitigação de inundações no Bairro Várzea e promovendo resiliência urbana sustentável.

Metodologia e critérios mínimos:

I. Utilizar resultados dos modelos dos Eventos 8 e 9 como base para cenários hidrológicos, gerando diferentes manchas de inundação;

II. Analisar as características das áreas afetadas, avaliando: Tipo de ocupação: Residencial, comercial, industrial, agrícola, institucional.

   A. Mobilidade: Densidade viária, acessibilidade para veículos de emergência.
   B. Serviços essenciais: Escolas, hospitais, postos de saúde impactados.
   C. Infraestrutura estratégica: Redes de energia, água/esgoto, telecomunicações.
   D. Rotas de evacuação: Comprometimento de vias principais e alternativas.
   E. Danos potenciais: Estimativa qualitativa/quantitativa ao patrimônio privado (ex.: valor médio por tipologia de construção).

III. Classificação de níveis de criticidade conforme diretrizes de gestão de risco (atenção < alerta < emergência) e histórico local, atualizando o zoneamento proposto pelo IPH em 2018 (Zona de Passagem de Cheias, Zona de Armazenamento de Cheias, Zona de Ocupação com Restrições e Zona de Baixo Risco);

IV. Sistema de referência: SIRGAS2000; projeção UTM (EPSG 31982); referência altimétrica compatível com o padrão oficial vigente (modelo geoidal brasileiro). Precisões compatíveis com a escala de trabalho definida no Evento 7, 8 e 9.

V. Registro completo de premissas (malha, condições de contorno, rugosidade, cotas de controle) e de qualquer ajuste manual.

VI. Aplicar as sugestões de ***Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil*** (Paiva et al, 2024).

Entregas:

Etapa 1:

1. Relatório Técnico do andamento das atividades;

Etapa 2:

2. Mapas em PDF (digita) por tempo de retorno, com layout padronizado (legenda, escala gráfica, norte, sistema de referência, fonte, data e versão).
3. Camadas vetoriais: manchas e eixos hidrológicos (GeoPackage e Shapefile), com atributos de TR, profundidade, velocidade;
4. Rasters: profundidade e velocidade da água;
5. Tabela de cotas de monitoramento por ponto/seção (XLS) com níveis de atenção/alerta/emergência, coordenadas e justificativa técnica.
6. Relatório técnico analítico (memorial descritivo) com metodologia, compilando os itens I a V);
7. Arquivos de estilo (SLD/QML) e projeto de visualização (QGIS) para reprodutibilidade.

4.4.8. Evento 11 – 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 e 10).
- Dados topográficos, cadastrais, de uso e ocupação do solo (Frente de Trabalho 1, Eventos 3, 4 e 5).
- Resultados dos ensaios de anéis concêntricos para subsidiar parâmetros de infiltração.

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. Zoneamentos da passagem de cheias e restrições de uso e ocupação do solo em áreas de risco.

2. Regulações legais da ampliação da rede de micro e macrodrenagem;

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 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.
- **Indicação de Estudos de Detalhamento para Comporem a FASE 2:** com as propostas consolidadas na modelagem hidrológica, indicar áreas para detalhamento geotécnico e topográfico, a fim de subsidiar a elaboração dos projetos executivos. Também devem ser indicados outros detalhamentos, se necessário.

Reuniões e validação

I. Reunião de kick-off com plano de trabalho.
II. Reunião de meio termo com cenários preliminares e shortlist de alternativas.
III. Reunião final de consolidação e treinamento de uso dos produtos (até 4 horas).

Entregas

Etapa 1: Relatório Técnico dos serviços realizados;

Etapa 2:

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-implementação 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 das 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. **Descrições técnicas das alternativas:** Elaborar o Projeto Preliminar das alternativas – Art. 6º, inciso XXXVI: “projeto preliminar: estudo técnico preliminar e anteprojeto”;

5. **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.

4.4.9. Evento 12 – 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.

Entregas:

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

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 delineia 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 n° **14063985**.

MARCIO ALEXANDRE NICKNIG:01396798048
2026.04.22 11:22:11 -03'00'

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.

ASTM INTERNATIONAL, 2018. *D3385-18: Standard test method for infiltration rate of soils in field using double-ring infiltrometer*. West Conshohocken: ASTM International.

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.comitepardo.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.