

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO
COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA LAGOS SÃO JOÃO

HIDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL

PLANO DE TRABALHO

**IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE
SILVA JARDIM - RJ**

Porto Alegre, 09 de abril de 2022



R-1 PLANO DE
TRABALHO



PLANO DE TRABALHO

**IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE
SILVA JARDIM - RJ**

Preparado para:

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO - CILSJ

São Pedro da Aldeia, RJ

Preparado por:

HYDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL

Porto Alegre, RS

Distribuição:

01 cópia *CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO – CILSJ*

01 cópia *HIDROSCIENCE Consultoria e Restauração Ambiental*

Mês/Ano	Documento	Código Documento
Abril/2022	Plano de Trabalho	P1_R-1_PlanoDeTrabalho_2022_Rev02

Dados da empresa

Razão Social: Hidroscience Consultoria e Restauração Ambiental Ltda.
Nome Fantasia: HYDROSCIENCE
CNPJ: 01.486.607/0001-96
Endereço: Rua Joaquim Nabuco 15 conj. 304, CEP 90050-340, Porto Alegre- RS. Fone: (0xx – 48) 3024-5208
E-mail para contato: contato@hydroscience.com.br ; tiago.ferreira@hydroscience.com.br

As informações contidas neste documento e nos arquivos anexados são de propriedade exclusiva da Hydroscience e podem conter assuntos comerciais, de propriedade intelectual ou outras informações confidenciais, protegidas pelas leis aplicáveis.

SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO	4
2.	ESCOPO DO SERVIÇO	4
3.	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	5
4.	OBJETIVOS	7
4.1.	Objetivo geral	7
4.2.	Objetivos específicos	8
5.	METODOLOGIA	8
5.1.	Caracterização da área de estudo e diagnóstico da situação atual	8
5.2.	Levantamentos de campo	10
5.2.1.	Vistoria e planejamento	11
5.2.2.	Levantamentos topobatimétricos	13
5.2.3.	Levantamentos hidrométricos	16
5.3	Estudos hidrológicos	18
5.3.1	Caracterização da bacia hidrográfica.....	19
5.3.2	Pluviometria.....	24
5.3.3	Fluviometria	25
5.3.4	Hidrograma de cheia	26
5.4	Modelagem hidrodinâmica e mapeamento do perigo à inundação	30
5.4.1	Dados de entrada ao modelo HEC-RAS.....	31
5.5	Relatório final consolidado	34
6.	PRODUTOS	35
6.1	Padronização de emissão de documentos	36
7.	CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES	36
8.	CONTROLE DE PRODUÇÃO	39
9.	REFERÊNCIAS.....	40

1. APRESENTAÇÃO

A empresa HIDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL EIRELI, com sede à Rua Joaquim Nabuco nº 15/304, Bairro Cidade Baixa, CEP 90050-340 em Porto Alegre – RS, vem por meio deste, apresentar o Produto 1: R-1 PLANO DE TRABALHO, referente à execução dos “Estudos de Identificação das Áreas Susceptíveis a Inundação no Município de Silva Jardim - RJ”.

Este PLANO DE TRABALHO tem o objetivo de atender aos preceitos estipulados pelo contrato de prestação de serviços CILSJ 05/2022, firmado entre a HIDROSCIENCE CONSULTORIA E RESTAURAÇÃO AMBIENTAL EIRELI (doravante denominada de HYDROSCIENCE) e o CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL LAGOS SÃO JOÃO – CILSJ, designado como CONTRATANTE. O instrumento contratual foi originado a partir do PROCESSO ADMINISTRATIVO nº 172/2020 e do ATO CONVOCATÓRIO Nº 14/2021 e respectivos anexos, do qual a HYDROSCIENCE foi vencedora.

A seguir constam explicitadas as metodologias que serão utilizadas para a execução dos Estudos de Identificação das Áreas Susceptíveis a Inundação no Município de Silva Jardim - RJ. As metodologias propostas seguem métodos padronizados e serão executadas por profissionais qualificados.

2. ESCOPO DO SERVIÇO

Os serviços contratados para a identificação das áreas susceptíveis as inundações em Silva Jardim consistirão na caracterização da área de estudo e diagnóstico da situação atual, levantamentos de campo (topobatimétricos e hidrométricos), estudos hidrológicos e modelagem hidrodinâmica para o mapeamento do perigo à inundação. Um relatório final consolidado será produzido com a finalidade de apresentar todas as atividades desenvolvidas ao longo do projeto.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

De acordo com o código florestal vigente, para cursos d'água cuja largura esteja entre 10m e 50m, como é o caso do rio Capivari no trecho de Silva Jardim, a área destinada à preservação permanente deve ser de 50m (BRASIL, 2012). Conforme informado pela CONTRATANTE e visualizado em imagens de satélite, o trecho rural de Silva Jardim possui baixa ocupação populacional nas margens dos rios, sendo respeitado o enunciado do código florestal brasileiro. Entretanto, é possível observar nos distritos centrais do município que boa parte da área destinada à preservação encontra-se densamente ocupada, cuja ocupação apresenta características bastante diversificadas, a exemplo da Figura 1.



Figura 1. APP aproximada do rio Capivari em Silva Jardim. Fonte: CILSJ (2021).

A ocupação nas margens dos demais rios e canais que cortam o município de Silva Jardim também é densa, como é o caso do rio Valão da Caixa e de um rio que não possui nome, denominado rio Sem Nome. Ademais, Silva Jardim está localizada logo a montante do Reservatório de Juturnaíba, ou seja, os rios, córregos e canais localizados no interior do município escoam suas águas diretamente ao reservatório (Figura 2).



Figura 2. Mancha urbana de Silva Jardim e localização dos principais rios. Fonte: CILSJ (2021).

Ocasionadas provavelmente pela influência de remanso do reservatório e pela ocupação desordenada, as inundações recorrentes em Silva Jardim trazem graves prejuízos econômicos e sociais, conforme pode ser visto na Figura 3.



Figura 3. Inundação em Silva Jardim. Fonte: CILSJ (2021).

Nesse sentido, a identificação das áreas susceptíveis a inundação no município em Silva Jardim será uma ferramenta para que os gestores municipais possam conduzir a distribuição espacial da população e das atividades econômicas de maneira compatível com a preservação dos recursos naturais e com a preservação da integridade física da população, evitando danos socioeconômicos ao município.

A futura execução de técnicas de drenagem urbana sustentável no município de Silva Jardim é essencial para a promoção de um equilíbrio ecossistêmico compatível com o caráter urbano consolidado da área. Os sistemas de drenagem urbana sustentáveis utilizam técnicas não estruturais e/ou técnicas estruturais (tecnologias “alternativas” ou “compensatórias”) para reter e infiltrar as águas pluviais, evitando a transferência de problemas para jusante (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

Segundo Tucci (2007), as técnicas compensatórias geralmente são empregadas para corrigir os problemas relacionados à drenagem urbana construída. Sua aplicação deve considerar a bacia hidrográfica como a base de estudo e neutralizar os efeitos da urbanização sobre os aspectos hidrológicos, com o intuito de evitar inundações e/ou melhorar a qualidade de água.

Ante o exposto, reitera-se que a redução dos eventos de inundações no centro urbano de Silva Jardim passa por uma intervenção na gestão dos recursos hídricos de toda a bacia hidrográfica do Rio Capivari e seus afluentes.

4. OBJETIVOS

Os objetivos apresentados a seguir referem-se aos objetivos estipulados pela CILSJ no Termo de Referência para a elaboração de estudos para identificação das áreas susceptíveis a inundação no município de Silva Jardim - RJ.

4.1. Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo identificar as áreas susceptíveis à inundação no Município de Silva Jardim.



4.2. Objetivos específicos

- I. Mapeamento das áreas inundáveis ao longo dos seguintes rios: Rio Capivari, Sem nome e Valão da Caixa;
- II. Proposição de medidas para mitigação das inundações e melhoria das condições ambientais na área de APP em relação à situação anterior.

5. METODOLOGIA

As atividades a serem desenvolvidas ao longo dos estudos para identificação das áreas susceptíveis à inundação no município de Silva Jardim – RJ serão apresentadas a seguir. Para cada atividade proposta no Termo de Referência, serão descritas as principais etapas, procedimentos e especificações a serem realizadas durante a execução do estudo.

5.1. Caracterização da área de estudo e diagnóstico da situação atual

Conforme estabelecido pela CILSJ, a área de abrangência deste projeto compreende todo o trecho do Rio Capivari que percorre o município de Silva Jardim, perfazendo aproximadamente 27 km de rio, considerando uma faixa marginal de 50 metros. Compreende também seus principais afluentes no município, a saber os rios Sem nome (3 km) e rio Valão da Caixa (7 km).

Para o melhor entendimento dos fatores que causam as inundações em Silva Jardim, será realizado um diagnóstico da situação atual das principais bacias hidrográficas inseridas no interior do município de Silva Jardim, referente aos aspectos sociais, econômicos, ambientais e políticos (legal e institucional), a caracterização física, operacional, administrativa e financeira, etc.

O diagnóstico será realizado com base na coleta de dados primários e secundários por parte da CONTRATADA. Serão levantadas as informações disponíveis no CILSJ, na Prefeitura Municipal de Silva Jardim e suas secretarias, nos órgãos ambientais (INEA/RJ, IBAMA), na Defesa Civil (estadual e municipal), no

Comitê de Bacia Hidrográfica Lagos São João (CBHLSJ), no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no Serviço Geológico do Brasil (CPRM), no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), além da população residente de Silva Jardim e demais órgãos e instituições públicas ou privadas que venham a se tornar relevantes.

A Tabela 1 indica quais as fontes de pesquisa (órgãos/instituições públicas) que inicialmente serão consultadas para a coleta de cada aspecto a ser levantado.

Tabela 1. Aspectos de interesse e respectivas fontes de pesquisa para realização do diagnóstico e caracterização da situação atual de Silva Jardim/RJ

ASPECTOS DE INTERESSE	FONTE DE PESQUISA
<p style="text-align: center;"><u>Sociais</u></p> <ul style="list-style-type: none">• População urbana e rural;• Ocupação em áreas de risco;• População vulnerável às cheias.	<p>Prefeitura Municipal de Silva Jardim</p> <p style="text-align: center;">IBGE</p> <p style="text-align: center;">Defesa Civil RJ/Município</p>
<p style="text-align: center;"><u>Políticos</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Localização no Estado, altimetria;• Vias de comunicação;• Desenvolvimento regional;• Tendências de expansão;• Obras públicas/privadas;• Plano diretor existente;• Expectativa população com projeto.	<p>Prefeitura Municipal de Silva Jardim</p> <p style="text-align: center;">IBGE</p> <p style="text-align: center;">População residente</p>
<p style="text-align: center;"><u>Econômicos</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Perfil socioeconômico da população;• Principais atividades econômicas do município;• Extração de areia;• Impactos ambientais das atividades econômicas.	<p>Prefeitura Municipal de Silva Jardim</p> <p style="text-align: center;">IBGE</p> <p style="text-align: center;">INEA/RJ</p>

ASPECTOS DE INTERESSE	FONTE DE PESQUISA
<p style="text-align: center;"><u>Ambientais</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bacias hidrográficas do município; • Climatologia; • Hidrologia/sedimentologia; • Características fisiográficas dos principais rios; • Estudos de regionalização de vazões; • Obras hidráulicas nos rios em estudo; • Análise da cobertura vegetal do solo; • Uso e ocupação do solo; • Áreas susceptíveis aos movimentos de massa e inundações; • Manchas de inundações e cotas atingidas; • Áreas para disposição de bota-fora; • Mapeamento de locais para implementação de técnicas de drenagem urbana sustentável; • Condições sanitárias dos rios e zona urbana; • Avaliação dos planos, projetos e estudos existentes e em desenvolvimento, como Plano Diretor Municipal / Plano de Águas Pluviais. 	<p>Prefeitura Municipal de Silva Jardim</p> <p>Comitê de bacias hidrográficas</p> <p>Defesa Civil RJ/Município</p> <p>CPRM</p> <p>ANA</p> <p>INMET</p> <p>População residente</p> <p>INEA/RJ</p> <p>IBAMA</p>

Para a etapa de caracterização da área de estudo e diagnóstico da situação atual, uma equipe de funcionários da CONTRATADA realizará ida a campo para levantamento dos dados primários. A data da visita técnica será agendada dentro da janela de 60 dias de execução desta etapa a partir da assinatura da ordem de serviço, conforme apresentado sequencialmente no cronograma das atividades. Contatos telefônicos e via e-mail aos órgãos/entidades supracitados também serão realizados para auxiliar a coleta de informações primárias e secundárias.

5.2. Levantamentos de campo

Conforme citado pela CILSJ, esses levantamentos têm como finalidade subsidiar as modelagens hidrodinâmicas e os projetos básicos, as quais deverão contemplar, minimamente, o trecho do rio Capivari e seus afluentes no município de Silva Jardim, juntamente com algumas áreas nos seus entornos. As atividades relacionadas aos levantamentos de campo foram detalhadas nos itens seguintes.

5.2.1. Vistoria e planejamento

Conforme especificado pela CONTRATANTE, uma vistoria ao município de Silva Jardim está planejada para que os métodos dos levantamentos topobatimétricos e hidrométricos sejam definidos de maneira adequada. Os rios em questão serão percorridos para verificar se será plausível a aplicação do espaçamento médio de 100 m entre as seções transversais da zona urbana dos rios Capivari Valão da Caixa e Sem Nome, assim como um espaçamento de 300m na área rural do Rio Capivari. A Figura 4 ilustra uma estimativa da quantidade e localização das seções transversais respeitando o espaçamento sugerido pela CONTRATANTE.

As seguintes informações também serão verificadas em campo, a fim de tornar o mais fidedigno possível a modelagem hidrodinâmica dos rios em questão:

- Locais onde haja controles fluviais e mudanças morfológicas das calhas dos cursos d'água, a exemplo de barramentos, pontes, etc.;
- Localização de marcos topográficos existentes e das confluências e galerias de drenagem com diâmetro a partir de 1,0 m que deságuam nos rios;
- Data da mais severa inundação que tenha deixado vestígios ainda identificáveis e/ou cujo nível d'água (NA) máximo possa ser apontado pela população ribeirinha.

Com relação aos levantamentos das margens, estes vão se estender até a planície de inundação, de tal forma que representem com alto grau de precisão a conexão das planícies com as calhas dos rios. Dessa maneira, o processo de extravasamento da calha dos rios durante a simulação hidrodinâmica se torna mais confiável.

A partir da vistoria, planejada para ser executada nos dias 18, 19 e 20 de abril, um criterioso planejamento dos levantamentos de campo será realizado. A vistoria será documentada com fotografias de todos os locais visitados, devidamente referenciadas, datadas e com registro da hora de sua obtenção.

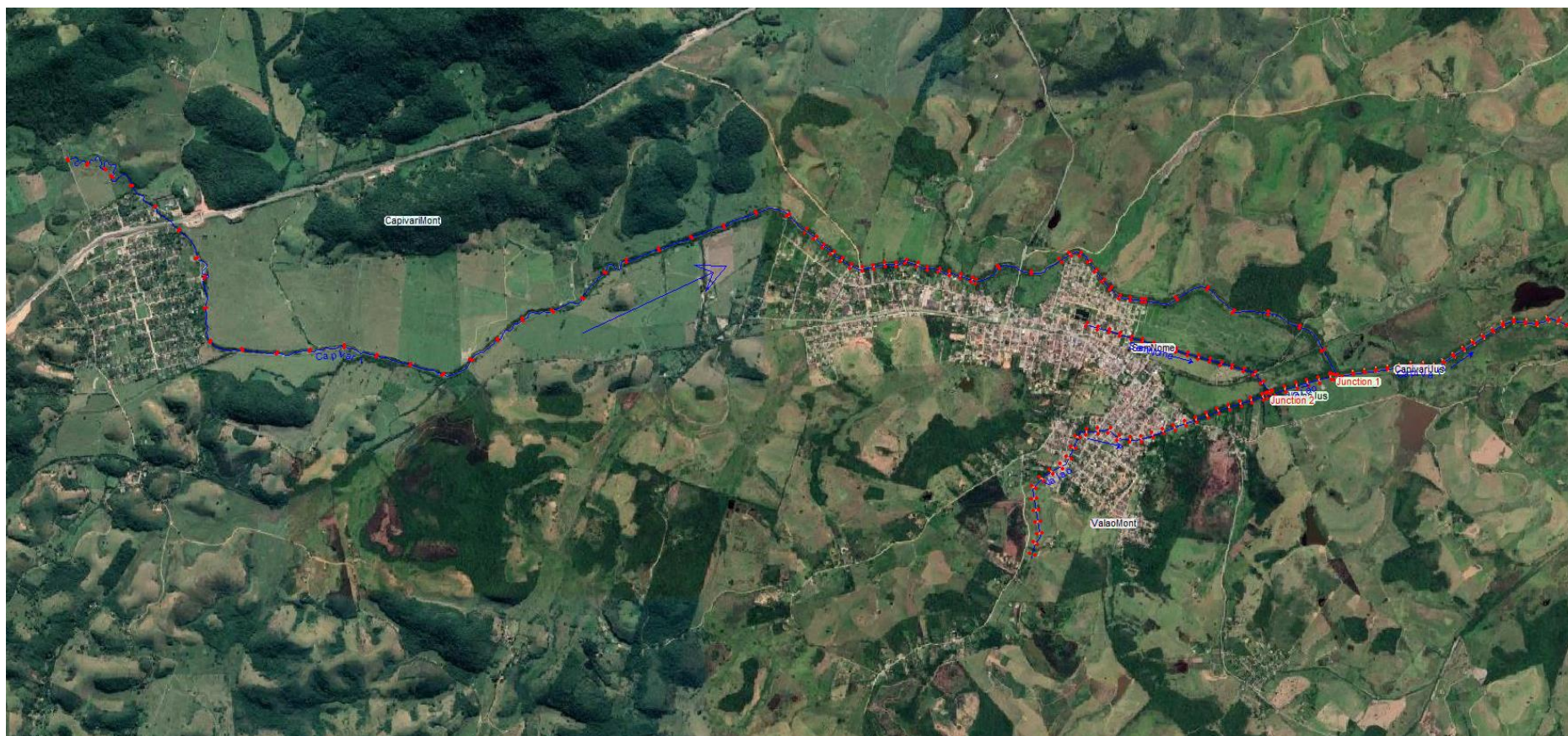


Figura 4. Mapa da estimativa das seções transversais a serem levantadas nos rios Capivari, Valão da Caixa e Sem Nome seguindo o espaçamento indicado pela CONTRATANTE via Termo de Referência.

5.2.2. Levantamentos topobatimétricos

A partir da vistoria em campo, um mapa com a localização das seções transversais dos rios em estudo a serem levantadas será elaborado para nortear os levantamentos topobatimétricos. Em seguida, a morfologia fluvial será representada com a materialização das referidas seções em campo, através da instalação de dois marcos topográficos, um em cada margem dos cursos d'água.

O levantamento topográfico seguirá as disposições presentes na Norma Técnica ABNT NBR 13133, que estipula as condições para execução profissional de levantamentos segundo as convenções topográficas (ABNT, 1994). Será estabelecido um ponto BASE na cidade de Silva Jardim, estrategicamente posicionado para ficar centralizado em relação ao perímetro da área de estudo. O levantamento das coordenadas do ponto BASE será feito a partir de rastreamento com GNSS de dupla frequência, com tempo mínimo suficiente para resolução de ambiguidade e solução fixa para determinação do ponto. Após o rastreamento, os dados serão processados e corrigidos a partir da vetorização referencial à estação RBMC mais próxima (RJN1 96361) com *software* específico (a priori o Topcon-Tools) que irá realizar os cálculos e ajustes necessários para precisão desejada de 5 mm+ 2ppm. Esse ponto será materializado com marco topográfico.

A partir do ponto BASE, serão levantados os demais pontos com o método do levantamento cinemático em tempo real (RTK), fazendo a utilização de dois receptores (BASE e ROVER) com intercomunicação via rádio ou GSM. Serão implantados pontos de apoio auxiliares a cada 300 m longitudinalmente ao longo da área de estudo, os quais terão o posicionamento e nivelamento conferidos a partir de estação total. O levantamento de pontes e estruturas ao longo do rio deverá ser feito a partir da nuvem de pontos extraída de modelo 3D gerado no levantamento aerofotogramétrico a ser feito com drone, devidamente amarrado ao restante do levantamento a partir de pontos georreferenciados na imagem ortorretificada.

A conversão das altitudes elipsoidais, obtidas nos rastreios e levantamentos cinemáticos, para altitudes físicas (ortométricas) ligadas ao SGB, cujos modelos

geoidais respeitam mais fielmente as características do comportamento hidráulico, será feita com auxílio do programa hgeoHNOR (IBGE).

Nos rastreamentos de satélites serão observados os seguintes critérios:

- Tempo de rastreamento mínimo de 30 minutos em cada estação;
- Resolução de ambiguidade em todas as determinações;
- Geometria dos Satélites: GDOP / PDOP menor ou igual a 5 (cinco);
- Rastreadores de satélites GPS geodésicos, com portadoras L1 e L2, com precisão mínima de 5 mm + 2 ppm.

Esse levantamento será apresentado na forma de um relatório que contenha todas as informações pertinentes ao procedimento empregado, desde os dados dos aparelhos utilizados, datas de campanha, memória de cálculo, entre outros. O levantamento de cada seção transversal incluirá obrigatoriamente a anotação da respectiva data, dos níveis d'água (NA) e dos horários no início e na conclusão da batimetria, além, naturalmente, da definição planialtimétrica de todos os elementos de interesse, quando existirem, destacando-se o seguinte:

- Valas paralelas e canais secundários;
- Diques ou aterros, incluindo base e topo dos respectivos taludes;
- Soleiras de casas, pistas de rolamento, meios fios ou guias dos logradouros;
- Pontos atingidos pela inundação extraordinária identificada.

Será desenhado um croqui de cada seção na caderneta de campo, contendo esses e outros elementos que ilustrem a área de sua implantação, tais como distâncias a pontos de referência locais e orientação do Norte.

No levantamento da parte molhada serão seguidas as seguintes diretrizes:

- Seções que apresentem profundidade superior a 4 m, por ocasião do serviço de campo, deverão ser levantadas com ecobatímetro de registro contínuo. Aquelas com profundidades até 4 m poderão ser levantadas com varejão, que consiste em medir a profundidade do rio utilizando-se varas graduadas com fitas centimétricas;

- A amarração planimétrica das verticais de medição de profundidade poderá ser realizada com auxílio de cabo de aço graduado estendido entre as margens, no alinhamento da seção;
- O espaçamento entre as verticais de medição de profundidades (e) ao longo de cada seção é variável, dependendo da largura superficial (L), conforme Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Espaçamento (e) entre as verticais em função da largura (L).

L (m)	3 a 6	6 a 15	15 a 30	30 a 50	50 a 80	80 a 150	150 a 250
e (m)	0,5	1	2	3	4	6	8

Vale ressaltar que esses espaçamentos poderão ser alterados de forma a registrar irregularidades da geometria da seção.

O levantamento da parte seca de cada seção será procedido com emprego de Estação Total, de forma a caracterizar os pontos onde ocorrem mudanças de declividade da seção e relacionando as respectivas leituras aos vértices da poligonal implantada. Esse levantamento abrangerá com folga os pontos correspondentes ao máximo NA ocorrido no local.

As pontes e travessias existentes também serão levantadas em detalhe que permita conhecer a seção do rio sob a ponte, incluindo seu fundo, o vão e a cota da base das vigas/tabuleiro, as dimensões dos pilares e o perfil longitudinal da pista de rolamento. Prioritariamente, será utilizado mapeamento com drone para levantamento desse tipo de estrutura. Caso necessário, o referido mapeamento pode vir a ser executado através do escaneamento a laser das estruturas.

Também serão inclusas neste levantamento a localização, a cota e a seção das bocas das galerias de drenagem e valas que deságuam nos cursos d'água em estudo, com não menos de 1,00 m de largura de fundo ou de diâmetro.

5.2.3. Levantamentos hidrométricos

Este item consiste no levantamento de perfis de linha d'água e medição de vazões que servirão para a calibração do modelo hidrodinâmico através da identificação dos coeficientes de rugosidade das calhas fluviais. A intenção da CONTRATADA é executar esse serviço em águas altas, ou seja, em períodos de cheia. Todavia, de acordo com o cronograma previsto, este levantamento será realizado entre junho e agosto, que é um período de escassez de chuvas na região.

Para se garantir a instantaneidade e a representatividade dos perfis de linha d'água, as medições das cotas fluviométricas serão realizadas de jusante para montante. Estas medições serão realizadas em algumas das seções que tenham sido objeto da topobatimetria, empregando-se nivelamento geométrico a partir dos marcos topográficos nelas implantados. Outro perfil de linha d'água importante a ser caracterizado em cada curso d'água é aquele referente às marcas de uma mesma cheia extraordinária, que serão levantadas durante as topobatimetrias.

O método de medição de vazão que será utilizado será o método da Meia Seção, que segue as diretrizes das normas e recomendações hidrológicas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – Anexo IV – Serviços de Hidrometria e da ANA (2012). O método da Meia Seção consiste em calcular vazões parciais em várias subseções. Neste método as áreas parciais da seção transversal têm seu centro exatamente no eixo da vertical considerada, e a velocidade média de cada trecho é a velocidade média da própria vertical (Figura 5). A soma de todas as vazões parciais corresponde a vazão total que atravessa a seção é dado pela Equação 1:

$$Q_x = V_x \cdot \left\{ \left[\frac{(dx - dx-1)}{2} + \frac{(dx+1 - dx)}{2} \right] \cdot \left[\frac{(px-1 + px)}{2} + \frac{(px + px+1)}{2} \right] / 2 \right\} =$$

$$Q_x = V_x \cdot \left\{ \left[\frac{(dx+1 - dx-1)}{2} \right] \cdot \left[\frac{(2px + px+1 + px-1)}{2} \right] / 2 \right\}$$

Equação 1. Vazão estimada pelo método da meia seção.

Onde:

Q_x = descarga através da seção parcial x ;

V_x = velocidade média da vertical x ;

D_x = distância do ponto inicial à velocidade x ;

$D(x-1)$ = distância do ponto inicial à vertical precedente;

$D(x+1)$ = distância do ponto inicial à próxima vertical;

P_x = profundidade da água na vertical x ;

$P(x-1)$ = profundidade da água na vertical precedente;

$P(x+1)$ = profundidade da água na próxima vertical.

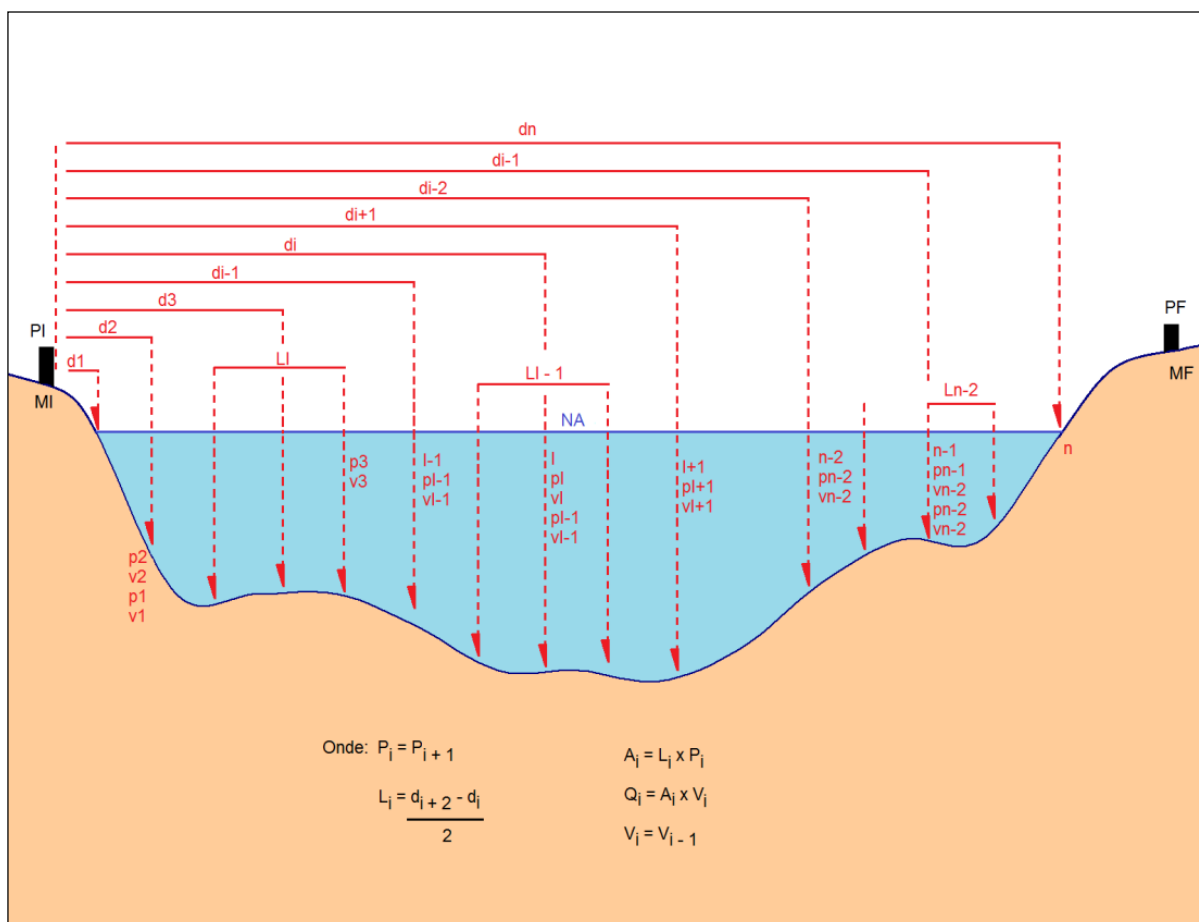


Figura 5. Consideração da seção transversal para o método da Meia Seção. Fonte: Autoria própria.

Para determinar a velocidade de cada subseção, será utilizado o equipamento Molinete Hidrométrico de eixo horizontal acoplado a haste de medição a vau, recentemente aferido, visto que este é um equipamento sensível e necessita ser calibrado antes de seu manuseio para que as medições sejam as mais fidedignas possíveis. O molinete é da marca JCTM, modelo MLN-15, diâmetro da hélice de 12,5 cm. O emprego deste molinete deve ser satisfatório visto que os cursos hídricos da região não possuem grande porte.

5.3 Estudos hidrológicos

Conforme indicado pela CONTRATANTE, o objetivo dos estudos hidrológicos é definir os hidrogramas de vazões máximas de cheias correspondentes aos tempos de recorrência de 2, 10, 25 e 50 anos em seções estratégicas dos corpos hídricos inseridos na área de estudo. A estimativa dessas vazões possibilita o adequado dimensionamento de eventuais técnicas compensatórias de drenagem urbana sustentável. Ademais, esses hidrogramas serão empregados nas simulações hidrodinâmicas dos corpos hídricos para obtenção das manchas de inundação no município de Silva Jardim, especialmente em sua zona urbana.

A metodologia empregada nos estudos hidrológicos para a obtenção de hidrogramas de cheias inclui uma caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas e dos corpos hídricos da área em questão. Também serão analisadas as características pluviométricas e fluviométricas da região para a definição do ano hidrológico, assim como a disponibilidade de séries históricas de chuva e vazão, para então ser decidida qual metodologia será executada para a estimativa das vazões de cheia.

Em caso de existir uma série histórica de vazão com disponibilidade de dados satisfatória nos corpos hídricos da bacia do Rio Capivari, será possível a execução direta de estudos estatísticos para determinação das vazões máximas para diferentes tempos de recorrência. Em contrapartida, caso não haja registros satisfatórios de séries históricas de vazões na referida bacia, é necessária a estimativa de séries

sintéticas de vazão, geradas a partir da regionalização de vazões de áreas hidrologicamente homogêneas em relação a área em estudo, ou a partir de modelos hidrológicos de transformação chuva-vazão.

Os tópicos a seguir descrevem os elementos de cada um dos serviços supracitados.

5.3.1 Caracterização da bacia hidrográfica

Para avaliar se a bacia hidrográfica do rio Capivari e seus afluentes possui predisposição às inundações, é necessária a utilização de um modelo digital de elevação (MDE) ou de um modelo digital de terreno (MDT) em *software* de geoprocessamento. Dentre as opções de MDE/MDT previamente avaliadas e que abrangem a área em estudo, destacam-se os seguintes modelos:

- MDE - Projeto RJ-25, arquivo GeoTiff em escala 1:25.000 e espaçamento de grade de 20 x 20 metros, disponibilizado pelo IBGE¹;
- MDE - ALOS/PALSAR, arquivo GeoTiff com espaçamento de grade de 12,50 x 12,50 metros, disponibilizado pela ASF (*Alaska Satellite Facility*)²;
- MDE - *NASA's Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), arquivo GeoTiff em escala 1:250.000 e espaçamento de grade de 30 x 30 metros, disponibilizado pelo sistema Topodata do INPE³.

Sequencialmente, as características fisiográficas da bacia hidrográfica do Rio Capivari e suas sub-bacias serão estimadas através de análises realizadas em *software* de geoprocessamento. Serão determinados, a priori, os seguintes parâmetros fisiográficos, adaptados das literaturas de Lima (2008) e Collishonn & Dornelles (2015):

¹ Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html> >, acesso em março/2022.

² Disponível em: < <https://search.asf.alaska.edu/> >, acesso em março/2022.

³ Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php> >, acesso em março/2022.

- a. **Coefficiente de compacidade (Kc) – Índice de Gravélius:** Relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e o perímetro de um círculo de mesma área que a bacia. Esse parâmetro sugere suscetibilidade a enchentes.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Equação 2. Cálculo do coeficiente de compacidade.

Onde:

Kc (coeficiente de compacidade); P (perímetro da bacia hidrográfica); A (área de drenagem).

- b. **Fator de forma (Kf) – Índice de conformidade:** Razão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia (da foz ao ponto mais longínquo da área). Esse índice auxilia na indicação de uma tendência a inundação, onde os valores próximos de 1 representam bacias com maior propensão a enchentes e valores menores que 0,50 bacias não sujeitas a grandes enchentes.

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Equação 3. Cálculo do fator de forma.

Onde:

Kf (fator de forma); A (área de drenagem); L (comprimento do eixo da bacia, da foz ao ponto mais longínquo da área).

- c. **Índice de Circularidade (IC):** Relação entre a área de bacia e seu perímetro. Quanto mais próximo de 1, mais próxima da forma circular será a bacia hidrográfica, logo com maior chance de sofrer inundações.

$$IC = 12,57 \frac{A}{P^2}$$

Equação 4. Cálculo do índice de circularidade.

Onde:

IC (índice de circularidade); A (área de drenagem); P (perímetro da bacia hidrográfica).

- d. Densidade de drenagem (Dd):** Relação entre o comprimento total dos cursos d'água da bacia e sua área de drenagem.

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Equação 5. Cálculo da densidade de drenagem.

Onde:

Dd (densidade de drenagem); A (área de drenagem); L (comprimento total dos cursos d'água).

A densidade de drenagem também é influenciada pelo clima e pelas características físicas da bacia hidrográfica, onde a rocha e o solo desempenham papel fundamental, pois determinam a maior ou menor resistência à erosão. As bacias podem ser classificadas da seguinte maneira quanto a densidade de drenagem (STHALER, 1957):

- Baixa Dd: 5.0 km/km²;
- Média Dd: 5,0 - 13,5 km/km²;
- Alta DD: 13,5 - 155,5 km/km²;
- Muito alta DD: >> 155,5 km/km².

- e. Amplitude altimétrica (A):** Diferença de altitude entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da bacia. Possui relação com a velocidade do escoamento e com taxas de erosão.

- f. Comprimento do curso d'água principal (L):** Distância do ponto mais a montante de um rio (cabeceira) até seu exutório (foz).

- g. Declividade do curso d'água principal (S):** Razão entre a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso d'água. Parâmetro de grande importância para o manejo de bacias, pois influencia diretamente no escoamento de água e no tempo de concentração.

$$S = \frac{(Cota_{maior} - Cota_{menor})}{L}$$

Equação 6. Cálculo da declividade do rio principal.

Onde:

S (declividade do curso d'água principal); $Cota_{maior}$ (elevação maior do leito do rio); $Cota_{menor}$ (elevação menor do leito do rio); L (comprimento total do curso d'água principal).

h. Tempo de concentração (T_c): Duração do escoamento de uma gota d'água desde a cabeceira até a foz (exutório) de uma bacia hidrográfica. O T_c é geralmente estimado a partir da análise das características geomorfométricas da bacia, fator determinante à escolha da equação de cálculo deste parâmetro.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos parâmetros fisiográficos que serão estimados para a bacia hidrográfica do Rio Capivari.

Tabela 3. Parâmetros fisiográficos a serem calculados para a bacia hidrográfica do Rio Capivari.

Parâmetros Fisiográficos	Unidade
Área bacia hidrográfica	km ²
Perímetro bacia hidrográfica	km
Comprimento total dos cursos d'água	km
Coeficiente de compacidade	Adimensional
Índice de forma	Adimensional
Índice de circularidade	Adimensional
Densidade de drenagem	km/km ²
Cota de altitude mais alta do curso d'água principal	m
Cota de altitude mais baixa do curso d'água principal	m
Amplitude altimétrica	m
Comprimento do curso d'água principal	km
Declividade do curso d'água principal	m/m
Tempo de concentração	Minuto

Além dos parâmetros fisiográficos e morfológicos supracitados, é de suma importância para um estudo hidrológico entender as características físicas e

ambientais das bacias hidrográficas em estudo. Sendo assim, as informações levantadas no produto *R-2 Caracterização Geral da Área de Estudo* serão utilizadas para subsidiar a elaboração dos estudos hidrológicos.

Serão analisadas e correlacionadas informações sobre a altimetria do relevo (MDE), o uso e ocupação do solo, a pedologia, a geologia e a vegetação na bacia do Rio Capivari. O levantamento destas informações permite uma estimativa do *Curve Number* (CN) ou “número de escoamento”.

O método *Curve Number*, desenvolvido pelo SCS (*Soil Conservation Service*), é um método simples, muito difundido e eficiente para determinar o volume aproximado de escoamento superficial de um evento de chuva em uma região. O coeficiente CN é baseado na análise das características hidrológicas predominantes do solo na área em estudo. São avaliados os grupos hidrológicos a que o solo pertence, o tipo de uso do solo, as características da superfície da bacia (em particular a sua permeabilidade e rugosidade) e a condição hidrológica do solo (traduzida pelas condições antecedentes de umidade) no período imediatamente anterior ao início de um evento de precipitação.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) realizou uma estimativa do CN todo o território nacional (ANA, 2018). Foram atribuídos aos solos brasileiros (escala 1:250.000) as classes hidrológicas indicadas por Sartori et al. (2005), onde esses dados de classes hidrológicas de solos foram cruzados com a grade (1km x 1km - escala 1:250.000) de uso do solo e ocupação da terra do IBGE, gerando assim os valores de CN.

No caso dos valores do CN produzidos pela ANA se mostrarem insatisfatórios para a bacia hidrográfica em estudo, ou seja, com uma resolução espacial muito elevada (1:250.000), a mesma metodologia poderá ser executada para bacia do Rio Capivari através de *software* de geoprocessamento, desde que existam dados vetoriais em escala menor, como 1:25.000, por exemplo.

A elaboração de um mapa da bacia com os valores do CN permite a identificação de regiões que favorecem o escoamento superficial das águas, fator que

acelera o aumento do nível do Rio Capivari em seu exutório, próximo ao reservatório de Juturnaíba e a zona urbana de Silva Jardim. A implementação de técnicas compensatórias em drenagem urbana nas regiões com CN elevado pode desacelerar o escoamento superficial, favorecendo a retenção e infiltração das águas pluviais no solo, que tende a amortecer as cheias (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

5.3.2 Pluviometria

A avaliação do regime pluviométrico da bacia hidrográfica do Rio Capivari será realizada com base na disponibilidade de séries históricas de chuva na região da bacia. Serão consultadas as bases de dados da ANA, INMET, Cemaden, INEA/RJ, Defesa Civil Municipal, etc. A partir dessa coleta de dados, um diagrama de disponibilidade dos dados pluviométricos das estações será elaborado.

As estações que apresentarem séries históricas com disponibilidade temporal satisfatória passarão por um preenchimento de falhas e análise de consistência, caso necessário. Para o preenchimento de falhas o método de ponderação regional com base em regressões lineares é comumente utilizado. Já o método da Dupla Massa, por exemplo, permite uma consistência dos dados preenchidos em uma visão regional, ou seja, comprovando o grau de homogeneidade dos dados disponíveis num posto com relação às observações registradas em postos vizinhos (TUCCI, 2015). Vale ressaltar que a aplicação desse método é válida para séries de precipitações mensais ou anuais.

A partir dos dados consistidos, é possível produzir gráficos do regime pluvial, incluindo redes de isoietas ou polígonos de Thiessen, para a caracterização da região de influência de cada posto pluviométrico na área em estudo.

Caso seja necessária uma análise de chuvas intensas, as equações de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) dos postos pluviométricos serão elaboradas/utilizadas. As equações IDF permitem calcular a intensidade de uma precipitação em função de sua duração e de sua frequência, através da seguinte equação:

$$i = \frac{k * TR^a}{(t + b)^c}$$

Equação 7. Equação de chuvas intensas.

Onde:

i (intensidade da precipitação, em mm/h); t (tempo de duração do evento, em minutos); Tr (tempo de recorrências, em anos); “k”, “a”, “b” e “c” (parâmetros de cada posto pluviométrico).

Será realizada uma pesquisa acerca de equações IDF existentes para a bacia hidrográfica do Rio Capivari. Oliveira (2019) dispõem de uma série de equações IDF de diversas regiões do Brasil. Sabe-se que Albuquerque & Guimarães (2018) realizaram um estudo para a estimativa das equações IDF dos postos pluviométricos do estado do Rio de Janeiro, o que inclui duas estações localizados em Silva Jardim, sendo estas as estações “Gaviões” e “Quartéis”.

5.3.3 Fluviometria

A avaliação do regime fluviométrico da bacia hidrográfica do Rio Capivari será realizada com base na disponibilidade de séries históricas de vazão nos corpos hídricos da bacia. Serão consultadas as bases de dados da ANA, INEA/RJ, Defesa Civil Municipal, etc. A partir dessa coleta de dados um diagrama de disponibilidade dos dados fluviométricos das estações disponíveis será elaborado.

Caso necessário, será realizada uma análise de consistência dos dados fluviométricos. A partir destes dados, serão estimadas a vazão média de longo termo (Q_{MLT}), a curva de permanência das vazões médias diárias, as vazões médias mensais e sua sazonalidade, e as vazões máximas anuais. Ademais, gráficos do regime fluvial, incluindo curvas-chave devidamente consistidas e extrapoladas, serão produzidas caso haja alguma estação fluviométrica com disponibilidade temporal de dados satisfatória.

5.3.4 Hidrograma de cheia

O conhecimento das vazões máximas de uma região é essencial para a elaboração de projetos de engenharia e à gestão de recursos hídricos (BARBOSA et al, 2019). Conseqüentemente, estudos hidrológicos para a determinação de hidrogramas e vazões de cheia são comumente empregados em projetos de dimensionamento de obras de arte especiais (barramentos, vertedouros, pontes, etc.), e à gestão de riscos e desastres, através da previsão de ocorrência de inundação e projeção de obras hidráulicas para controle de enchentes.

Os estudos hidrológicos de vazões extremas para tempos de recorrências (TR) de 2, 10, 25 e 50 anos devem ser realizados conforme a disponibilidade de dados na bacia em estudo. Para estimar vazões de cheia para um TR de 50 anos, Collishonn & Dornelles (2015) reiteram que a série de vazões observadas deve possuir os mesmos 50 anos de dados registrados. Já a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) recomenda que o período de dados utilizados para fins de estudos climáticos tenha, no mínimo, 30 anos (WMO, 2022). De maneira semelhante, a Eletrobrás recomenda em estudos hidrológicos de vazões de cheias com TR de 50 anos ou mais, um mínimo de 30 anos de dados de vazões observadas (ELETROBRÁS, 2022).

De acordo com Benson (1960, apud NAGHETTINI & PINTO, p. 311, 2007), estudos prévios demonstraram que para se estimar uma cheia de 50 anos são necessárias amostras de pelo menos 39 anos, para que as estimativas ficassem na faixa de 24% do valor correto, em 95% dos casos. Caso a confiança de acerto decresça para 80%, o período mínimo de dados necessário seria de 15 anos. Por outro lado, Watt et al. (1988, apud NAGHETTINI & PINTO, p. 312, 2007) recomendam que a análise de frequência local de vazões máximas anuais seja executada para as amostras com mais de 10 anos de dados observados e para estimativas de tempos de retorno no máximo menores do que quatro vezes o tamanho da série (neste caso um TR máximo de 40 anos).

Ante o exposto, se existir uma série histórica de vazões horárias ou médias diárias no Rio Capivari com um período de observação de pelo menos 12 anos, um

estudo estatístico de análise de frequência empírica de vazões máximas pode ser aplicado diretamente aos dados desta estação.

Caso contrário, o emprego de modelos de transformação chuva-vazão permite a extensão de séries de vazões curtas (menos de 12 anos de observação), a partir de dados de chuva com disponibilidade temporal satisfatória. Ademais, existem métodos de chuva-vazão, a exemplo do método SCS *Curve Number (CN)*, que permitem a estimativa de séries sintéticas de vazões máximas com base nos dados de chuva.

Outra opção, no caso das estações de medição de chuva e vazão não possuírem um período de dados de observação satisfatório, é a aplicação das técnicas de regionalização de vazões máximas. Estas opções metodológicas serão brevemente descritas a seguir.

I. Estudo estatístico de análise de frequência empírica de vazões máximas.

No caso de a disponibilidade de séries de vazões observadas ser satisfatória, as vazões de cheia podem ser estimadas através de estudos estatísticos para análise de frequência de eventos hidrológicos extremos. Neste caso, as seguintes etapas são realizadas para a estimativa das vazões para os tempos de recorrência de 2, 10, 25 e 50 anos (NAGHETTINI & PINTO, 2007; COLLISHONN & DORNELLES, 2015):

- a. Seleção das vazões máximas anuais da série histórica de vazões médias horárias/diárias observadas, formando uma amostra (N) de vazões máximas anuais. Deve-se considerar o ano hidrológico;
- b. Organização das vazões máximas anuais em ordem decrescente (m), ou seja, da maior para a menor vazão máxima anual;
- c. Estimativa da probabilidade (P) de que cada valor de vazão máxima anual venha a ser igualado ou excedido, através da equação de Weibull, aplicado para cada vazão máxima anual, com variação do (m);

$$P = \frac{m}{(N + 1)}$$

- d. Aplicação de distribuições de probabilidade utilizadas para a análise das vazões máximas para os TR de 2, 10, 25 e 50 anos, a exemplo das distribuições Gumbel, Fréchet, Weibull, Generalizada de Valores Extremos (GEV), Exponencial, Pearson III, Log-Pearson III e Log-Normal de 2 parâmetros.
- e. A escolha da melhor distribuição deve ser realizada através do melhor ajuste gráfico entre a série de vazões máximas anuais simuladas e as distribuições estatísticas calculadas, além do menor valor do erro padrão da estimativa e demais coeficientes estatísticos.

As etapas dos Itens c. e d. poderão ser realizadas no *software* ALEA - Análise de frequência Local de Eventos Anuais, elaborado por Wilson Fernandes no Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, sob a coordenação do professor Mauro Naghettini. Este *software* utiliza as principais distribuições de probabilidade para a estimativa das vazões de cheia, sendo necessário inserir ao programa somente a série de vazões máximas anuais (UFMG, 2012).

II. Métodos de transformação de chuva em vazão

Os métodos de transformação chuva-vazão podem ser aplicados para o preenchimento ou extensão de uma série histórica de vazão, ou para a estimativa de hidrogramas de cheias a partir de chuvas de projeto, que é um evento chuvoso idealizado obtido das equações IDF, ao qual um TR está associado (COLLISHONN & DORNELLES, 2015).

Para o preenchimento de uma série histórica de vazão, os registros de chuva e vazão devem estar disponíveis em períodos temporais concomitantes. No caso da extensão de uma série histórica de vazão, os registros históricos de chuva devem

possuir um período temporal concomitante e mais extenso que as vazões. Dessa maneira, os registros históricos de chuva são utilizados como informação de entrada ao modelo, sendo os coeficientes do modelo calibrados até que as vazões simuladas e observadas estejam semelhantes, com índices estatísticos satisfatórios.

Para simular os processos de chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio Capivari, será necessário o uso de modelos hidrológicos, como o HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*)⁴. Este modelo pode ser utilizado para simular as cheias de eventos de curta e longa duração, dispondo de vários métodos para determinar a chuva efetiva (parcela da chuva que gera o escoamento superficial).

Um dos métodos disponíveis no HEC-HMS para a transformação da chuva de projeto de um TR específico em chuva efetiva é o SCS *Curve Number (CN)*, que relaciona a chuva efetiva com o tipo hidrológico e o uso e ocupação do solo. Para a transformação da chuva efetiva em um hidrograma efluente (vazões de cheia), o método do hidrograma unitário da SCS é uma opção muito aplicada em estudos que utilizam o modelo HEC-HMS.

III. Regionalização de vazões máximas

Caso haja uma indisponibilidade de séries históricas de chuva e vazão, ou os dados estejam muito defasados, as vazões de cheia poderão ser geradas a partir de técnicas de regionalização de vazões máximas. Segundo Tucci (2002), métodos como a regionalização hidrológica permitem que informações hidrológicas de uma região hidrologicamente homogênea possam ser transferidas de uma bacia hidrográfica monitorada para outra não instrumentalizada.

Para tanto, estações fluviométricas em bacias vizinhas ou hidrologicamente homogêneas à bacia do Rio Capivari devem possuir um período representativo de medição de vazões horárias ou médias diárias. Havendo tal disponibilidade, as técnicas de estimativa de vazões descritas no Item I podem ser executadas, resultando em vazões de cheias para os TR de 2, 10, 25 e 50 anos. A regionalização

⁴ Disponível em: < <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> >.

destas vazões para os corpos hídricos da bacia do Rio Capivari ocorre por equações de regressão que envolvem características fisiográficas (área de drenagem, comprimento do rio principal, etc.) ou climáticas das bacias hidrográficas.

Independentemente do método escolhido, que será baseado na disponibilidade de dados hidrológicos na bacia do Rio Capivari, o estudo hidrológico contemplará as séries sintéticas de vazões máximas geradas para os locais de interesse, com demonstração de como foram obtidas. Também serão apresentadas as memórias de cálculo dos estudos estatísticos de cheias e dos hidrogramas de cheias de projetos, acompanhadas dos gráficos representativos desses trabalhos, conforme solicitado pela CONTRATANTE.

5.4 Modelagem hidrodinâmica e mapeamento do perigo à inundação

Para o rio Capivari, assim como os rios Sem nome e Valão da Caixa, as simulações hidrodinâmicas serão realizadas com o *software* HEC-RAS⁵, um modelo matemático computacional bidimensional, comprovadamente reconhecido, capaz de representar o comportamento hidrodinâmico dos escoamentos fluviais.

O estudo hidráulico será composto dos seguintes cenários:

- Cenário atual de ocupação;
- Cenários de projeto (incluindo as intervenções propostas).

A simulação do cenário atual servirá para avaliar os impactos causados por um evento extremo de precipitação caso nenhuma intervenção seja implementada. Este cenário irá diagnosticar a situação das inundações em todos os rios estudados, indicando quais os principais pontos de alagamento e extravasamentos que ocorrem para as planícies marginais.

O resultado do cenário atual de ocupação será validado através das informações coletadas durante a etapa de caracterização e diagnóstico da situação

⁵ Disponível em: < <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> >.

atual do município (Produto R-2). As manchas de inundação resultantes do modelo serão comparadas com as fotos de inundações anteriores e possíveis manchas ou cotas de inundações obtidas de informações da defesa civil e população local.

Com base no resultado validado do cenário atual, os cenários de projeto serão criados. Nestes cenários serão elencadas as técnicas compensatórias em drenagem urbana, estruturais e/ou não-estruturais, que possuem potencial para amenizar os efeitos das cheias causadas pelos eventos hidrológicos críticos de precipitação.

O produto final será representado em planta, seções transversais e perfil, com base na topobatimetria levantada em campo e restituição aerofotogramétrica, da linha d'água de cheia para os diferentes tempos de recorrência, ou seja, o mapeamento das zonas de passagem de cheias, conforme solicitado pela CONTRATANTE.

Para cada um dos cenários simulados, serão elaborados mapas de perigo para os níveis de água máximos (profundidade) e para as velocidades máximas ao longo da zona de inundação. A correlação desses fatores torna possível a criação de um mapa de perigo, sendo representado por 3 categorias: baixo, médio e alto perigo. Este mapeamento será apresentado como o produto final da etapa de modelagem hidrodinâmica, sendo classificado como carta de perigo de inundação para os rios estudados.

5.4.1 Dados de entrada ao modelo HEC-RAS

Na modelagem hidráulica da bacia do Rio Capivari pretende-se utilizar um MDE (a priori o MDE da ALOS/PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros) para representar as feições topográficas da bacia. A Figura 6 ilustra o MDE da ALOS/PALSAR na extensão HEC-GeoRAS. Através dessa extensão do HEC-RAS é possível extrair diretamente do MDT os dados geométricos da bacia hidrográfica, sendo posteriormente importado pelo modelo HEC-RAS como dado de entrada das modelagens hidráulicas que forem realizadas.



Figura 6. MDE ALOS/PALSAR com 12,5m de resolução espacial na região em estudo inserido no ambiente HEC-GeoRAS.

O MDE de 12,5m de resolução do ALOS/PALSAR não permite uma caracterização altimétrica detalhada do relevo nas zonas urbanas de Silva Jardim e nas planícies de inundação, onde a altimetria quase não varia. A Figura 7 ilustra as curvas de nível do MDE, onde nota-se que a altimetria na zona urbana é considerada praticamente a mesma, sem a distinção entre as vias de tráfego e as construções verticais, como prédios e casas, por exemplo.

Além dos fatos descritos acima, o leito dos rios da bacia do Rio Capivari também não possuem uma caracterização precisa, como pode ser visto na Figura 8, que ilustra algumas sessões transversais do Rio Capivari extraídas do MDE ALOS/PALSAR. Por esta razão que as seções transversais do Rio Capivari, Valão da Caixa e Rio Sem Nome (resultados do Produto R-3) serão inseridos ao HEC-RAS, permitindo um detalhamento minucioso do formato do leito dos rios.



Figura 7. Curvas de nível do MDE ALOS/PALSAR com 12,5m de resolução espacial na região urbana do município de Silva Jardim, inserido no ambiente HEC-GeoRAS.

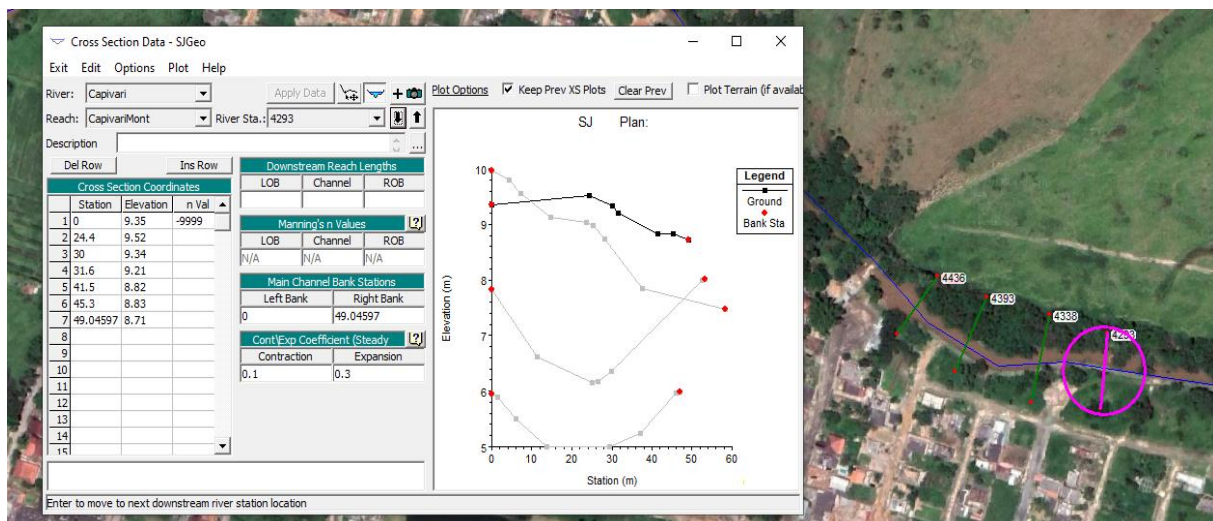


Figura 8. Extração de sessões transversais do MDE ALOS/PALSAR, com formatos irregulares da calha do Rio Capivari, aplicação do módulo Geometry do HEC-RAS.

Ante o exposto, para que as manchas de inundação simuladas sejam as mais fidedignas possíveis com as inundações ocorridas, será necessária a criação de um MDE com resolução espacial refinada (de pelo menos 1x1 metro) nas áreas urbanas mais susceptíveis à inundação. Este serviço será um resultado do Produto R-3, e será executado via levantamento aerofotogramétrico por drone. A aplicação de um MDE com resolução espacial mais refinada gera maior precisão das áreas inundáveis na planície de inundação urbana, pois o MDE com a referida resolução é capaz de detalhar com precisão a altimetria das construções e vias de tráfego da zona urbana, assim como as zonas de extravasamento das calhas dos rios nas planícies inundáveis.

As vazões de cheia obtidas na modelagem hidrológica serão inseridas no modelo HEC-RAS como condição de contorno ao modelo, adotando-se o regime permanente, para identificação das áreas inundáveis simuladas pelo modelo. Posteriormente, serão simulados os hidrogramas de cheias em regime não-permanente, para avaliação da elevação do nível dos rios durante um evento de chuva crítico. Os valores do coeficiente de manning da planície de inundação e das calhas dos rios serão estimados inicialmente de acordo com os resultados do Produto R-2 e R-3, para então serem calibrados no cenário atual da modelagem hidrodinâmica.

5.5 Relatório final consolidado

O Relatório Final Consolidado tem como finalidade apresentar todas as atividades desenvolvidas ao longo do projeto. Este relatório será composto pelos seguintes itens: Introdução, Área de Estudo, Metodologia, Resultados, Propostas para Mitigação e Síntese. No capítulo de Metodologia serão apresentadas as metodologias utilizadas e os mapeamentos realizados. O capítulo Resultados abordará os principais resultados obtidos através das modelagens hidrodinâmicas. No capítulo de Propostas para Mitigação, as possíveis propostas de intervenção para mitigação das inundações serão descritas. Por fim, o capítulo de Síntese reunirá os conteúdos de todos os produtos do projeto de maneira didática, de forma a tornar o projeto acessível à população e aos gestores do município.

6. PRODUTOS

Conforme apresentado no Termo de Referência do ato convocatório N° 14/2021, a execução deste estudo resultará na elaboração de seis produtos. Os relatórios serão entregues de acordo com o cronograma apresentado no item 7, contemplando os produtos elencados a seguir:

- ✓ **Produto 1.** R-1 Plano de trabalho;
- ✓ **Produto 2.** R-2 Caracterização geral da área de estudo;
- ✓ **Produto 3.** R-3.1 Vistoria e planejamento dos levantamentos de campo;
R-3.2 Levantamentos topobatimétricos;
R-3.3 Levantamentos de perfis instantâneos de linha d'água e medições de vazões;
- ✓ **Produto 4.** R-4 Estudos hidrológicos;
- ✓ **Produto 5.** R-5 Modelagem hidrodinâmica e mapeamento do perigo à inundação;
- ✓ **Produto 6.** R-6 Relatório final consolidado.

Todos os relatórios serão entregues em duas vias impressas e em meio magnético. Os arquivos em meio magnético serão entregues em PDF e no seu formato original, que permita a sua edição futura.

A entrega dos produtos e a comunicação entre CONTRATADA e CONTRATANTE ocorrerá, de maneira oficial, via e-mail e/ou videoconferência, com registro dos assuntos tratados e das definições da reunião em ata. Mensagens de texto via celular servirão apenas para esclarecimento de dúvidas pontuais entre as partes.

Além dos relatórios acima mencionados, será entregue a base de dados e demais dados secundários utilizados no desenvolvimento do projeto em dois formatos:

- Não-editável, para serem arquivados como o produto final do serviço prestado;
- Editável (formato original), para que possam ser utilizados como base para estudos futuros.

6.1 Padronização de emissão de documentos

Com o objetivo de padronizar a emissão de documentos, será aplicada uma codificação para a numeração dos documentos, definida por 5 campos, tal como apresentado na Tabela 4 a seguir:

Padrão: PX₁_R-X₂_XXXX₃_XXXX₄_RevXX₅

Exemplo: P1_R-1_PlanoDeTrabalho_2022_Rev01

Tabela 4. Padronização da emissão de documentos.

Número do campo	Descrição
X ₁	Número do produto
X ₂	Número do relatório
XXXX ₃	Descrição do produto
XXXX ₄	Ano de entrega
XX ₅	Número da revisão

7. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES

Os serviços referentes aos “Estudos de Identificação das Áreas Susceptíveis a Inundação no Município de Silva Jardim - RJ” serão realizados em até 12 meses após a assinatura da ordem de serviço por parte da CONTRATADA. O início da prestação

do serviço ocorreu após a assinatura do contrato entre as partes envolvidas e obedecerá ao seguinte cronograma de execução (Tabela 5):

Tabela 5. Cronograma de execução das atividades com referido prazo de entrega.

ATIVIDADES	PRAZOS
R-1 Plano de Trabalho	30 dias
R-2 Caracterização Geral da Área de Estudo	60 dias
R-3.1 Vistoria de planejamento dos levantamentos de campo	30 dias a partir do 1º mês
R-3.2 Levantamentos Topobatimétricos	90 dias a partir do 2º mês
R-3.3 Levantamento de Perfis Instantâneos de Linha d'água e Medições de Vazão	30 dias a partir do 3º mês
R-4 Estudos Hidrológicos	60 dias a partir do 5º mês
R-5 Simulação Hidrodinâmica e mapeamento do perigo à inundação	120 dias a partir do 5º mês
R-6 Relatório Final Consolidado	30 dias a partir do 9º mês

A seguir, o Cronograma físico-financeiro deste projeto é apresentado (Figura 9). A data inicial dos trabalhos se equivale ao dia da assinatura do Contrato 05/2022 entre as partes, que ocorreu em 08/03/2022. Neste cronograma também são informados os custos monetários de cada atividade, assim como o percentual do custo total atrelado a cada atividade a ser realizada.



R-1 PLANO DE TRABALHO



RELATÓRIOS - PRODUTOS	ETAPAS (MÊS)												CUSTO POR ATIVIDADE (R\$)	PERCENTUAL POR ATIVIDADE (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
R-1 Plano de Trabalho	[Progress bar: 1 month]												41,543.46	8%
R-2 Caracterização Geral da Área de Estudo	[Progress bar: 2 months]												41,543.46	8%
SERVIÇOS TOPOBATIMÉTRICOS E HIDROMÉTRICOS														
R-3.1 Vistoria e planejamento dos levantamentos de campo	[Progress bar: 2 months]												20,773.21	4%
R-3.2 Levantamentos Topobatimétricos	[Progress bar: 5 months]												207,732.19	40%
R-3.3 Levantamento de Perfis Instantâneos de Linha d'água e Medições de Vazão	[Progress bar: 4 months]												62,319.65	12%
ESTUDOS HIDROLÓGICOS														
R-4 Estudos Hidrológicos	[Progress bar: 8 months]												41,543.46	8%
MODELAGEM HIDROLÓGICA														
R-5 Simulação Hidrodinâmica e mapeamento do perigo à inundação	[Progress bar: 10 months]												83,101.84	16%
CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS, SIMULAÇÕES E RESULTADOS														
R-6 Relatório Final Consolidado	[Progress bar: 10 months]												20,773.21	4%
ENCERRAMENTO CONTRATUAL														
Apresentação do R-6 Relatório Final Consolidado ao CBHLSJ; Emissão de ART (Hydroscience) e do Termo de Recebimento de Objeto (CILSJ)														
CUSTO/ETAPA (R\$)	41,543.46	62,316.67	0.00	62,319.65	207,732.19	0.00	41,543.46	0.00	83,101.84	20,773.21	0.00	0.00	TOTAL	TOTAL
CUSTO PERCENTUAL/ETAPA	8%	12%	0%	12%	40%	0%	8%	0%	16%	4%	0%	0%		
CUSTO ACUMULADO (R\$)	41,543.46	103,860.13	103,860.13	166,179.78	373,911.97	373,911.97	415,455.43	415,455.43	498,557.27	519,330.48	519,330.48	519,330.48	R\$ 519,330.48	100%
CUSTO PERCENTUAL ACUMULADO	8%	20%	20%	32%	72%	72%	80%	80%	96%	100%	100%	100%		

Figura 9. Cronograma físico-financeiro do Contrato 05/2022 firmado entre o CILSJ e a HYDROSCIENCE.

8. CONTROLE DE PRODUÇÃO

Os membros da CONTRATADA citados na Tabela 6 serão responsáveis pela execução e controle de produção dos produtos descritos neste plano de trabalho.

Tabela 6. Responsáveis pelo controle de produção e execução dos produtos.

Serviço	Profissional	Qualificação	Registro Profissional	Produto Executado
Supervisão e revisão	Tiago Finkler Ferreira	Biólogo Ms. Dr. Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental	CRBIO RS 41024	R1, R2, R3, R4, R5, R6
Elaboração e revisão	Júlia Costa	Engº Sanitarista e Ambiental, Ms	CREA SC 99635-1	R4, R5, R6
Elaboração	Luca Bonaspetti Caprara	Engº Sanitarista e Ambiental	CREA SC 177263-6	R1, R2, R4, R5, R6
Elaboração	Alexandre Dos Santos	Engº Sanitarista e Ambiental	CREA SC 183174-0	R1, R2, R4, R5, R6
Elaboração	Leonardo Kleba	Biólogo Ms. Dr. e Técnico em Agrimensura	CRBIO SC 069814	R1, R2, R3, R6
Elaboração	Clodoaldo Rogério Nunes	Técnico em Hidrologia	CRT RS 36357324000	R2, R3



Tiago Finkler Ferreira
Diretor Técnico HydroScience
PhD em Recursos Hídricos & Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS)
MSc em Ecologia (UFRGS)
Coordenador Geral dos Serviços
CRBIO 041024/03-D

9. REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). “**Nota Técnica nº 46/2018/SPR**” (**Curve Number da base hidrográfica ottocodificada**). 2018. Disponível em <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em março/2022.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Orientações para Operação de Estações Hidrométricas**. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. -- Brasília: ANA, SGH. 2012. 52p.: il.

ALBUQUERQUE, D. B; GUIMARÃES, D. V. **Desenvolvimento de Equação de Chuva Intensa para o Estado do Rio de Janeiro**. Orientado por Cel QEM Marcelo de Miranda Reis - Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2018. 72p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 35 p.

BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2015. 2ª reimpressão da 2ª edição. 318 p.

BARBOSA, M. A. G. A.; ANJINHO P. S.; DOS SANTOS, A. R.; OKAWA C. M. P.; MAUAD, F. F. **Vazões máximas: breve descrição de conceitos e métodos de regionalização**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Santa Maria v.23, e42, p. 01-06, 2019. DOI:10.5902/2236117039846 - ISSN 2236-1170.

BENSON, M. A. **Evolution of the methods for evaluating the occurrence of floods**. USGS, Water Resources Paper 1580-A, 1960.

BRASIL. **Lei Nº 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Publicado no DOU em 28 de maio de 2012.

COLISHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre : Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2ª Impressão, 2015. 336p. : Il. – (Coleção ABRH ; 12).

Consórcio Intermunicipal Lagos São João – CILSJ. **Termo de referência para contratação de empresa para elaboração de estudos para identificação das áreas susceptíveis a inundação no município de Silva Jardim - RJ.** Anexo I. Ato convocatório nº 14/2021. Processo administrativo 172/2020. São Pedro da Aldeia, RJ. 2021.

ELETOBRÁS. **Manuais e Diretrizes para Estudos e Projetos.** Disponível em <<https://eletrobras.com/en/Paginas/Manuais-e-Diretrizes-para-Estudos-e-Projetos.aspx>>. Acesso em: março/2022.

LIMA, W. de P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Departamento de Ciências Florestais. Piracicaba – São Paulo. 2008. 253p.

NAGHETTINI, M. PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística.** Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

OLIVEIRA, L. F. C. de. **Chuvas extremas no Brasil: modelos e aplicações.** Lavras/MG. 2019.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos.** Parte 1: Classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

STHALER, A.N., 1957. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** Trans American Geophysical Union, 38: 913-920

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4ª edição. 2015.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas.** 1. ed. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007. v. 11, 389 p.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões.** Editora da Universidade. UFRGS. 1a edição. Porto Alegre, 2002. 256 p.



R-1 PLANO DE
TRABALHO



Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Fernandes, W. **ALEA - Análise de frequência Local de Eventos Anuais**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. 2012. Disponível em: < <https://www.ehr.ufmg.br/downloads/> >.

WATT, W. E.; LATHEM, K. W.; NEILL, C. R.; RICHARDS, T. L. e ROUSSELE, J. **The Hydrology of Floods in Canada: A Guide to planning and Design**. National Research Council of Canada. 1988.

World Meteorological Organization (WMO). **The Guide to Hydrological Practices (WMO No.168)**. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. Volume II. Disponível em: <<http://www.whycos.org/hwrrp/guide/index.php>>. Acesso em: março/2022.