META 4 – MODELAGEM HIDRODINÂMICA

Relatório Técnico Circunstanciado

Cenário III

HIDRO LAGES

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA ECONÔMICA – EVTA

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE LAGES

Defesa Civil

Universidade do Estado de Santa Catarina

Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV

COORDENAÇÃO GERAL
Sílvio Luís Rafaeli Neto - ART 6772660-6

SECRETARIA
Jussara Ribeiro dos Reis

PROGRAMAÇÃO VISUAL
Sílvio Luís Rafaeli Neto

EQUIPE TÉCNICA

Reservatório de Detenção
Renata Bulling Magro

Diques de Contenção
Víctor Luís Padilha
ART 6773107-2

AUXILIARES TÉCNICOS
Bruno Álvaro Schina
Daiane Teixeira Schier
Renata Bulling Magro

M587

Meta 4 – Modelagem Hidrodinâmica: relatório técnico circunstanciado - cenário III / coordenação Sílvio Luís Rafaeli Neto. – Lages : Udesc/CAV, 2019.
29 p. : il. ; color.

Projeto Hidro-Lages é uma parceria entre a Prefeitura Municipal de Lages e a Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias.

1. Enchentes e inundações - Lages . 2. Modelagem hidrodinâmica. 3. Reservatório de detenção. I. Neto, Sílvio Luís Rafaeli.

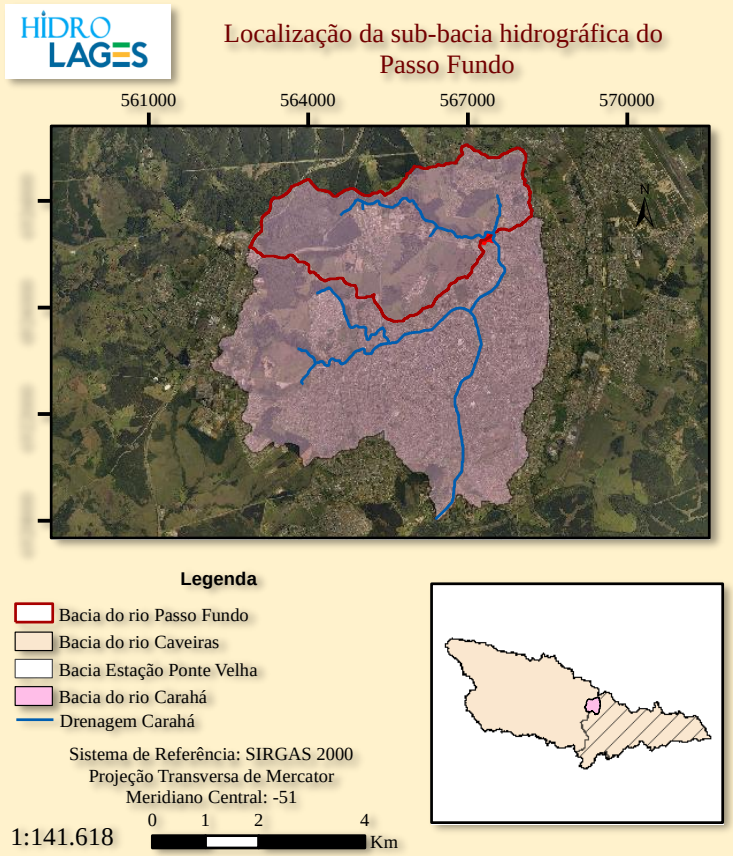
CDD 20. ed. – 551.48

Ficha elaborada pela bibliotecária Marli Andreola CRB 14/1170

SUMÁRIO

1 Apresentação 5
1.1 Enchente e inundação 8
1.2 Componentes espaciais das inundações 9
1.3 Inundações e o desenvolvimento urbano 10
1.4 Medidas de controle de inundações 11
2 O Cenário III 13
3 Modelagem hidrológica 14
3.1 Tempo de concentração e isócronas da URH do Rio Passo Fundo 15
3.2 Hietograma de projeto 15
3.3 Chuva efetiva 16
3.4 Hidrograma de projeto 16
4 Modelagem hidrodinâmica 17
4.1 Aplicação do Modelo HEC-RAS 18
5 Análise dos impactos do cenário III 20
6 Cenário alternativo – diques de contenção 24
7 Considerações Finais 27
8 Bibliografia 28

Figura 1 – Sub-bacia hidrográfica do Rio Passo Fundo.



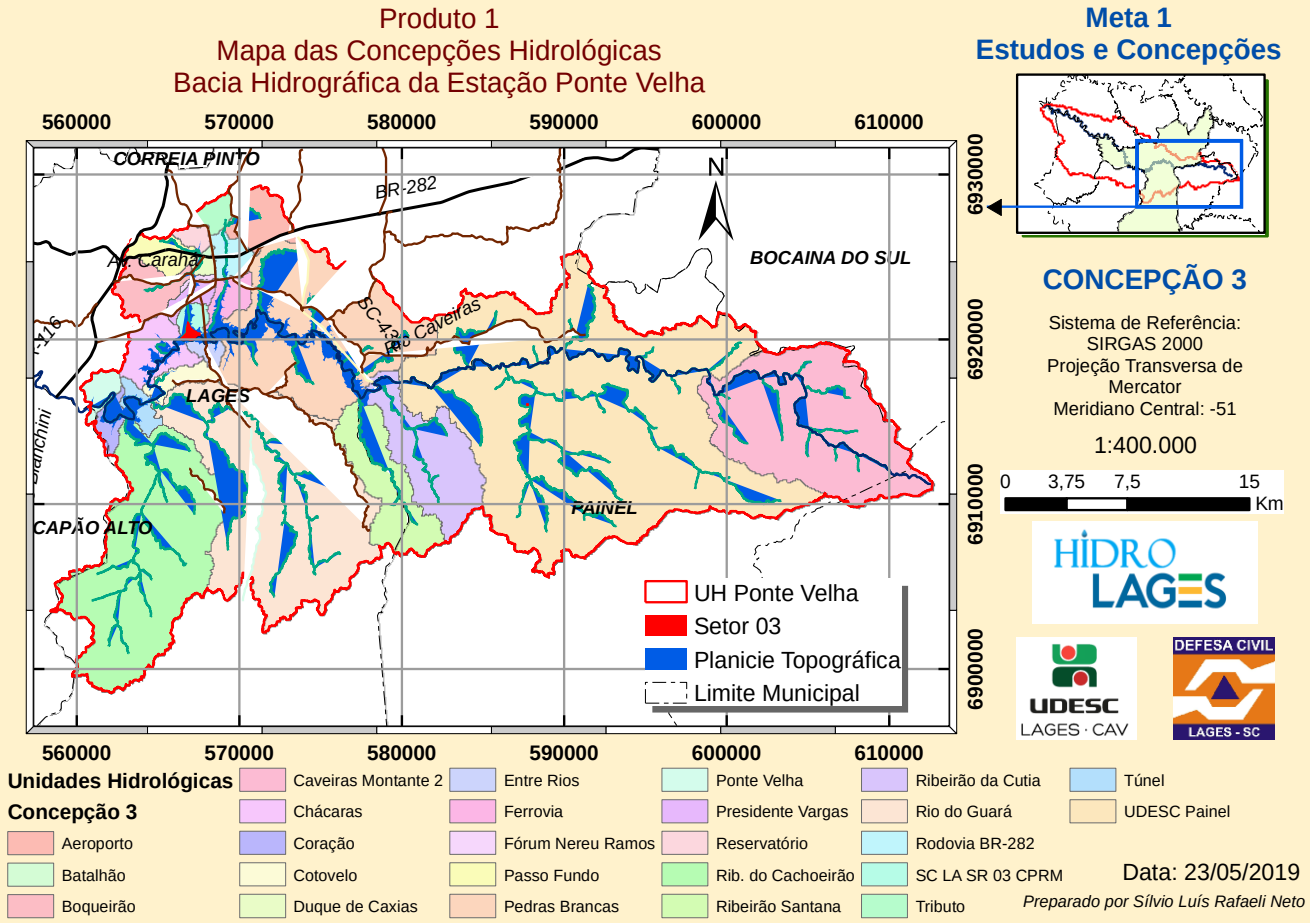
Por Renata Bulling Magro, Sílvio Luís Rafaeli Neto e Víctor Luís Padilha

1 Apresentação

Este relatório tem por objetivo apresentar o estudo realizado sobre o Cenário III, relativo a medidas estruturais de prevenção e mitigação dos desastres hidrológicos causados por eventos de inundações na cidade de Lages. O Cenário III, especificamente, se refere à viabilidade técnica de um reservatório de detenção no bairro Passo Fundo. Este bairro foi selecionado no escopo do projeto Hidro-Lages por experimentar eventos extremos (NETO, 2019)[1], haver uma população socialmente fragilizada que ocupa a planície de inundações do Rio Passo Fundo e por haver iniciativas do poder público municipal no sentido de avaliar medidas estruturais que possam vir ao encontro da mitigação dos desastres hidrológicos naquela região.

[1] NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). **Meta 2 - Estudo hidrológico** : relatório técnico - parte 2 - volumes e tempos de recorrência. Lages: UDESC/CAV, 2019. 70 p. Projeto Hidro-Lages.

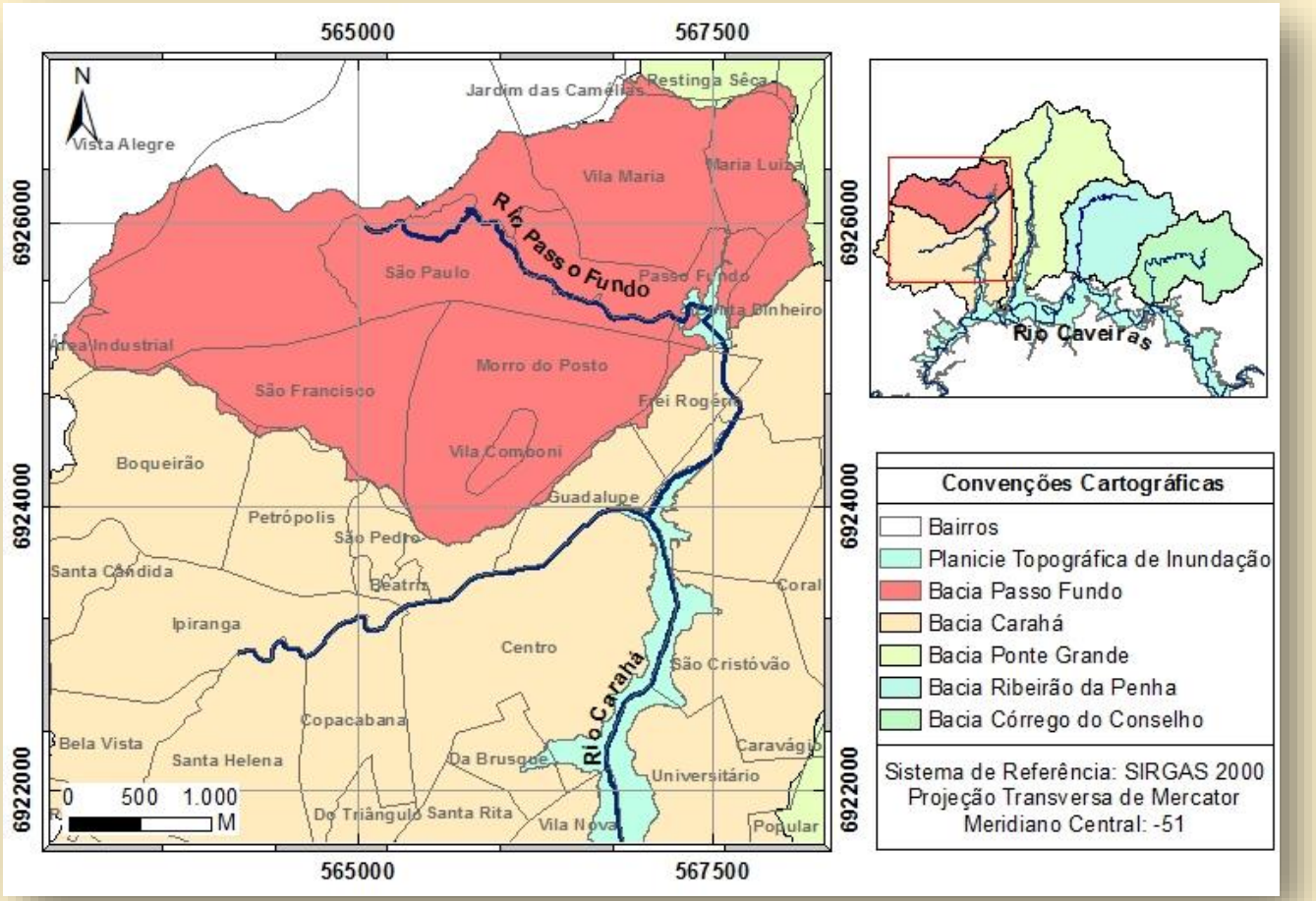
Figura 2 - Unidades hidrológicas da bacia hidrográfica da Estação Ponte Velha.



Fonte: NETO (2019)[2]

[2] NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). Meta 1 - Estudos e concepções : **relatório das concepções hidrológicas**. Lages: UDESC/CAV, 2019. 45 p. Projeto Hidro-Lages

Figura 3 – Situação da sub-bacia hidrográfica do Rio Passo Fundo em relação aos bairros e planície topográfica de inundações..



Fonte: Magro (2019).

As inundações no bairro Passo Fundo ocorrem na planície de inundações do Rio Passo Fundo, afluente direto do Rio Carahá (Figura 2). As bacias de captações destes rios fazem parte de um conjunto de bacias e inter-bacias da Estação Fluviométrica Ponte Velha (NETO, 2019)[3]. As unidades hidrológicas que fazem parte da área de estudo do reservatório são Passo Fundo, Reservatório e Batalhão.

A declividade dos dois canais principais da área de modelagem é baixa (Figura 4). O entorno do rio Passo Fundo é composto por vegetação e ocupações irregulares que são afetadas pelas inundações.

Figura 4 – Fotografia de características do rio Passo Fundo.

1.1 Enchente e inundação

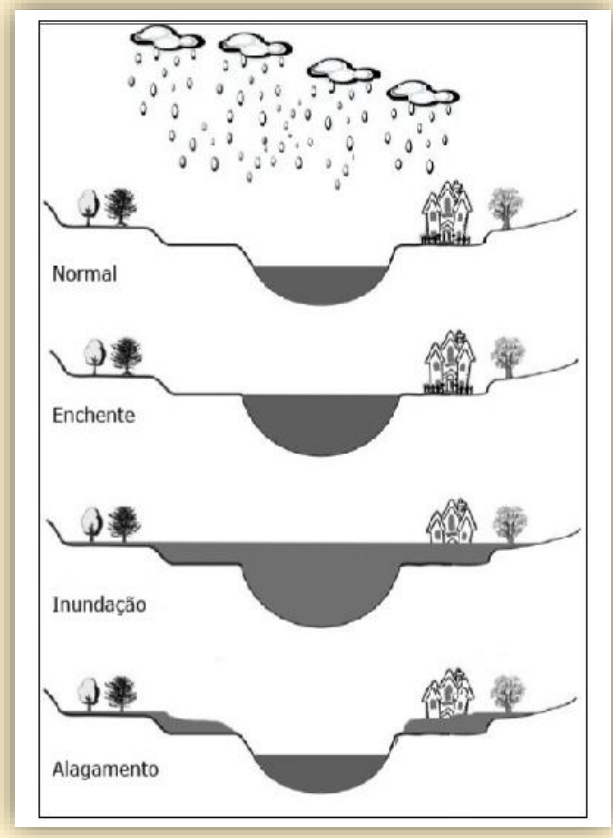
Inundação ocorre quando a água proveniente de um processo de enchente de um curso d'água transborda a calha natural e se propaga para as áreas laterais. Inundação é o processo de ocupação, enquanto enchente é o processo de enchimento da calha natural de um curso d'água devido ao aporte de água proveniente da parcela da chuva que escoa superficialmente durante eventos extremos e que se concentra nos canais de escoamentos de uma bacia hidrográfica. Enchentes (ou cheias) são processos naturais e podem ou não provocar inundações (Pinheiro, 2007). Após a passagem da onda de cheia a água armazenada na superfície lateral tende a voltar para o leito de escoamento natural, permanecendo os materiais que foram transportados, como os sedimentos. Os alagamentos usualmente são entendidos como processos de acumulação de água em pontos esparsos devidos a capacidade limitada de escoamento junto aos canais, por vezes motivados pelo subdimensionamento de estruturas de drenagem.

O escoamento superficial é o processo hidrológico pelo qual a denominada "chuva excedente" ou "chuva efetiva" escoa pela superfície vertente em direção aos canais topográficos. Quando os volumes ou taxas de escoamento superficial atingem valores elevados, tem-se a enxurrada, a qual pode iniciar processos de erosão do solo e carreamento de sedimentos. As taxas de enxurradas nas áreas urbanas tendem a ser elevadas na medida em que a capacidade de infiltração da água no solo é reduzida pelo processo de urbanização. A urbanização normalmente

[3] NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). **Meta 1 - Estudos e concepções** : relatório das concepções hidrológicas. Lages: UDESC/CAV, 2019. 45 p. Projeto Hidro-Lages.

provoca compactação do solo ou mesmo a impermeabilização por meio de construções, arruamentos, entre outros.

Figura 5 - Ilustração dos conceitos de enchente, inundação e alagamento.



Fonte: (Goerl & Kobiyama, 2005).

Figura 6 – Ilustração dos processos hidrológicos de enchentes, inundações e alagamentos.

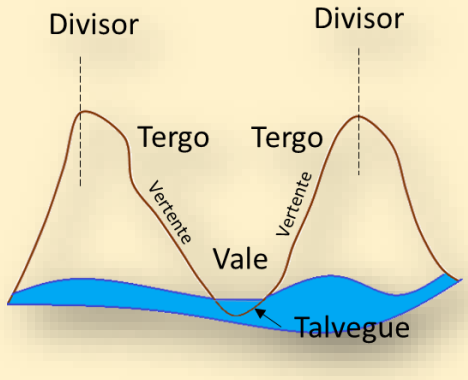
Fonte: Polícia Militar do Estado de Santa Catarina.

1.2 Componentes espaciais das inundações

A inundações são processos naturais decorrentes diretamente dos processos hidrológicos de precipitação e escoamento superficial. A erosão do solo também é um processo natural que molda a superfície topográfica, ou seja, define a configuração do relevo. Alguns componentes de relevo são especialmente importantes quando se deseja estudar a estrutura de inundações que causam prejuízos sociais, econômicos ou ambientais.

Dentre esses componentes tem-se: divisor de águas, tergo, vertente, vale e talvegue (Figura 7).

Figura 7 - Elementos de relevo relacionados com o escoamento da água



Divisor de água é a linha de cumeada formada pelo encontro de dois tergos. Tergo é a porção superior de uma vertente. Vertente é a superfície compreendida entre o divisor de águas e o talvegue. Talvegue é a linha de relevo formada por dois vales. Vale é a porção inferior de uma vertente. Portanto, a configuração espacial do escoamento superficial é condicionada pela configuração do relevo, ou seja, pela configuração de seus divisores de águas, vales e talvegues.

Os canais de drenagem, onde se formam rios perenes, intermitentes ou efêmeros, ocorrem nos talvegues. A estrutura geométrica dos talvegues determina a conformação da rede hidrográfica. As acumulações de água no relevo ocorrem próximas à rede hidrográfica, nas áreas onde a declividade dos vales é muito baixa. A área sujeita a ocupação eventual pela água é denominada de **planície de inundações**.

1.3 Inundações e o desenvolvimento urbano

As inundações ribeirinhas têm sido agravadas pelo desenvolvimento urbano. Elas normalmente ocorrem nas planícies de inundações, onde é possível identificar dois leitos: o leito menor, onde a água escoa na maior parte do tempo e o leito maior, que é inundado durante eventos extremos de chuvas. Portanto, historicamente sempre ocorreram para ambos os leitos.

As inundações devido à urbanização se devem a alguma interferência humana no meio como, por exemplo, aterros, barragens, dragagens de cursos d'água, impermeabilização do solo, entre outros, relacionados com obras de drenagem em geral (PADILHA, 2017).

Em relação às inundações urbanas em Lages, estas têm sido frequentes (NETO, 2019)[4], como nos anos de 1997, 2001, 2005, 2008, 2011, 2013, 2015, 2016 e 2017. Um dos eventos mais extremos da série histórica corresponde ao ano de 2011 (S2ID, 2017). Como consequência, diversos bairros do município foram atingidos.

[4] NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). **Meta 2 - Estudo hidrológico** : relatório técnico - parte 1 - modelagem hidrológica. Lages: UDESC/CAV, 2019. 54 p. Projeto Hidro-Lages

A ocorrência dos desastres pelas inundações, alagamentos ou enxurradas nas cidades, de um modo geral, estão relacionadas com o aumento significativo da população nessas cidades e a tendência dos projetos de drenagens serem realizados com base em uma visão pontual, ou limitada, do problema, ou seja, drenando-se as águas o mais rápido possível das áreas urbanizadas (Tucci, 2007).

Segundo o Sistema Integrado de Informações sobre desastres (S2ID, 2017), que integra produtos da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil - SEDEC, constata-se que existe um elevado número de habitantes atingidos por inundações. Isto aumenta à medida em que os centros urbanos se expandem de maneira desordenada, especialmente quando não se consideram as áreas de riscos projeto urbanísticos.

1.4 Medidas de controle de inundações

O conceito de técnicas compensatórias nos projetos de drenagens urbanas tem-se consolidado no Brasil por meio de diferentes medidas, focadas na capacidade de infiltração e de armazenamento, com o objetivo de compensar impactos urbanos sobre o ciclo hidrológico (Miguez, Veról, & Carneiro, 2012).

Os primeiros conceitos introduzidos em projetos e planos de drenagem urbana diferenciam as ações estruturais e não estruturais para resolver problemas de eventos de inundação municipais (Oneda, 2018). As medidas estruturais relacionam-se a obras de captação, armazenamento e transporte de volumes de águas dentro de limites estabelecidos pela quantificação dos riscos e pelo conhecimento prévio das ondas de inundação, ajustadas às condições locais por meio de estruturas de contenção (Righetto, 2009).

As medidas estruturais que podem ser caracterizadas como intensivas (Tabela 1), que são aquelas que atuam no curso hídrico (Cordeiro, Medeiros, & Teran, 2019) e, podem ser de três tipos:

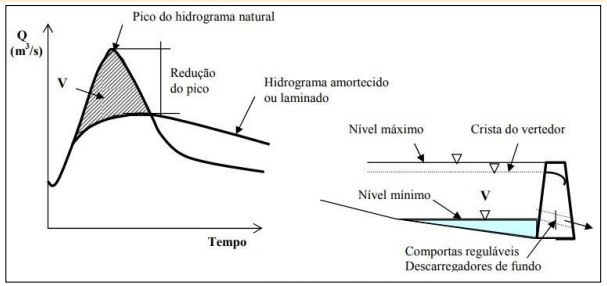
a) Retardamento do fluxo: reservatórios (bacias de detenção/retenção), restauração de calhas naturais (Figura 8a);

b) Aceleração do escoamento: canalização e obras correlatas (Figura 8b);

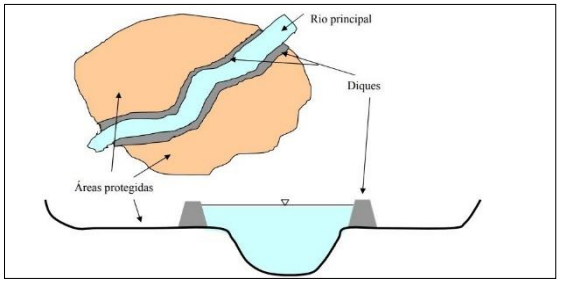
c) Desvio do escoamento: retificação, túneis de derivação e canais de desvio (Figura 8c).

Figura 8 – Medidas intensivas de controle de inundações: a) aceleração de escoamento; b) Retardamento de fluxo; c) Desvio do escoamento.

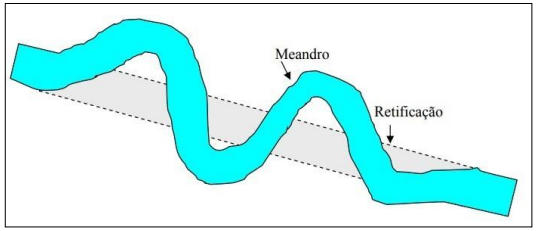
a)



b)



c)



Fonte: (Cordeiro, Medeiros, & Teran, 2019).

Tabela 1 – Medidas estruturais intensivas.

Propósito de amortecer o escoamento			
Medida	**Principal vantagem**	**Principal desvantagem**	**Aplicação**
Todos os reservatórios	Controle das cheias à jusante do reservatório	Localização difícil devido à desapropriação das áreas	Bacias pequenas e intermediárias, dependendo do volume
Reservatórios com comporta de usos múltiplos	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatório para controle de cheias	Operação com reservatório mantido seco para receber a cheia	Custo não partilhado; dificuldade de controle da área do reservatório devido a inundação pouco frequente	Bacias pequenas e médias; restrito ao controle de enchentes
Propósito de acelerar o escoamento			
Medida	**Principal vantagem**	**Principal desvantagem**	**Aplicação**
Diques e polders (dique de terra e enrocamento)	Alto grau de proteção de uma áreas específica. Utilizado principalmente para flutuações pequenas de níveis (até 6m)	Danos significativos caso falhe. Não deve ser utilizado para desníveis altos devido ao risco de falha.	Grandes rios e na planície, onde a declividade é pequena e a flutuação nos níveis é menor.
Alteram a condutância do escoamento: redução da rugosidade e aumento de seção	Aumento da vazão e da velocidade do escoamento e redução do nível	Efeito sobre um trecho do rio, transfere efeito para jusante. Pode ter alto custo.	Rios pequenos e médios.
Alteração da declividade do fundo	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio para jusante com aumento do potencial erosivo	Área de inundação estreita
Propósito de desviar o escoamento			
Medida	**Principal vantagem**	**Principal desvantagem**	**Aplicação**
Desvios	Redução da vazão para jusante	Depende da topografia e dos efeitos para onde a vazão é direcionada	Bacias médias e pequenas

Propósito de amortecer o escoamento			
Medida	**Principal vantagem**	**Principal desvantagem**	**Aplicação**
Caminhos da cheia: desvio de parte do volume para áreas de inundação.	Amortece o escoamento e diminui a vazão	Depende da topografia e dos efeitos para onde a vazão é direcionada	Todos os tamanhos

Fonte: Adaptado de (Tucci, 2007).

Com base nas opções disponíveis de medidas de controle estruturais intensivas apresentadas, optou-se no presente cenário pelo amortecimento do escoamento e atenuação do hidrograma por meio de bacia de detenção.

Ao fim da presente análise, sugere-se medidas alternativas relacionadas com as duas outras opções apresentadas, havendo aceleração e/ou desvio do escoamento, não fazendo parte do presente propósito de análise do cenário III, entretanto mostrando-se apto a aplicação na região com base nas considerações apresentadas adiante.

2 O Cenário III

Avaliação do Cenário III foi realizada com a simulação dos efeitos hidrodinâmicos de um reservatório de detenção na sub-bacia do Rio Passo Fundo. As informações obtidas por meio do estudo estão descritas em mapas do cenário e de seu entorno, onde serão apontados os locais atingidos por manchas de inundação e avaliando-se diferentes intervenções sobre o terreno.

O Cenário III é avaliado na Unidade de Resposta Hidrológica do Rio Passo Fundo. A URH é uma unidade espacial cujas respostas hidrológicas são tratadas uniformemente. Por exemplo, a altura ou intensidade da chuva é considerada uniforme sobre a área da unidade, assim como os parâmetros de solo e topográficos. Uma URH pode ser uma bacia hidrográfica ou uma inter-bacia (Figura 2).

O reservatório está localizado na Unidade de Resposta Hidrológica do Rio Passo Fundo. O local foi escolhido pelas seguintes razões:

a) Está localizado junto ao exutório onde ocorrem os eventos de inundações
b) Implicaria na desapropriação de uma única propriedade
c) O uso da terra no local é praticamente composto de campo

A área de modelagem equivale às URHs Passo Fundo, Reservatório e Batalhão apresentadas em NETO (2019)[5], NETO (2019)[6] e NETO (2019)[7].

[5]NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). Meta 1 - Estudos e concepções : **relatório das concepções hidrológicas**. Lages: UDESC/CAV, 2019. 45 p. Projeto Hidro-Lages.
[6]NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). Meta 2 - Estudo hidrológico : **relatório técnico - parte 1 - modelagem hidrológica**. Lages: UDESC/CAV, 2019. 54 p. Projeto Hidro-Lages
[7]NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). Meta 2 - Estudo hidrológico : **relatório técnico - parte 2 - volumes e tempos de recorrência**. Lages: UDESC/CAV, 2019. 70 p. Projeto Hidro-Lages.

O estudo apresentado considerou as seguintes condições de contorno:

a) Abordagem de Unidade de Resposta Hidrológica (URH);
b) Definição de medidas estruturais com maior relevância para a mitigação dos desastres causados por inundações no rio Passo Fundo;
c) Avaliação de impactos no entorno da área estudada.

Estas condições são aplicadas em uma área total de 9,52 km², a qual abrange os canais de drenagem natural da região, visando atender ao cenário III. A viabilidade da construção de um reservatório de detenção no rio Passo Fundo é analisada sobre as áreas inundadas indicadas pelas simulações e pelos volumes captados, com base em chuvas de projeto.

O objetivo principal da construção desta estrutura é atenuar os efeitos negativos decorrentes das inundações na região por meio do armazenamento temporário da onda de cheia do rio Passo Fundo, atenuando a vazão de pico. A escolha do local foi realizada tendo como base o histórico de inundações do município, visando minimizar os impactos nas regiões mais afetadas. O reservatório de detenção situa-se nas coordenadas 27º47'42,33''S e 50º18'57,69''W, no bairro Passo Fundo, na zona urbana do município de Lages, as margens da BR-282.

O reservatório de detenção abrange uma área de 3,45 ha, com uma capacidade de armazenamento estimada de 142.719,00 m³ de água.

Sua implementação é prevista no exutório da Unidade Hidrológica Passo Fundo, adjacente ao rio Passo Fundo, o que o caracteriza como um reservatório de detenção *in line*.

Figura 9 - Área do reservatório.

Fonte: Magro (2019).

3 Modelagem hidrológica

A modelagem hidrológica foi realizada por meio de equações empíricas clássicas, para um Tempo de Retorno de 50 anos. O método foi selecionado porque produz vazão de pico bem superior às vazões obtidas para as junções 9, 10 e 11 na modelagem hidrológica baseada no evento extremo do ano de 2005. Maiores informações podem ser obtidas em MAGRO (2019) e SCHINA (2019).

3.1 Tempo de concentração e isócronas da URH do Rio Passo Fundo

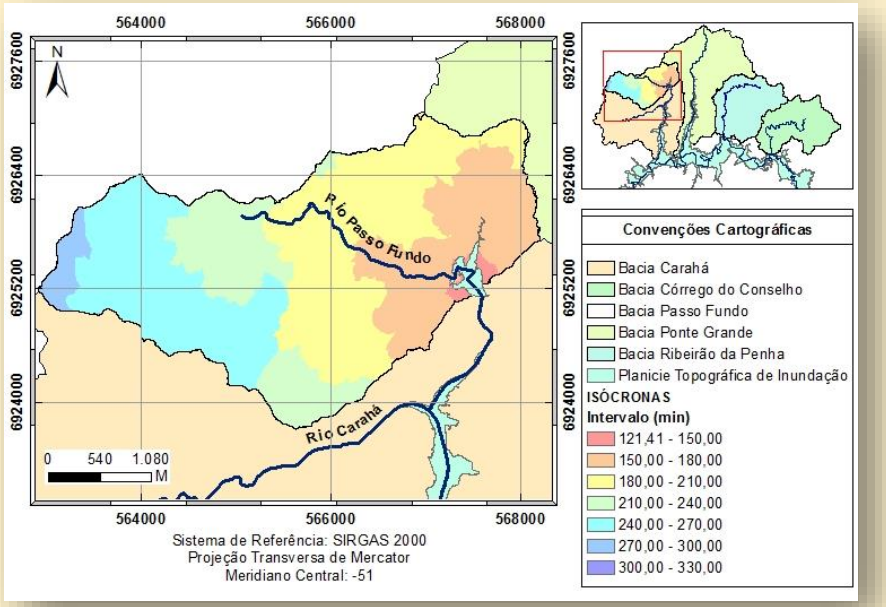
O Tempo de Concentração (TC) da bacia hidrográfica do rio Passo Fundo foi obtido a partir do traçado das isócronas. As isócronas foram delimitadas a cada 30 minutos totalizando sete isócronas na área de estudo, com um TC total de 240 minutos. As isócronas foram geradas pela ferramenta "Watershed Isochrones", acoplada ao Sistema de Informações Geográficas ArcGis, desenvolvida no Laboratório de Hidrologia e Modelagem Hidrológica, vinculado ao curso de graduação em Engenharia Hídrica e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Pelotas.

A validação do TC foi feita com base na comparação entre o valor obtido pelo método das isócronas e a equação do TC, desenvolvida por Watt e Chow (1988).

$$TC = 7{,}68\left(\frac{L}{S^{0{,}5}}\right)^{0{,}79} \quad (2)$$

Onde: TC : Tempo de concentração da bacia (min); L = Comprimento do escoamento mais longo (km); S : Declividade do talvegue principal (m. m^{-1}).

Figura 10 - Isócronas e tempo de concentração da URH Passo Fundo.



Fonte: Magro (2019).

3.2 Hietograma de projeto

As alturas de chuvas foram definidas a partir da relação de Intensidade-Duração-Frequencia (IDF) para Lages, conforme BACK et al. (2011), para os tempos de retorno de 5, 10, 15, 20, 50 e 100 anos, respectivamente.

$$i = \frac{1112{,}6\ T^{0{,}722}}{(t)^{0{,}8003}} \quad (1)$$

Onde: i : intensidade média de precipitação ($mm.h^{-1}$), na duração da chuva (t : minutos); T : tempo de retorno (anos).

As durações de 30 minutos das chuvas do hietograma de projeto foram definidas a partir das isócronas (Figura 10) da URH. Posteriormente, calcularam-se as alturas acumuladas de chuvas, as alturas incrementais e a distribuição dos blocos pelo método dos blocos alternados (Tabela 2).

3.3 Chuva efetiva

A chuva efetiva foi obtida pelo Método do *U. S. Soil Conservation (SCS)*, cujo parâmetro CN – *Curve Number* foi relacionado ao uso e ocupação da terra na URH. O valor médio apurado foi de **68,08**.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \ ; \ I_a = 0{,}2S \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

Onde: P_e : precipitação efetiva (mm); P : precipitação acumulada (mm); I_a : perdas iniciais; S : lâmina máxima de armazenamento (mm) no solo.

A equação 2 foi aplicada para um **Tempo de Retorno de 50 anos**. Portanto, os resultados das simulações hidrodinâmicas consideram este tempo como sendo a recorrência dos eventos de chuvas máximas neste cenário.

Tabela 2 - Chuvas máximas de 50 anos para a unidade hidrológica do Rio Passo Fundo.

Duração	Chuva Total (mm)	Chuva Efetiva (mm)
30	7,5	0,0
60	13,0	0,0
90	51,4	13,8
120	20,9	11,5
150	9,5	5,9
180	6,2	4,0
210	6,2	4,2
240	4,7	3,2

3.4 Hidrograma de projeto

O hidrograma de projeto foi definido pelo método do Hidrograma Unitário Sintético Triangular do SCS, a partir do Tempo de Concentração (t_c) e da área da bacia de captação (A).

$$t_r = 0{,}1333 t_c \quad (4)$$

$$t_p = 0{,}6 t_c \quad (5)$$

$$T_p = \left(\frac{t_r}{2}\right) \quad (6)$$

$$t_b = 2{,}67\left(\left(\frac{t_r}{2}\right) + t_p\right) \quad (7)$$

$$Q_p = \frac{(0{,}208 \text{ x } A)}{T_p} \quad (8)$$

Onde: t_r: duração do bloco de chuva; t_p: tempo entre metade da duração do bloco de chuva e o instante do pico – tempo de subida do hidrograma; T_p: tempo de pico; t_b: tempo entre o início e o fim do escoamento superficial – tempo de base do hidrograma; Q_p: a vazão de pico. Os tempos são dados em horas e a vazão de pico em m³/s.mm.

Tabela 3 - Hidrograma de projeto para um tempo de retorno de 50 anos na unidade hidrológica do Rio Passo Fundo.

Duração (min)	Q_{total} (m^3s^{-1}/mm)
30	0
60	0,0
90	0,0
120	6,2
150	17,6
180	31,7
210	37,4
240	36,7
270	33,4
300	23,6
330	18,1
360	10,4
390	5,8
420	2,8
450	0,8

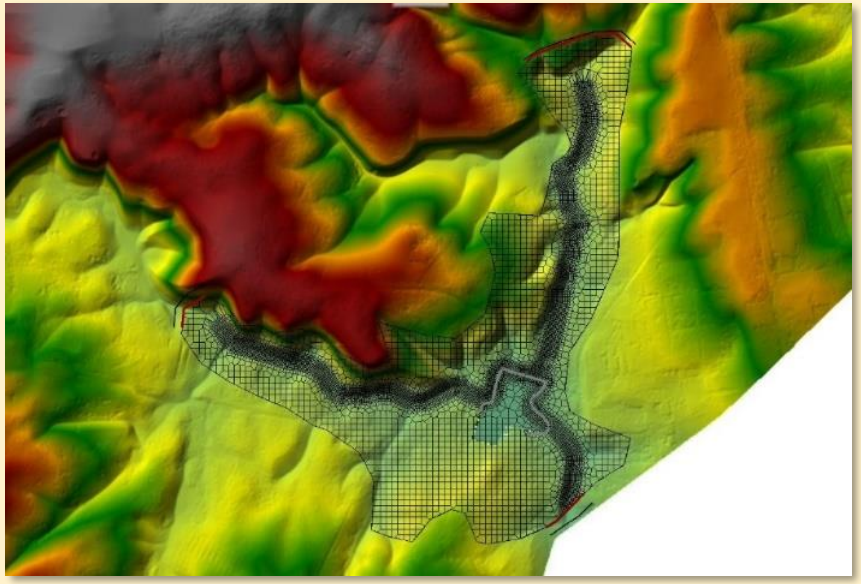
4 Modelagem hidrodinâmica

A modelagem hidrodinâmica foi realizada sobre o modelo digital de terreno de (SDS, 2013). O MDT é um dos dados de entrada fundamentais para a modelagem hidrodinâmica, assim como a malha tridimensional gerada a partir dele (Figura 11).

A Figura 11 apresenta o trecho da área modelada. A bacia de detenção está situada entre as junções 9 e 10, definidas na modelagem hidrológica baseada no evento ocorrido em 2005 (Figura 12).

A área de inundação bidimensional foi configurada baseando-se nos mapas disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Lages, que contém os polígonos relativos às maiores cotas de inundações que ocorreram nos eventos de 2005, 2008 e 2011. Estes mapas foram validados a campo e reconstituídos pelo Laboratório de Hidrologia do CAV/UDESC em 2015. O polígono de contorno existente nestes mapas foi considerado como sendo a planície hidrológica de inundação.

Figura 11 - Modelo Digital de Terreno apresentando o relevo da área de modelagem.



O modelo HEC-RAS (*Hydrological Engineering Center – River Analysis System*), utilizado neste estudo, é um modelo matemático desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* (HEC) do *US Army Corps of Engineers* (USACE) e disponibilizado gratuitamente na rede mundial de computadores. A malha de simulação hidrodinâmica bidimensional foi elaborada neste aplicativo, considerando dois canais de influência (um é referente ao rio Passo Fundo, proveniente da direção Oeste e outro vindo do Norte, denominado de Córrego Maria Luiza), caracterizados como sendo as principais entradas do fluxo de água, e que, consequentemente, seriam os responsáveis por ocasionar inundações nesta região de interesse.

O hidrograma de projeto para o Tempo de Retorno de 50 anos foi aplicado para gerar manchas de inundações por meio do HEC-RAS e, assim, poder analisar os efeitos da implementação de um reservatório de detenção.

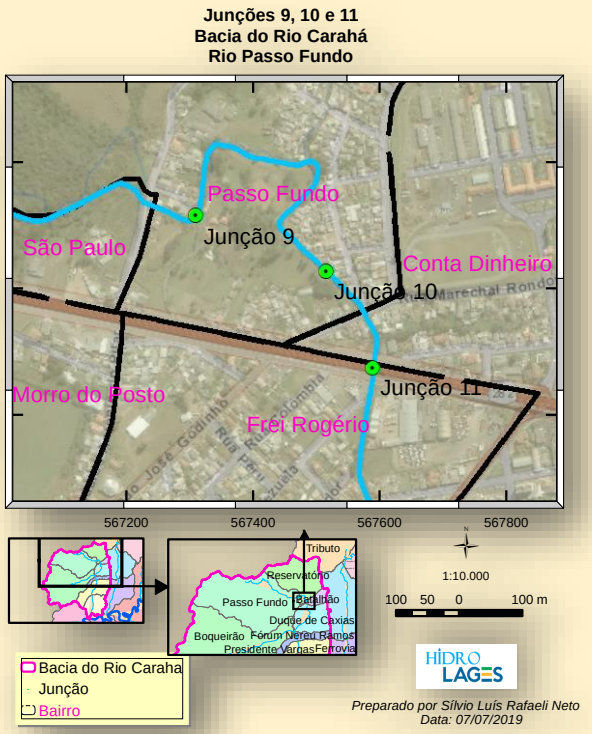
Os hidrogramas de 2005 das junções 9 e 10 não foram aplicados para o cenário III, em virtude do tempo de retorno do cenário III ter sido fixado para 50 anos, sendo este o tempo usual em situações de medidas estruturais de macro-drenagem urbana.

4.1 Aplicação do modelo HEC-RAS

O hidrograma de projeto proveniente do estudo hidrológico foi utilizado de forma ponderada para os dois canais, considerando as sub-bacias que compõem a URH Passo Fundo e suas áreas de captação. Esses dados de vazões ponderada foram inseridos na malha de modelagem como *inflow* do modelo. Considerou-se a profundidade normal do canal para saída do fluxo de água, caracterizando a condição de *outflow* do modelo, considerando-se a relação existente entre a declividade do canal e a rugosidade relacionada ao trecho da malha.

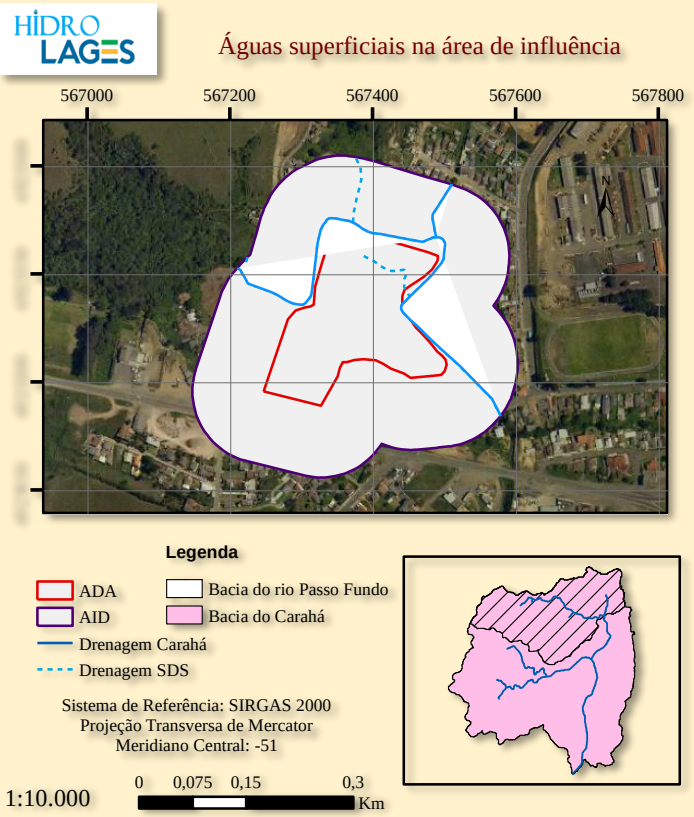
A profundidade normal foi utilizada como condição de contorno de saída para o modelo durante as simulações. Este valor é recomendado pelo manual do HEC-RAS quando inexistem dados de vazão em pontos de interesse.

Figura 12 – Localização das junções J9, J10 e J11 junto ao Rio Passo Fundo.



Fonte: NETO (2019)[8]

Figura 13 - Drenagem no entorno da possível bacia de detenção.



Fonte: NETO (2019).[9]

[8] NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). **Meta 2 - Estudo hidrológico** : relatório técnico - parte 1 - modelagem hidrológica. Lages: UDESC/CAV, 2019. 54 p. Projeto Hidro-Lages

[9]NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). **Meta 5 – Estudos Ambientais**: relatório preliminar de impacto ambiental Cenário I – Barragem de Contenção. Lages: UDESC/CAV, 2019. 102 p. Projeto Hidro-Lages

A primeira simulação buscou definir a capacidade da calha principal do rio, na condição da geometria atual, sem intervenção. O resultado da simulação está apresentado na Figura 14. Nota-se que o modelo apresentou transbordamentos em algumas áreas importantes, onde residências são afetadas.

A segunda simulação foi realizada com a intervenção do reservatório de detenção. Para isso, realizou-se o rebaixamento do MDT na área de interesse de implantação do reservatório, na cota de fundo estimada do canal, igual a 880m, com o objetivo de promover no modelo a entrada de água por gravidade no local estabelecido.

Um vertedor para entrada de água na região de interesse foi inserido no modelo e outro no final da estrutura lateral, para que ocorresse a liberação do escoamento, necessária para a manutenção da vazão ecológica do rio à jusante. Em ambos os casos, o vertedor é retangular, apresentando largura de 20m e altura de 5m. O resultado desta segunda avaliação pode ser observado na Figura 16.

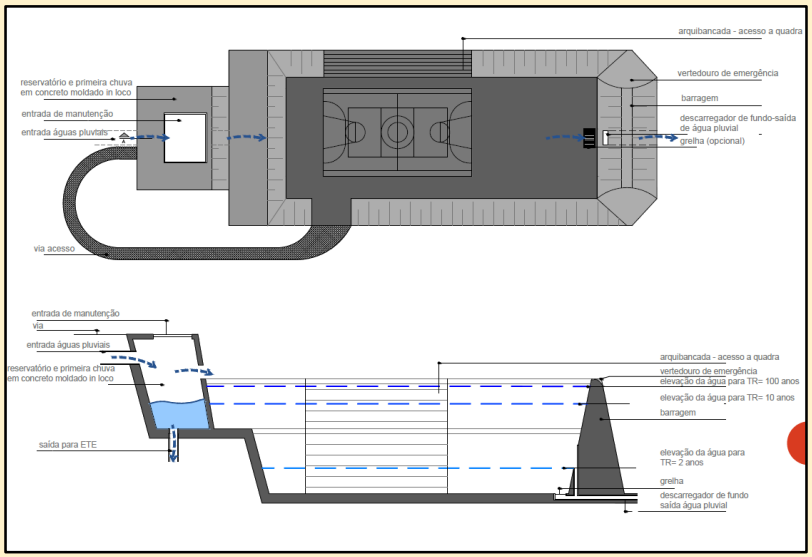
5 Análise dos impactos do cenário III

Os impactos da implantação do reservatório foram avaliados sobre três perfis transversais aos canais de escoamentos, antes e após o reservatório (Figura 16). Os perfis Oeste, Norte e Sul são pontos de verificação do efeito do reservatório sobre a altura da lâmina de água. Os perfis Oeste e Sul estão localizados no Rio Passo Fundo, antes e após o reservatório. O perfil Norte está localizado antes do reservatório, no Córrego Maria Luiza. A Tabela 4 apresenta as alturas mínimas do MDT e d lâminas d´água de inundação. As alturas do MDT se referem às alturas mínimas na superfície inundada. As profundidades se referem às profundidades máximas durante a inundação.

Figura 14 - Representação da mancha de inundação no Passo Fundo na condição atual.

Fonte: Magro (2019).

Figura 15 – Desenho Esquemático do reservatório (exemplo).



Fonte: Adaptado de Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba - PR

Tabela 4 - Impactos do reservatório de detenção na redução da lâmina de inundação.

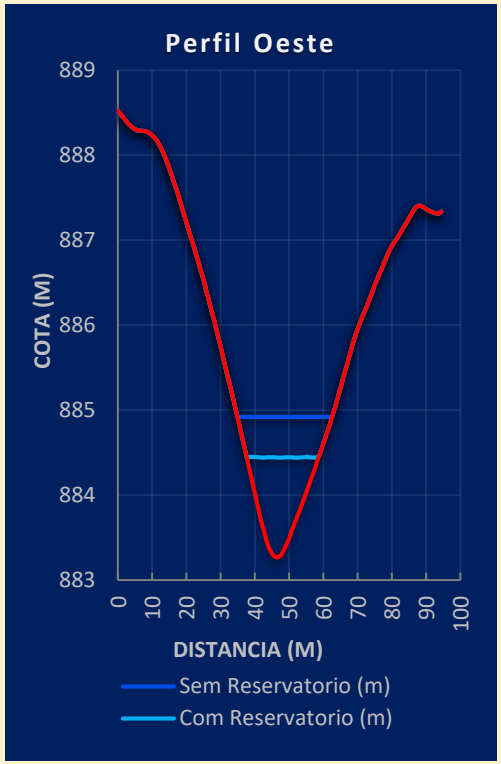
	Altura Mínima (m)			Profundidade (m)		Redução	
Perfil	MDT	SEM	COM	SEM	COM	(m)	(%)
SUL	881,08	883,06	882,77	1,98	1,69	-0,29	-15%
NORTE	882,46	883,34	883,23	0,88	0,76	-0,12	-13%
OESTE	883,27	884,92	884,44	1,65	1,17	-0,48	-29%

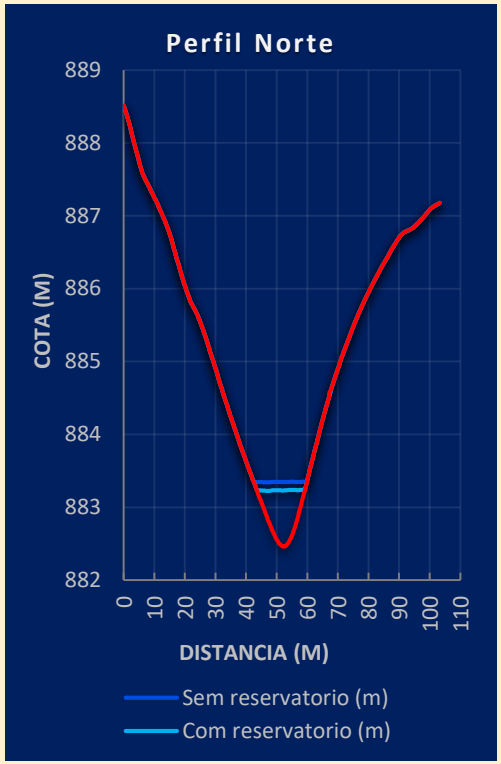
O modelo indica que a redução máxima na altura de inundação seria em torno de 15% no Córrego Maria Luiza e na região a jusante do reservatório e de 29% no Rio Passo Fundo, a montante do reservatório. A área inundada não parece sofrer alterações significativa, conforme se observa na Figura 16 e Figura 18.

Figura 16 - Representação da mancha de inundação no Passo Fundo com o reservatório.

Fonte: Magro (2019).

Figura 17 – Perfis de impactos na redução da cota da lâmina de inundação.





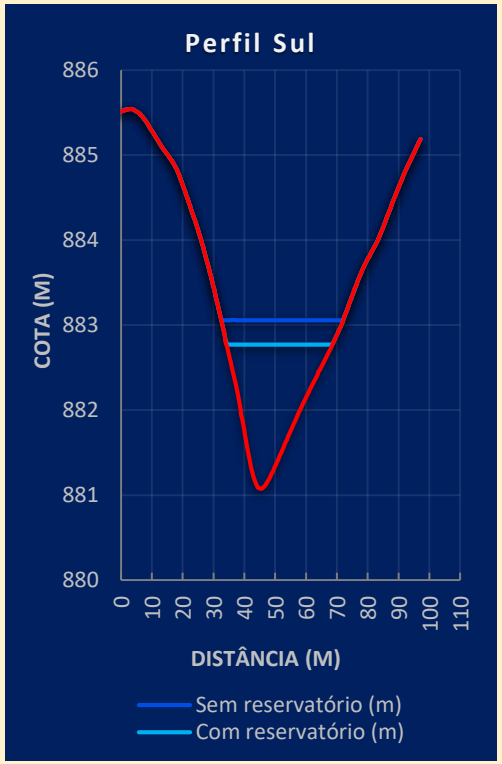
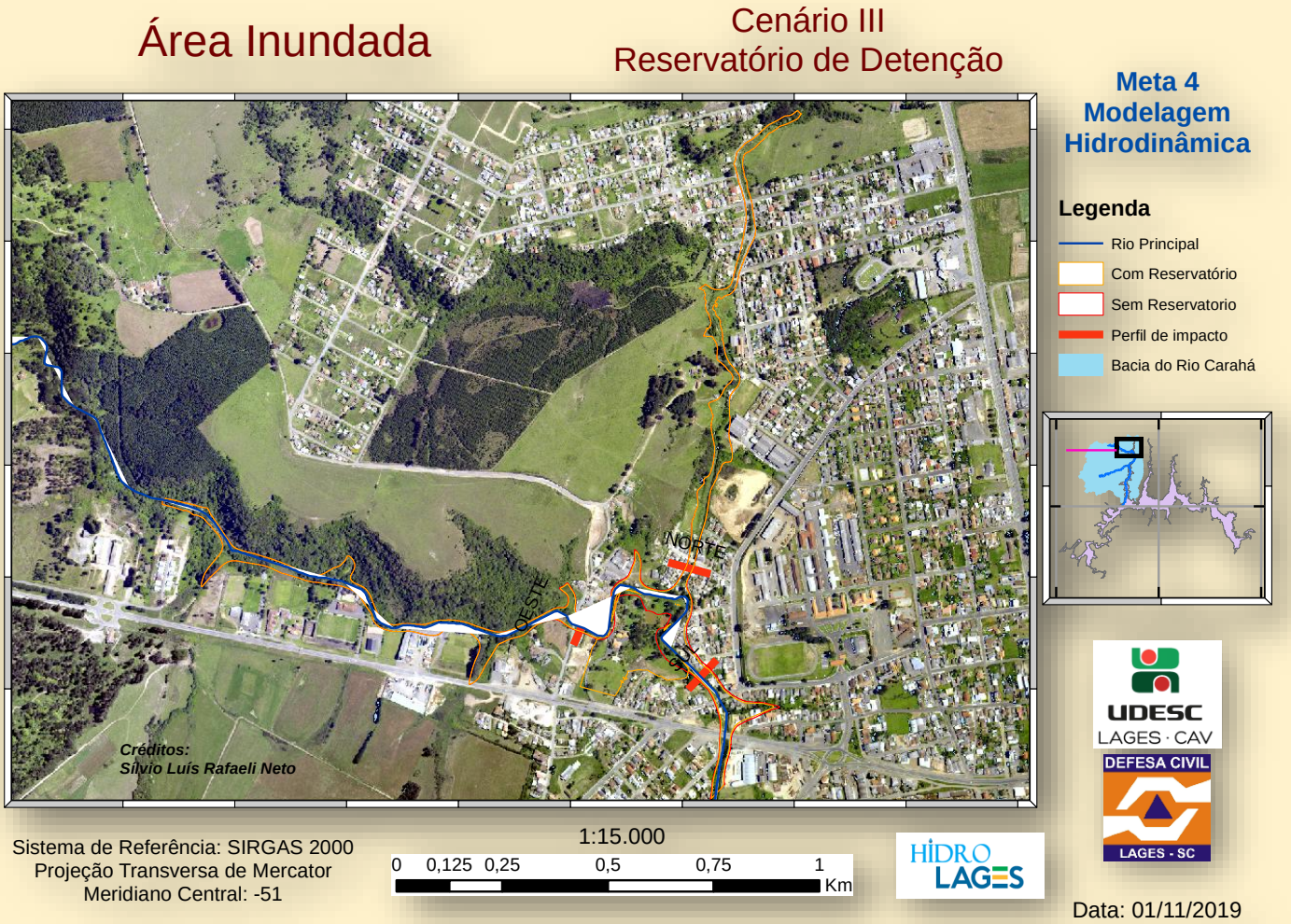


Figura 18 – Áreas inundadas com e sem o reservatório de detenção.



Além dos aspectos hidrodinâmicos, há que se considerar que este tipo de estrutura exige a impermeabilização do local, uma vez que se trata de uma estrutura de concreto. A área ocupada é significativa o que implicaria no aumento do escoamento superficial, por conta apenas do reservatório, podendo provocar efeitos a jusante.

Caso se opte pela implantação deste dispositivo, a comunidade deverá conviver com o mesmo, possivelmente por meio de uma área de lazer no seu interior.

6 Cenário alternativo – diques de contenção

Diante de uma eficácia máxima de 29%, sendo ainda de efeito pontual na parte oeste do reservatório, o projeto Hidro-Lages se mobilizou para avaliar medidas estruturais alternativas.

A opção avaliada foi a construção de cinco diques de contenção, com o objetivo de amortecer as ondas de cheias e diminuir os volumes que afluem para o local de interesse. A modelagem seguiu a mesma metodologia aplicada ao reservatório. Uma nova malha tridimensional esquemática para simulação 2D foi construída no modelo hidrodinâmico HEC-RAS (Figura 19), na qual os diques foram inseridos.

Os diques foram posicionados conforme ilustra a Figura 26, sendo os seguintes:

a) Dique Oeste Montante 2 (Figura 26a);
b) Dique Oeste Montante 1 (Figura 26b);
c) Dique Oeste (Figura 26c);
d) Dique Sul (Figura 26d);
e) Dique Norte (Figura 26e).

Os aspectos conceituais e construtivos estão apresentados nas figuras abaixo.

O efeito hidrodinâmico destes dispositivos pode ser observado na Figura 26. A área localizada ao final do Rio Passo Fundo, mais a leste da figura, mostra que o escoamento na vazão de pico fica restrito ao canal, devido estarem distribuídos nos diques de contenção. Assim, conclui-se que estes diques se mostram como alternativas estruturais ao cenário do reservatório, com maior eficácia hidrodinâmica para a contenção das cheias que atingem o bairro Passo fundo.

Figura 19 – Malha tridimensional utilizada para modelagem hidrodinâmica de diques de contenção.

Figura 20 – Aspectos construtivos dos diques de contenção (exemplo).

Fonte: Heimhuber (2013).

Figura 21 – Dique Oeste Montante 2

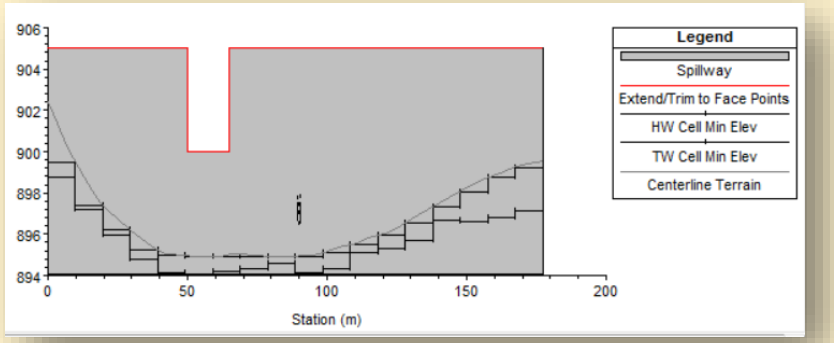


Figura 22 – Dique Oeste Montante 1

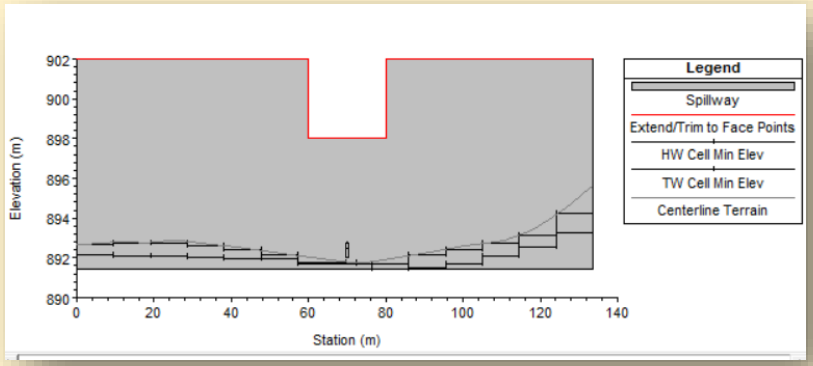


Figura 23 –Dique Oeste.

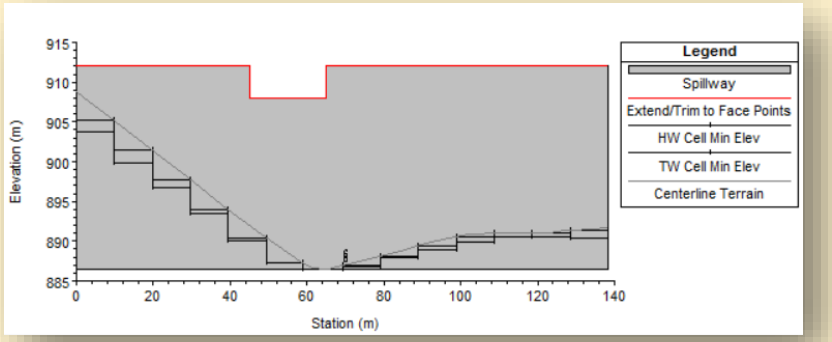


Figura 24 – Dique Sul.

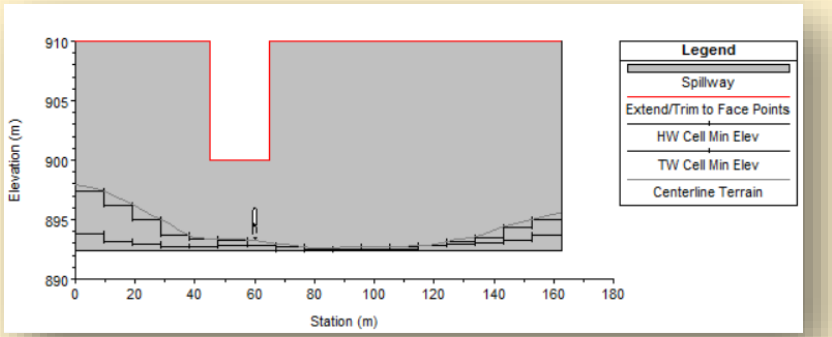


Figura 25 – Dique Norte.

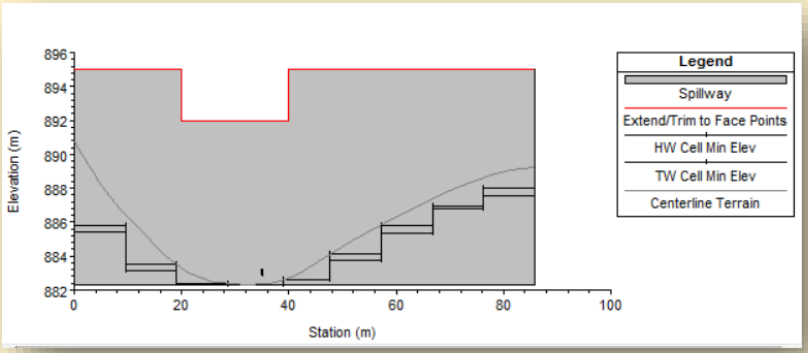
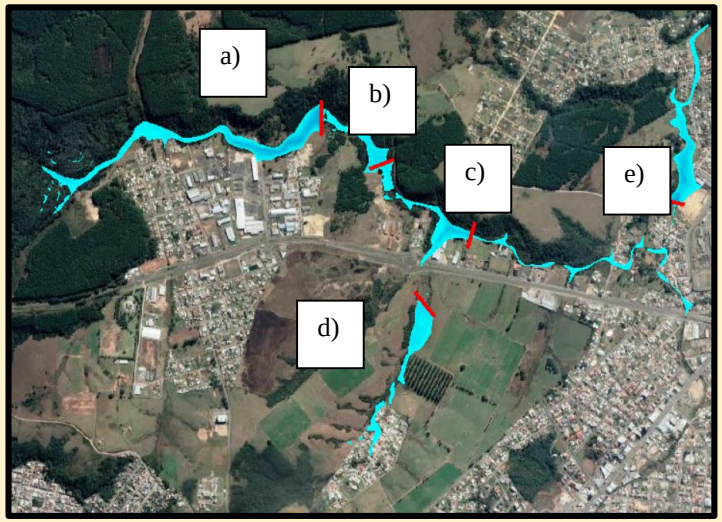


Figura 26 - Mancha da inundação com a inclusão de diques dissipadores de energia.



7 Considerações Finais

Este estudo analisou a viabilidade de medidas estruturais de prevenção e mitigação de desastres naturais provocados por inundações na planície de inundação do rio Passo Fundo, junto ao bairro de mesmo nome. O principal cenário analisado foi a implantação de um reservatório de detenção próximo ao rio e à BR-282. O objetivo foi procurar captar o máximo possível de volumes afluentes em um local distante das edificações e com menores impactos ambientais e eventuais desapropriações. O modelo indicou que as reduções de cota variam de 12cm a 48cm, dependendo do local analisado. A área alagada não se altera praticamente em relação àquela produzida sem o reservatório.

O cenário alternativo com os cinco diques de contenção parece ser significativamente mais eficaz do que com o reservatório.

Os escoamentos analisados nestes dois cenários são provenientes da bacia de captação do rio Passo Fundo. Aparentemente, esta área ainda apresenta um baixo índice de ocupação urbana, que se concentra nas margens dos canais desta bacia. A expansão urbana tende a agravar as inundações naquela região, por conta da redução da capacidade de infiltração do solo. Assim, recomenda-se aos gestores que adotem medidas

não estruturais de contenção dos escoamentos como, por exemplo, aquelas apresentadas em NETO (2019)[10,11].

8 Bibliografia

Cordeiro, A., Medeiros, P. A., & Teran, A. L. (2019). *Métodos de Controle de Cheia e Erosões, Blumenau.* Fonte: ceops.furb.br/index.php/publicacoes/artigos/doc.../5-metodos-controle-cheias-1999

Defesa Civil. (2019). Imagem cedida pelo órgão municipal de defesa civil do município de Lages. Lages.

Goerl, R. F., & Kobiyama, M. (2005). Consideração sobre as inundações no Brasil. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005.* João Pessoa: ABRH.

Heimhuber, V. (2013). *GIS Based Flood Modeling as Part of an Integrated Development Strategy for Informal Settlements.* Technische Universitat Munchen, Germany.: 129 f. Thesis (Master of Science) –.

Kobiyama, M. (2006). Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.

Magro, R. B (2019). Relatório de estágio curricular obrigatório: projeto hidro - lages – reservatório de detenção no rio passo fundo. 31p. Lages : Udesc/CAV.

Miguez, M. G., Veról, A. P., & Carneiro, P. R. (2012). Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design, Urban Land Control and River Revitalisation Aspects. *JAVAID, Muhammad Salik. Drainage Systems.* (pp. 21-54). InTech.

Oneda, T. M. (2018). *Planos diretores de drenagem urbana: uma análise comparativa entre planos de países desenvolvidos e em desenvolvimento.* Joinville: 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Santa Catarina.

Padilha, V. L. (2017). *Modelagem hidrológica orientada por eventos de inundação em Lages/SC.* Florianópolis: 172f. Universidade Federal de Santa Catarina, Dissertação (mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. .

Paraná, G. d. (2002). *Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba- PR. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, CH2M HILL e Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.*

[10]NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). Meta 7 - Geoprocessamento : **medidas de controle na fonte do escoamento superficial**. Lages: UDESC/CAV, 2019. 18 p. Projeto Hidro-Lages.

[11]NETO, Sílvio Luís Rafaeli (Coord.). Meta 6 - Sondagens preliminares : **mapa de uso da terra**. Lages: UDESC/CAV, 2019. 26 p. Projeto Hidro-Lages.

Righetto, A. M. (2009). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas.* Rio de Janeiro: ABES. 396p.

SCHINA, B. A. (2019). Desastres ambientais – hidrologia aplicada. 43p. Lages : Udesc/CAV.

S2ID. (2017). – *Sistema Integrado de Informações sobre Desastres* . Fonte: Biblioteca Virtual. Brasília: Ministério da Integração Nacional. Documento Digital.

SDS. (2013). – Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável do Estado de Santa Catarina. Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: ENGEMAP.

Tucci, C. E. (2007). *Inundações Urbanas.* Porto Alegre: : ABRH/RHAMA, 393p.

Villela, S. M. (1975). *Hidrologia Aplicada.* São Paulo: Editora Mc Graw Hill, 245p.