

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**AVALIAÇÃO DO PERIGO DE INUNDAÇÕES BRUSCAS POR MEIO DE
MODELAGEM HIDROGEOMORFOLÓGICA: ESTUDO DE CASO,
BACIA DO ARROIO FORROMEÇO-RS**

Fernando Campo Zambrano

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Masato Kobiyama

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marco Alésio Figueredo Pereira
Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan
Prof. Dr. Juan Martin Bravo

FEEVALE
IPH/UFRGS
IPH/UFRGS

Porto Alegre, RS – Brasil
Janeiro de 2017

Dedico este trabalho à minha mãe Stella Zambrano e ao meu pai Fernando Campo, por seu inestimável esforço, apoio e amor incondicional em todos os momentos da minha vida.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, pela sabedoria e a força que recebi em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos do Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais (GPDEN) do qual faço parte, por todas as discussões científicas, ensinamentos e momentos de dispersão, que em grande parte fizeram que tudo fosse muito mais fácil. Grato por toda sua amizade.

Ao meu orientador e amigo Prof. Masato Kobiyama por sua confiança, paciência e sobretudo por todos os ensinamentos, tanto científicos como pessoais, além de ter me mostrado o quão bonita é a ciência. É um grande exemplo de pessoa, docente e pesquisador.

À minha namorada Camila Zandona Bisognin por seu carinho, paciência e apoio incondicional.

À minha família, em especial meu tio Mauricio Zambrano, por ter me motivado e apoiado a seguir meus estudos de pós-graduação, sendo com certeza o motivo de hoje eu estar aqui, e que admiro muito. A minha avó, por todo seu apoio e carinho. Ao meu primo Gabriel Narvaez por toda a amizade e apoio incondicional neste processo que juntos iniciamos. Aos meus irmãos Esteban e Andres que, apesar de não ter muito contato, sei que sempre estou em suas orações, assim como eles estão nas minhas.

Ao meus amigos e colegas do IPH por todos os momentos compartilhados ao longo desta etapa.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), por terem me fornecido as ferramentas necessárias para fazer isto possível, devido a esse grande prestígio com o qual conta.

Por fim, à coordenação de aperfeiçoamento pessoal de nível superior CAPES pela concessão da bolsa durante estes anos de minha formação acadêmica.

“Os desastres naturais voltam quando os esquecemos”

(Torahiko Terada)

RESUMO

O aumento da ocorrência de desastres hidrológicos relacionados a inundações bruscas tem recebido maior atenção dos diversos órgãos em suas diferentes escalas, com o objetivo de reduzir ao máximo suas causas. Justamente por isso, as medidas não estruturais são medidas de extrema importância na prevenção de tais desastres. Uma dessas medidas deve ser o mapeamento de áreas de perigo de inundações. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi propor e avaliar o perigo de inundações bruscas por meio de modelagem hidrogeomorfológica na bacia do arroio Forromeco-RS. Para isso, foi utilizado o modelo CAESAR-LISFLOOD, para representar os processos hidrológicos em escala de bacia e canal. Em escala de bacia foram gerados hidrogramas a partir da criação de chuvas de projeto para diferentes tempos de retorno (TR), considerando como base o maior evento registrado nessa bacia associado a um TR de 22 anos. Esses hidrogramas foram utilizados nas simulações em escala de canal para gerar os diferentes mapas de inundação em termos de profundidade e velocidade do fluxo da água. Para analisar as áreas de perigo de inundação, foram determinados os índices de perigo (IP) associados aos diferentes TR, a partir da profundidade e a velocidade d'água. Através das análises do resultado de IP foi criado o mapeamento final de perigo associado a três tempos de retorno (5, 22, e 100 anos). Além disso, estabeleceu-se três zonas para identificar os níveis de perigo, considerando o cenário mais crítico dos três mapas. Os resultados mostraram que a maior área inundada se encontra em alto perigo, ocupando 77% da área total, o que significa que as pessoas que moram nessa região estão em perigo tanto em casa, como fora delas. Ao mesmo tempo as construções estão em alta possibilidade de serem danificadas.

PALAVRAS-CHAVE: Desastres Hidrológicos; Inundações Bruscas; Modelagem Hidrogeomorfológica; Mapeamento de Perigo.

FLASH FLOOD HAZARD EVALUATION WITH HYDROGEOMORPHIC MODELING: CASE STUDY OF FORROMECO RIVER BASIN, RIO GRANDE DO SUL.

ABSTRACT

The increase in the occurrence of hydrological disasters related to flash floods has begun to be more important for several organs at different scales in order to reduce their magnitude and frequency as much as possible. Precisely because of it, non-structural measures are extremely important measures for preventing such disasters. One of these important measures might be the mapping of flood hazard areas. Therefore, the objective of the present work was to propose and evaluate the flash flood hazard by means of hydrogeomorphic modeling of the Forromeco river basin, Rio Grande do Sul state. Thus, the CAESAR-LISFLOOD model was used to represent the hydrological processes at basin and channel scale. At basin scale hydrographs were generated from the creation of hyetographs for different return periods (RP), considering the largest event recorded in this basin. These hydrographs were used in the channel scale simulations to generate the different flood maps in terms of depth and velocity of water flow. In order to analyze the flood hazard areas, the hazard indexes (HI) associated with the different RPs were determined from the depth and water velocity. Through the IP analysis, the final hazard mapping associated with three RPs (5, 22, and 100 years) was created. In addition, three zones were established to identify the hazard levels, considering the most critical scenario of the three maps. The results showed that the largest flood area is in high degree hazard, occupying 77% of the total area. It indicates that people are in danger both inside and outside houses. At the same time buildings are in high possibility of being damaged.

KEYWORDS: Hydrological Disasters; Flash Flood; Hydrogeomorphic Modeling; Hazard Mapping.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: APRESENTAÇÃO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo Geral	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Desastres Naturais	4
2.1.1. <i>Conceitos gerais</i>	4
2.1.2. <i>Desastres hidrológicos</i>	7
2.1.3. <i>Medidas de prevenção</i>	11
2.1.4. <i>Zoneamento para prevenção de desastres hidrológicos</i>	13
2.2. Modelagem Hidrológica	15
2.2.1. <i>Conceitos gerais</i>	15
2.2.2. <i>Aplicação de modelos hidrológicos</i>	18
2.3. Modelagem Hidrodinâmica	21
2.3.1. <i>Conceitos gerais</i>	21
2.3.2. <i>Aplicação de modelos hidrodinâmicos</i>	27
2.3.2.1. <i>Modelagem unidimensional</i>	27
2.3.2.2. <i>Modelagem bidimensional</i>	28
2.4. Modelagem hidrogeomorfológica	29
2.4.1. <i>Conceitos gerais</i>	29
2.4.2. <i>Tipos de modelos de evolução da paisagem</i>	31
2.4.3. <i>Aplicação de modelos de evolução da paisagem</i>	35
CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1. Organização do Trabalho	39
3.2. Área de estudo	42
3.3. Dados utilizados	49
3.3.1. <i>Dados hidrológicos</i>	49
3.3.2. <i>Dados topográficos</i>	50
3.4. Aplicação do modelo de evolução da paisagem (LEM)	53
3.4.1. <i>Aplicação modelo hidrológico</i>	53
3.4.2. <i>Modelo hidrodinâmico</i>	56
3.5. Mapeamento de perigo de inundações	57

CAPÍTULO 4: RESULTADOS e DISCUSSÕES	59
4.1 Parâmetros obtidos e medidos	59
4.1.1 <i>Dados hidrológicos</i>	59
4.1.2 <i>Dados topográficos</i>	59
4.1.3 <i>Curvas IDF</i>	63
4.2 Simulações Hidrogeomorfológicas	65
4.2.1 <i>Simulação hidrológica</i>	66
4.2.1.1 <i>Calibração hidrológica</i>	66
4.2.1.2 <i>Determinação do pico do hietrograma</i>	69
4.2.1.3 <i>Precipitações de projeto</i>	70
4.2.1.4 <i>Determinação dos hidrogramas para os diferentes TR's</i>	71
4.2.2 <i>Simulação hidrodinâmica</i>	73
4.2.2.1 <i>Calibração do modelo hidrodinâmico</i>	73
4.3 Mapeamento de inundação	75
4.4 Mapeamento de Perigo de Inundações	79
4.4.1 <i>Determinação do índice e tipo de perigo de inundações</i>	79
4.4.2 <i>Mapa final de áreas de perigo de inundações</i>	80
CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	85
REFERÊNCIAS	88

Lista de Figuras

Figura 1 - Comparação da média anual de 2003-2013 entre 2014 dos impactos referentes aos diferentes tipos de desastres naturais (Fonte: Adaptado de Guha-Sapir et al., 2014).....	6
Figura 2 - Diferença entre enchente e inundação.	8
Figura 3 - Inundação Gradual ocorrida em Itajaí-SC (Fonte: Carla Dutra).....	9
Figura 4 - Comparação. A) estado normal e B) inundação brusca no arroio Forromeco-RS.	10
Figura 5- Relação celeridade versus vazão no rio Murumbidgee, na Austrália (Fonte: Wong e Laurenson, 1983).	23
Figura 6 - Exemplo dos pontos de grade para a formulação: a) explícita e b) implícita (Fonte: Adaptado de Monteiro, 2014).	26
Figura 7 - Representação esquemática dos diferentes tipos de modelos para simulação de sistemas fluviais (Adaptada de Van de Wiel et al., 2011).	31
Figura 8 - Comparação das profundidades e velocidades do escoamento em 6 pontos de controle, entre LISFLOOD-FP (L) e CAESAR-LISFLOOD (CL) (Adaptado de Coulthard et al., 2013).	37
Figura 9 - Comparação da área de inundação do evento ocorrido em 2005 na cidade de Carslile, UK. Entre o modelo CAESAR-LISFLOOD e dados observados obtidos em campo (Fonte: Coulthard et al., 2013).....	37
Figura 10 - Fluxograma dos principais componentes da proposta metodológica para mapeamento de perigo.....	40
Figura 11 - Localização e altimetria da bacia do arroio Forromeco.....	42
Figura 12 - Eventos de inundação de 1982 e cheia de 2015 no arroio Forromeco.	43
Figura 13 - Litologia da bacia do arroio Forromeco.	45
Figura 14 - Formações geológicas na bacia do arroio Forromeco. a) Arenitos róseos da Formação Botucatu; b) Rochas básicas de Fácies Gramado; e c) Rochas ácidas de Fácies Caxias da Formação Serra Geral.	46
Figura 15 - Mapa de classes de solo da bacia do arroio Forromeco.....	47
Figura 16 - Localização das estações hidrometeorológicas na bacia do arroio Forromeco.	49
Figura 17 – Levantamento topográfico. a) Fotografia do equipamento (Hiper v Receiver) b) Utilização em campo.	51
Figura 18 - Nível geométrico.....	52
Figura 19 - Índices de perigo associado à profundidade e velocidade do escoamento. Adaptado de Stephenson et al. (2002)	57

Figura 20 - Diferentes tipos de níveis de perigo associados a um período de retorno e a intensidade. Adaptado de Prevene (2001).	58
Figura 21 - Série de precipitação diária referente à bacia do arroio Forromeco.	59
Figura 22 - Localização do levantamento topográfico.	60
Figura 23 - Levantamento da topobatimetria de 10 seções referentes ao trecho da área inundável.	61
Figura 24 - Modelo digital de elevação da área inundável.....	62
Figura 25 - Curvas IDF para a bacia do arroio Forromeco.	65
Figura 26 - Mapa de localização das sub-bacias e, o trecho de rio utilizado nas diferentes simulações hidrogeomorfológicas.	66
Figura 27 - Correlação de chuvas das estações Bento Gonçalves (83941), e Caxias do Sul (83942), frente a chuva de referência da bacia (PR).	67
Figura 28 - Evapotranspiração potencial diária pelo método de Pennam-Monteith (FAO).	67
Figura 29 - Calibração do modelo hidrológico TOPMODEL inserido no CAESAR-LISFLOOD.....	68
Figura 30 - Hietogramas do maior evento (Ano 1982): a) O pico está a 25% da duração total b) O pico está a 75% da duração total.	69
Figura 31 - Hidrogramas para as duas hipóteses.	70
Figura 32 - Hietogramas de projeto para diferentes tempos de retorno.	71
Figura 33 - Hidrogramas associados a diferentes tempos de retorno: a) Tr = 5 anos; b) Tr = 50 anos; c) Tr = 100 anos; e d) Tr = 200 anos.....	72
Figura 34 - Mapas de inundação para o evento de Junho de 1982 gerados a partir da modificação do pico da chuva: a) 25% e b) 75% da duração total.....	74
Figura 35 - Área inundável para diferentes tempos de retorno.	75
Figura 36 - Distribuição de frequências em função da profundidade da água associado a diferentes tempos de retorno. a) Tr = 5 anos, b) Tr = 22 anos, c) Tr = 50 anos, d) Tr = 100 anos, e) Tr = 200 anos.	76
Figura 37 - Distribuição de frequências em função de velocidade da água associado a diferentes tempos de retorno. a) Tr = 5 anos, b) Tr = 22 anos, c) Tr = 50 anos, d) Tr = 100 anos, e) Tr = 200 anos.	76
Figura 38 - Mapas de inundação em termos da profundidade da água. a) Tr = 5 anos, b) Tr = 22 anos, c) Tr = 50anos, d) Tr = 100 anos, e) Tr = 200 anos.	77
Figura 39 - Mapas de inundação em termos de velocidade da água. a) Tr = 5 anos, b) Tr = 22 anos, c) Tr = 50anos, d) Tr = 100 anos, e) Tr = 200 anos.....	78
Figura 40 - Tipos de perigo de inundação associados a diferentes tempos de retorno... 80	
Figura 41 - Mapeamento de índice de perigo para diferentes tempos de retorno.	81

Figura 42 - Níveis de perigo de inundações para diferentes tempos de retorno (Adaptado de Prevene, 2001). As cores significam: Vermelho, perigo alto, laranja perigo médio, e amarelo perigo baixo.	82
Figura 43 - Mapa de área de perigo de inundação.....	83

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificação de desastres naturais segundo o CRED e CROBADE.	5
Tabela 2 - Atividades por tipos de órgãos e etapas do processo de gerenciamento de desastres naturais.	11
Tabela 3- Características principais dos modelos hidrológicos.....	16
Tabela 4 - Classificação de processos hidrogeomorfológicos.....	30
Tabela 5 - Características de um modelo de evolução da paisagem.	32
Tabela 6 - Modelos numéricos de evolução da paisagem.	34
Tabela 7 - Descrição das classes de solo da bacia do arroio Forromeco.....	48
Tabela 8 - Postos pluviométricos (P), fluviométricos (F), e meteorológicos (M) utilizados.....	50
Tabela 9 - Níveis de perigo de inundação	58
Tabela 10 - Relações médias entre as precipitações de diferentes durações em SC.	63
Tabela 11 - Intensidades a partir da precipitação máxima e tempo de duração.	64
Tabela 12 - Comparação dos volumes totais e as vazões de pico.	73

Lista de Símbolos

A	Área [m ²]
a	Parâmetro de ponderação da velocidade [Adimensional]
a _i	Área acumulada pela unidade de contorno de cada célula i [m]
B _i	Declividade de cada célula i [m.m ⁻¹]
D	Duração da precipitação [min]
g	Aceleração gravitacional [m.s ⁻²]
h	Altura da Lâmina d'água [m]
h'	Profundidade d'água no rio [m]
h _L	Perda de carga
h _t	Parâmetro de profundidade máxima [m]
I	Intensidade da chuva [mm.h ⁻¹]
IP	Índice de perigo
j	Constante da curva IDF [Adimensional]
J*	Umidade do solo [Adimensional]
K	Constante da curva IDF [Adimensional]
K _c	Coefficiente de velocidade [Adimensional]
m	Parâmetro de decaimento da curva de recessão do hidrograma [Adimensional]
n	Coefficiente de rugosidade de Manning [Adimensional]
P	Pressão [Pa]
q	Fluxo entre células em t = t-1 [m ³ .s ⁻¹]
Q	Vazão [m ³ .s ⁻¹]
q'	Vazão Lateral [m ³ .s ⁻¹]
Q _b	Vazão Subsuperficial [m ³ .s ⁻¹]
Q ₀	Vazão no instante t=0 [m ³ .s ⁻¹]
q _s	Taxa Volumétrica de Transporte de Sedimentos [Adimensional]
Q _s	Vazão Superficial [m ³ .s ⁻¹]
Q _{total}	Vazão total [m ³ .s ⁻¹]
Q _x	Vazão na direção x [m ³ .s ⁻¹]

Q_y	Vazão na direção y [$m^3.s^{-1}$]
Q_v	Vazão de recarga [$m^3.s^{-1}$]
r	Taxa de precipitação [mm/h]
R_v	Parâmetro de velocidade [Adimensional]
S	Déficit de armazenamento médio da bacia [m^3]
S_f	Declividade da Linha de Energia [$m.m^{-1}$]
S_i	Déficit de armazenamento para cada célula [m^3]
S_o	Declividade do Canal [$m.m^{-1}$]
t	Tempo
t_c	Tempo de Concentração [minutos]
T_o	Transmissividade do perfil de solo [$m^2.s^{-1}$]
Tr	Tempo de Retorno [Anos]
V	Velocidade [$m.s^{-1}$]
w	Constante da curva IDF [Adimensional]
X	Distância no sentido da declividade [m]
x	Distância no sentido longitudinal do rio [m]
X_i	Comprimento do caminho do fluxo [m]
z	Elevação do nível da água [m]
γ	Peso específico [N/m^{-3}]
Δt	Intervalo de tempo [s, min, h]
Δx	Comprimento/Largura da célula [m]
η	Elevação da superfície terrestre [m]
λ	Índice médio topográfico [Adimensional]
λ_i	Índice topográfico de cada célula [Adimensional]

Lista de Abreviaturas e Siglas

A*	Ano
Al	Alto
B	Bacia
C	Canal
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil
COBRADE	Centro de Classificação e Codificação Brasileira de Desastres Naturais
CL	CAESAR-LISFLOOD
CRED	Center for Research on the Epidemiology of Disasters
D	Décadas
E	Evento
EM_DAT	Emergency Disasters Data Base
ETP	Evapotranspiração Potencial
ETR	Evapotranspiração Real
F	Fluxo
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GPS	Sistema de Posicionamento Global
H	Encosta
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IP_1	Índice de Perigo Baixo
IP_2	Índice de Perigo Médio
IP_3	Índice de Perigo Alto
IV	Índice de Vulnerabilidade
LEM	Modelo de Evolução de Paisagem
LF	LISFLOOD-FP
M	Milênios
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digita de Terreno
Me	Médio

NG	Nivelamento Geométrico
PHI	Programa Hidrológico Internacional
PIB	Produto Interno Bruto
PR	Precipitação Diária de Referência
RTK	"Real Time Kinematic" - GPS de precisão
S	Séculos
Sb	Sub-bacia
SC	Santa Catarina, Brasil
SIG	Sistema de Informação Geográfica
T	Transporte de sedimentos
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

CAPÍTULO 1: APRESENTAÇÃO

1.1. Introdução

Os desastres hidrológicos, caracterizados por inundações e movimentos de massa úmida segundo a classificação do *Emergency Disasters Data Base* (EM-DAT) do *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), são definidos como eventos causados por alterações no ciclo normal da água e/ou extravasamento dos corpos de água causados pela configuração dos ventos. Este tipo de desastre é o causador dos maiores prejuízos econômicos e ambientais, como perdas humanas em todo o mundo. Os dados do EM-DAT mostram que os desastres hidrológicos em 2013 tiveram a maior participação com 48,2% do total de desastres, causando 32 milhões de vítimas, responsáveis por 46,5% do número total de pessoas mortas e 44,9% dos danos totais (Guha-Sapir et al., 2014).

No Brasil, os desastres hidrológicos são classificados em inundações, enxurradas e alagamentos (Ministério de Integração Nacional, 2012). Segundo CEPED-UFSC (2013), no decorrer das últimas décadas, as ocorrências de desastres hidrológicos vêm aumentando. No período de 1990 a 2012 as ocorrências de inundações passaram de 20% a 80%, e para inundações bruscas de 28% a 72% em todo Brasil. Porém, o tipo de desastres que mais afeta à população é a estiagem, com 51,31%, seguido de inundações bruscas, com 20,66% e inundações, com 12,04%. No entanto, os desastres que causam o maior número de mortes são as inundações bruscas, com 58,15%, movimentos de massa, com 15,60%, e inundações, com 13,40%, respectivamente. A região Sul do Brasil em termos de inundações bruscas representa o maior registro, com 39%, comparado às outras regiões. Um exemplo de desastre por inundação brusca ocorreu em 1982 no município de São Vendelino, no Estado do Rio Grande do Sul. Desta forma, nota-se a importância de estudar as causas nas ocorrências de desastres causados por inundações bruscas.

Aqui nota-se que existe diferença na nomenclatura de inundação brusca entre a defesa civil brasileira e outros órgãos internacionais de desastres. O presente trabalho adota o termo inundação brusca em vez de usar enxurrada.

Embora existam diversas causas, a ocupação de áreas propensas à ocorrência de fenômenos hidrológicos extremos é uma das principais. Isso, muitas vezes ocorre pela falta de conhecimento e conscientização do risco por parte da população, além de um mau planejamento no ordenamento de ocupação territorial por parte dos órgãos governamentais.

Em virtude disso, os desastres começaram a ter maior importância por diferentes organizações não-governamentais e governamentais, afim de criar diversas estratégias mitigadoras sobre o assunto (Kobiyama et al., 2012). No contexto não governamental o Programa Hidrológico Internacional (PHI) da UNESCO, em sua oitava fase “*Segurança Hídrica: Resposta aos Desafios Locais, Regionais e Mundiais*”, traz 6 temas, sendo que o primeiro tema é desastres relacionados com água e mudanças hidrológicas. Dentro deste tema, são abrangidos itens relacionados a gestão integrada dos recursos hídricos como: gerenciamento de risco, compreensão conjunta dos processos humanos e naturais, e melhoramento da base científica para a hidrologia e ciências hídricas, com foco à preparação e a resposta a eventos hidrológicos extremos (Jimenez-Cisneros, 2015).

Deste modo, para realizar o gerenciamento de desastres hidrológicos, comumente são aplicadas medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais envolvem obras de engenharia, como barragens, represas, diques, entre outros. Estes tipos de medidas normalmente possuem altos custos e nem sempre evitam que ocorra o desastre. Como medidas não estruturais, existem modelos de previsão de desastres naturais, ações de planejamento e gerenciamento, como também sistemas de alerta, mapeamento, conscientização, entre outros. Normalmente este tipo de medida envolve menor custo e possui uma maior eficiência.

Contudo, a presente pesquisa procura ampliar o número de instrumentos para serem aplicados na prevenção e redução de desastres hidrológicos, a partir da avaliação do perigo das áreas propensas a inundações bruscas através de modelagem hidrogeomorfológica. Para isto, como estudo de caso foi aplicada esta metodologia na bacia do arroio Forromeco, no estado do Rio Grande do Sul.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Verificar o perigo de inundações bruscas na bacia do arroio Forromeco-RS, através de modelagem computacional por meio do modelo hidrogeomorfológico CAESAR – LISFLOOD proposto por Coulthard et al. (2013).

1.2.2. Objetivos Específicos

- Verificar os processos hidrológicos, a partir do modelo hidrológico TOPMODEL inserido no CAESAR-LISFLOOD.
- Verificar as áreas propensas a inundação brusca para diferentes tempos de retorno, a partir do modelo hidrodinâmico LISFLOOD inserido no CAESAR – LISFLOOD.
- Avaliar as características da área de perigo de inundações bruscas.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Desastres Naturais

2.1.1. Conceitos gerais

As inundações, escorregamentos, estiagem, tormentas, entre outros, são fenômenos naturais que podem ter benefícios para a comunidade, quando nos referimos, por exemplo, na incorporação de sedimentos na planície, ou desastres naturais, quando estes fenômenos provocam danos materiais e humanos à sociedade. A UNISDR (2009) define os desastres como um sério distúrbio na funcionalidade de uma comunidade ou sociedade, ocasionando impactos e perdas humanas, econômicas e ambientais generalizadas, os quais excedem a capacidade da comunidade afetada de se recuperar com seus próprios recursos.

Segundo o CRED classifica os desastres naturais a partir de fatores determinantes de ocorrências. No Brasil, a classificação de desastres naturais varia, embora o Centro de Classificação e Codificação Brasileira de Desastres Naturais (COBRADE) assuma em maior parte a classificação do CRED. Na Tabela 1 mostra-se a classificação dos subgrupos de desastres naturais e seus tipos principais segundo o CRED e o COBRADE.

Os desastres naturais também podem ser classificados entre eles, a partir da intensidade, evolução, origem, e sua duração (Castro, 1999). Em relação à intensidade dividem-se em quatro tipos de níveis: O nível I (Intensidade pequena, prejuízo $\leq 5\%$ do Produto interno bruto - PIB municipal), e o nível II (Intensidade média, $5\% < \text{prejuízo} \leq 10\%$ do PIB municipal). Estes são facilmente superáveis pelo município. No nível III (Intensidade grande, $10\% < \text{prejuízo} \leq 30\%$ do PIB municipal) o município se declara em situação de emergência, onde sua situação de funcionalidade pode ser restabelecida com os recursos locais, desde que sejam complementados com recursos estaduais e federais. No nível IV (Intensidade grande, $\text{prejuízo} > 30\%$ do PIB municipal) o município se declara em estado de calamidade pública, já que o desastre não é superável, mesmo que o município esteja informado e preparado. Segundo a evolução,

há três tipos de desastres: súbitos, que se caracterizam pela rápida velocidade com que o processo evolui; graduais, que se caracterizam por evoluírem em etapas de agravamento progressivo; e a soma de efeitos parciais, que se caracterizam pela ocorrência de numerosos acidentes semelhantes, ditos impactos que, quando somados, definem um desastre de grande proporção. Em relação à origem, caracterizam-se por três tipos: os naturais, que são provocados por fenômenos naturais extremos, ou seja, são independentes da ação humana; os humanos, causados pela ação ou omissão humana; e os mistos, associados às ações ou omissões humanas, que contribuem para intensificar, complicar ou agravar os desastres naturais. Por último está a duração, que envolve dois tipos: episódios, que geralmente estão associados à magnitude; e os crônicos, que geram sérios prejuízos ambientais a longo prazo (Kobiyama et al., 2006).

Tabela 1 - Classificação de desastres naturais segundo o CRED e CROBADE.

Classificação do CRED	Principais tipos	Classificação Brasileira	Principais tipos
Geofísico	Terremotos Atividade Vulcânica Movimentos de massa (seca)	Geológico	Terremotos Emanações Vulcânicas Movimentos de massa Erosão
Meteorológico	Tempestades Temperaturas extremas Nevoeiro	Meteorológico	Tempestades Temperaturas extremas Ciclones
Hidrológico	Inundações Movimentos de massa (úmida)	Hidrológico	Inundações Enxurradas Alagamentos
Climatológico	Secas Incêndios	Climatológico	Secas
Biológico	Epidemias Pragas Infestações de insetos	Biológico	Epidemias Pragas Infestações de insetos

Fonte: Guha-Sapir et al., 2014 e CROBADE, 2012.

Segundo o EM-DAT, nas últimas décadas os desastres naturais vêm aumentando consideravelmente, sendo os desastres hidrológicos os mais representativos, tanto em ocorrências como em impactos humanos a nível global (Figura 1). Em relação ao Brasil, segundo CEPED-UFSC (2013), os tipos de desastres que mais afetam a população, por

serem os mais recorrentes, são estiagem e secas. Porém, a inundação brusca é o tipo de desastre que causou o maior número de mortes, seguido de movimentos de massa.

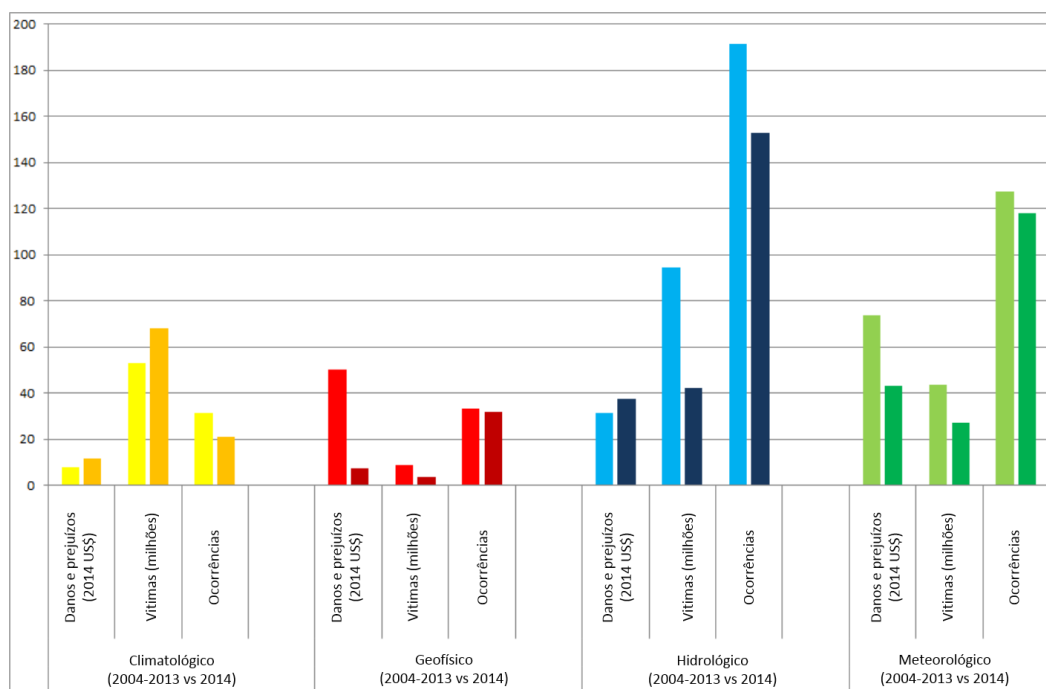


Figura 1 - Comparação da média anual de 2003-2013 entre 2014 dos impactos referentes aos diferentes tipos de desastres naturais (Fonte: Adaptado de Guha-Sapir et al., 2014).

Contudo, o aumento dos desastres naturais geralmente deve-se ao mau gerenciamento dos recursos hídricos, associado principalmente ao crescimento de habitações em áreas propensas a ocorrências de desastres relacionados a água, que muitas vezes ocorre pela falta de conhecimento da população, ou por falta de conscientização dos órgãos encarregados da área, entre outras.

Desta forma, precisa-se do entendimento, estudo e conhecimento dos fenômenos naturais, para assim melhorar o sistema de manejo de risco a desastres naturais. Do ponto de vista da hidrologia, que é a ciência que trata da água na terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (UNESCO, 1964), consegue-se estudar os processos que geram desastres hidrológicos.

A partir disso, existem diversos órgãos que realizam investigação hidrológica em escala internacional, nacional e regional. Em escala internacional está o programa hidrológico internacional PHI, desenvolvido pela organização das nações unidas para a educação, ciência e cultura (UNESCO), onde seu propósito é facilitar a educação e o desenvolvimento de capacidades, assim como melhorar o gerenciamento e a governança dos recursos hídricos. Atualmente em sua oitava fase, seguridade hídrica: resposta aos desafios locais, regionais e mundiais, em seu primeiro item abrange o tema sobre desastres relacionados com água e mudanças hidrológicas (Jimenez-Cisneros, 2015). Em escala nacional, no Brasil existe a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), que tem como finalidade o avanço da gestão dos recursos hídricos, da pesquisa científica e do apoio ao ensino técnico e universitário, a fim de gerar soluções robustas, eficientes e sustentáveis para um gerenciamento adequado dos recursos hídricos.

Assim, um dos grandes desafios na hidrologia é identificar medidas apropriadas e oportunas de adaptação em um meio ambiente em continua mudança, a partir de: uma melhor compreensão dos processos hidrológicos e suas relações com atmosfera, a biosfera e a sociedade; técnicas apropriadas para a integração ou assimilação de informação; temas relativos ao dimensionamento e heterogeneidade; e capacidades preditivas de processos hidrológicos (Young et al., 2015), formando assim, uma gestão integrada dos recursos hídricos. O desempenho do gerenciamento dos desastres naturais vai depender totalmente do desempenho da gestão dos recursos hídricos.

2.1.2. Desastres hidrológicos

A inundação é o desastre hidrológico mais frequente no mundo, segundo o (EM-DAT). Esta é definida como o transbordamento das águas de um curso de água para a planície de inundação, porém, no Brasil os termos associados a inundação terminam variando de um local para outro. Algumas terminologias usadas são: cheia, enchente, enxurrada, inundação brusca, inundação gradual, alagamento, inundações ribeirinhas, entre outras. Esta diversidade de termos, na hora da caracterização das inundações, por exemplo, para inventario de desastres, causa desacordo e até confusão.

Na Figura 2 mostra-se um exemplo claro para diferenciar os termos referentes a inundação.

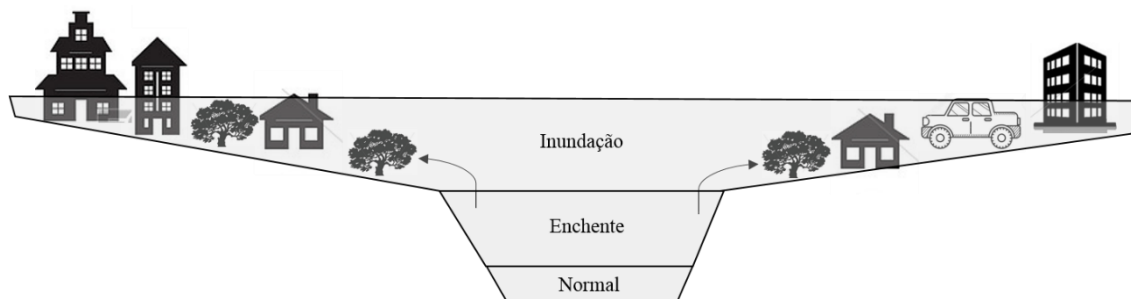


Figura 2 - Diferença entre enchente e inundação.

As inundações estão relacionadas com a quantidade e intensidade da precipitação (Souza, 1998). A magnitude e frequência das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração da água no solo, do grau de saturação do solo e das características geomorfológicas da bacia de drenagem.

Em condições naturais, as planícies e fundos de vales estreitos apresentam lento escoamento superficial, e nas áreas urbanas estes fenômenos têm sido intensificados por alterações antrópicas, como a impermeabilização do solo, e a retificação e assoreamento dos cursos da água. Este modelo de urbanização, com a ocupação das planícies de inundação e impermeabilizações ao longo das vertentes, e, mesmo em cidades de topografia relativamente plana, onde, teoricamente, a infiltração seria favorecida, gera resultados são catastróficos (Tavares e Silva, 2008).

Além de inundação e enchente, existem também outros conceitos de inundações. Castro (2003) classifica as inundações em função da magnitude (excepcionais, de grande magnitude, normais, e de pequena magnitude) e em função da evolução em inundações graduais, inundações bruscas, alagamentos, e inundações litorâneas provocadas pela brusca invasão do mar.

Kobiyama e Goerl (2011) fizeram uma descrição de diferentes definições escritas por diversos autores, utilizadas para inundação gradual e inundação brusca. Para

Castro (2003) a inundação gradual ocorre quando as  guas se elevam de forma paulatina e previsível; mantem-se em situa o de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradualmente. O NWS/NOAA (2007) a define como a inunda o de uma área normalmente seca causada pelo aumento do nível das  guas em um curso de água estabelecido, como um rio, um córrego ou um canal de drenagem, ou um dique, perto ou no local onde as chuvas precipitaram. Na Figura 3 mostra-se um exemplo de inunda o gradual ocorrida em Itajaí-SC.



Figura 3 - Inunda o Gradual ocorrida em Itajaí-SC (Fonte: Carla Dutra).

Segundo EM-DAT (2014) a inunda o brusca   causada por chuvas fortes ou excessivas em um curto período de tempo, que produzem escoamento imediato, criando condi es de alagamento dentro de minutos ou algumas horas durante ou após a chuva. Para Castro (2003), a inunda es bruscas são provocadas por chuvas intensas e concentradas, em regiões de relevo acidentado, caracterizando-se por produzirem súbitas e violentas eleva es das vazões, que escoam de forma rápida e intensa. A Figura 4 mostra um exemplo de inunda o brusca no arroio Forromeco, sendo que em A se mostra o nível do arroio em seu estado normal, e em B pode-se observar o aumento do nível do rio, com altas velocidades.



Figura 4 - Comparação. A) estado normal e B) inundação brusca no arroio Forromeco-RS.

A ideia de tentar diferenciar o tipo de inundação tem um sentido no gerenciamento dos desastres naturais. No Brasil, para ganhar recursos para prevenção ou atenção de desastres naturais, o município ou estado deve enviar para a Secretaria Nacional de Defesa Civil, do Ministério de Integração Nacional, documentos referentes a uma notificação preliminar do desastre emitido pelo órgão público competente, onde deve-se informar o tipo de desastre que este sofre ou sofreu.

No entanto, na hora de diferenciar uma inundação ainda não existe uma maneira clara de identificá-la. Segundo Kobiyama (2006), isto ocorre devido à dificuldade da identificação do fenômeno em campo e à ambiguidade das definições existentes, além da falta de conhecimento sobre o assunto. Alguns autores (WMO, 1994; NWS/NOAA, 2007) estabeleceram um limiar para conseguir diferenciar o fenômeno, e concluíram que as inundações bruscas ocorrem dentro de 6 horas após uma chuva ou após a quebra da barragem ou reservatório. Porém, este é um valor totalmente empírico, e pode variar de um local para outro, já que este tempo depende muito das características geomorfológicas de cada bacia. Kobiyama e Goerl (2007), a fim de diferenciar o fenômeno, definiram um índice de eficiência de operação (IEO) a partir de um fator ambiental, como o tempo de concentração da bacia, e de um fator social através do tempo operacional de resposta do sistema instituição – comunidade.

2.1.3. Medidas de prevenção

Existem diferentes fatores que contribuem para ocorrência de inundações, como: diminuição da capacidade de descarga dos canais causadas por obstrução por lixo, bueiros subdimensionados; retirada da cobertura vegetal, redução da capacidade de infiltração pela influência da urbanização; obras de desassoreamento e de canalização; retificação de canais; ocupação em áreas de perigo; entre outros. Isto ocorre, muitas vezes, em virtude do mau gerenciamento dos desastres naturais, já que não podemos evitar que fenômenos naturais aconteçam, mas podemos diminuir ao máximo os desastres causados por estes fenômenos.

Desta forma, o gerenciamento dos desastres naturais possui duas metas: i) compreender os fatores condicionantes que geram os fenômenos naturais, como explicado anteriormente e ii) aumentar a resistência da sociedade contra esses fenômenos. Tudo isto, a partir dos órgãos governamentais (Governo federal, estadual, municipal), não-governamental (ONG's, empresas, entre outros), e individual (indivíduo).

Kobiyama et al. (2004) mostraram que os fenômenos que causam desastres naturais ocorrem eventualmente. Assim, as atividades de prevenção de desastres devem considerar fases sequenciais dos eventos. Estas atividades envolvem três etapas principais; pré-evento, evento e pós-evento, além disso, cada uma dessas etapas abrange diferentes sub-atividades. Na Tabela 2 apresenta-se uma descrição mais detalhada de cada atividade.

Tabela 2 - Atividades por tipos de órgãos e etapas do processo de gerenciamento de desastres naturais.

Etapas	Governamental	Não-Governamental	Individual
Pré-Evento (Prevenção e preparação)	-Mapeamentos de áreas de perigo e risco. -Divulgação dos resultados de simulação dos danos.	-Promoção de reconhecimento de vulnerabilidade. -Participação no planejamento.	-Reconhecimento dos resultados de simulação dos danos, áreas de perigos e riscos, e vulnerabilidade da região.

	<ul style="list-style-type: none"> -Reconhecimento de potencialidade da sociedade para prevenção de desastres naturais (PDN). -Planejamento para medidas emergenciais. -Desenvolvimento de tecnologias de baixo custo para viabilizar obras de infraestrutura. -Educação e construção de cultura para PDN. -Construção de sistemas de previsão e de alerta. -Estabelecimento de legislação para PDN. 	<ul style="list-style-type: none"> -Participação no mapeamento de áreas de risco. -Participação na elaboração dos processos de prevenção aos desastres. -Manutenção das informações. -Melhoria da qualidade de vida. -Fiscalização das funções dos órgãos governamentais. -Organização de grupos de autodefesa contra desastres naturais. 	<ul style="list-style-type: none"> -Participação do treinamento de PDN. -Recebimento de informações. -Participação em atividades voluntárias.
Evento (Resposta)	<ul style="list-style-type: none"> -Levantamento rápido dos danos locais. -Fortalecimento dos sistemas para coleta, processamento e divulgação de dados. -Estabelecimento de rede de informação. -Uso comum dos espaços. 	<ul style="list-style-type: none"> -Divulgação de alerta. -Fornecimento de informações para especialistas de assuntos de PDN. -Distribuição de alimentos, medicamentos e roupas. -Reconhecimento de necessidades das comunidades carentes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Espera em casa ou em abrigo. -Ajuda aos vizinhos. -Atividades voluntárias no PDN. -Obtenção e análise dos dados. -Decisão de atividades.
Pós-evento (Reconstrução)	<ul style="list-style-type: none"> -Reconhecimento das situações anteriores e atuais das vítimas. -Estabelecimento do orçamento. -Estabelecimento do plano diretor do local afetado. -Execução flexível dos projetos. -Elaboração detalhada do relatório sobre o evento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Tratamento psicológico das vítimas traumatizadas. -Participação no planejamento de reconstrução. -Participação na construção da comunidade afetada. -Elaboração detalhada do relatório final sobre o evento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Restauração e reconstrução de residências afetadas. -Independência econômica. -Geração de empregos.

Fonte: Kobiyama et al. (2004).

Em relação ao pré-evento, muitas vezes são aplicadas medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais envolvem obras de engenharia, como barragens, represas, diques, entre outros. Estes tipos de medidas normalmente possuem altos custos e nem sempre evitam que ocorra o desastre. Como medidas não estruturais, estão ações de planejamento e gerenciamento, como também sistemas de alerta, mapeamento, conscientização, entre outros. Normalmente este tipo de medida envolve menor custo e tem uma maior eficiência.

No caso, onde planeja-se implementar estruturas necessárias para atividades humanas como residências, estradas, captadoras de água, entre outros, é necessário realizar mapeamento das áreas de perigo a desastres naturais. É nessa etapa que esta pesquisa está focada. Em outro caso, onde os desastres naturais acontecem com maior frequência, são necessários sistemas de alerta, afim diminuir ditos impactos.

Modelos numéricos associados com sistemas de geoprocessamento ajudam na elaboração destas medidas de prevenção, ao tentar representar a realidade. Porém, é ineficaz realizar modelagem numérica sem antes fazer monitoramento hidrológico, sendo estes dois processos complementares um do outro.

2.1.4. Zoneamento para prevenção de desastres hidrológicos

Segundo Tucci (2005), o zoneamento é a definição de um conjunto de regras para a ocupação de áreas de maior risco a inundações, voltado a prevenir futuras perdas materiais e humanas. Desta forma, deve-se saber diferenciar os termos de perigo e risco, que muitas vezes são utilizados como sinônimos, mas tem definições diferentes. Kobiyama et al. (2006) define perigo como um fenômeno natural que ocorre em épocas e regiões conhecidas, que podem causar sérios danos nas áreas sob impacto, enquanto risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo.

Goerl et al. (2012) mostrou que risco é função do perigo e a vulnerabilidade, pelo que a elaboração do mapa de risco deve-se fazer de maneira subsequente, visto que os mapas de inundação são utilizados para a criação do mapa de perigo de inundação,

onde, juntamente com o mapa de vulnerabilidade, formará finalmente o mapa de risco de inundações.

O mapa de inundação consiste na limitação das áreas inundadas com a cota do nível da água, além disso, está associado a um único período de retorno. No entanto, este mapa não é suficiente para o gerenciamento dos desastres naturais. Um exemplo é o trabalho de Santos e Kobiyama (2008). Neste trabalho, mostraram a aplicação do modelo hidrológico TOPMODEL para determinar as áreas saturadas da bacia do rio pequeno, com área de 104 km², localizada em Paraná.

O mapa de perigo de inundação contém informações adicionais sobre a probabilidade e/ou magnitude de um evento, porém, são poucas as metodologias existentes. Stephenson (2002) desenvolveu uma estratégia de gestão para desastres por inundação, a fim de avaliar os locais mais adequados para o desenvolvimento urbano no rio Vaal, na África do Sul.

Utilizando a classificação de Prevene (2001), Monteiro e Kobiyama (2014) propuseram uma metodologia para mapeamento de perigo de inundação na bacia do Braço do Baú, localizada em Santa Catarina. A metodologia consistiu na utilização de modelagem hidrológica e hidrodinâmica, a partir de diferentes tempos de retorno.

A terceira etapa para realizar o mapeamento de risco é a elaboração do mapa de vulnerabilidade. A vulnerabilidade, segundo Pelling (2003), denota a exposição ao risco e à incapacidade de evitar ou absorver danos em potencial, sendo dividida em três tipos: física, relacionada às construções; social, relacionada ao sistema social, econômico e político; e humana, relacionada à união entre a física e a parte social. No entanto, existem diferentes definições de vulnerabilidade, fazendo com que a elaboração do mapa seja muito mais complexa.

Goerl et al. (2011) propuseram uma metodologia para mapeamento de vulnerabilidade ao estudar os principais conceitos ligados à análise da vulnerabilidade e a partir da criação de um índice de vulnerabilidade (IV) através de oito variáveis socioeconômicas. Esta metodologia foi aplicada no município de Rio Negrinho, Santa Catarina.

Contudo, a partir do mapeamento de perigo e vulnerabilidade de inundação, finalmente pode-se criar o mapa de risco de inundação, sendo este muito importante, já que visa suprir uma das maiores deficiências relacionadas aos desastres naturais. No Brasil, a maior deficiência é a ausência de sistemas de alertas, sendo esta uma ferramenta fundamental na prevenção de desastres (Kobiyama, 2006). Porém, a elaboração do mapa de risco ainda é um desafio para cientistas e gestores.

Um dos poucos trabalhos feitos no Brasil foi realizado por Goerl et al. (2012). Neste trabalho foi proposta uma metodologia de mapeamento de risco de inundação, a partir do índice de vulnerabilidade, feito através de uma unidade territorial ou setor censitário e a análise do perigo. Com base na relação entre perigo e vulnerabilidade foi estimado o risco.

2.2. Modelagem Hidrológica

2.2.1. Conceitos gerais

O ciclo hidrológico é um conceito usado para descrever a circulação da água na Terra através de diferentes processos, como evaporação, transpiração, condensação, precipitação, interceptação, escoamento superficial, infiltração, percolação, e escoamento subterrâneo. O ciclo é estudado a partir da hidrologia, que se define como a ciência que trata a água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e sua relação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (*U.S. Federal Council for Science and Technology*).

Neste meio, aparecem os modelos hidrológicos a fim de tentar representar tais processos do ciclo hidrológico utilizando um conjunto de equações. Segundo Singh e Frevert (2002), inicialmente as pesquisas de modelos hidrológicos eram focadas no estudo de componentes do ciclo de forma separada. No entanto, a partir dos avanços computacionais, foi possível integrar todos os componentes do ciclo hidrológico e simular a bacia hidrográfica como um todo (Paiva, 2009). Os modelos chamados de chuva-vazão são um exemplo deste tipo de modelo. Estes fornecem os hidrogramas no exutório da bacia hidrográfica de estudo a partir de uma precipitação específica.

Cada um destes modelos é classificado dependendo de diversas características. Na Tabela 3 apresenta-se uma pequena descrição das principais características de modelos hidrológicos, porém, cada modelo pode ter mais de uma classificação.

Tabela 3- Características principais dos modelos hidrológicos.

Tipo de modelo	Descrição
Determinístico	Não considera aleatoriedades; uma dada entrada produz sempre uma mesma saída (Chow, 1994).
Estocásticos	Existem parâmetros que inferem aleatoriamente a simulação e os resultados devem ser analisados de forma probabilística.
Conceitual	Quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos.
Empíricos	Estes ajustam os valores calculados aos observados, através de funções que não tem nenhuma relação com os processos físicos envolvidos. Estes são também conhecidos como modelos de “caixa preta”.
Eventual	Simula um período pequeno (um evento) que pode durar horas ou dias.
Contínuo	Simula períodos longos, agregando mais do que um evento chuvoso à simulação. Estes são amplamente utilizados ao se acoplar o modelo hidrológico a um modelo meteorológico.
Concentrado	É quando toda a bacia é representada por uma precipitação média e os processos hidrológicos por variáveis concentradas.
Distribuído	A área da bacia é subdividida em sub-bacias, fazendo que os parâmetros de entrada e saída possuam variação espacial bidimensional.
Distribuídos por módulos	Procura maior detalhamento espacial da bacia. Este tipo de modelo tem algumas desvantagens em grandes bacias.

Fonte: Adaptada de Tucci (1998).

Outros fatores importantes na estrutura dos modelos hidrológicos são as variáveis de entrada, estrutura básica da integração dos processos, aquisição de dados físicos das bacias e determinação dos parâmetros.

As variáveis de entrada normalmente utilizadas pelos modelos são a precipitação e a evapotranspiração. No caso da estrutura básica de integração dos processos, usualmente é utilizada uma estrutura separada em dois módulos (bacia e canal) a fim de integrar e representar de uma maneira mais adequada os processos que envolvem o ciclo hidrológico. A aquisição de dados físicos da bacia está associada à grande variabilidade das características naturais e do uso do solo que resulta em uma grande quantidade de informação que os modelos têm que processar.

A partir dos avanços nas áreas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, informações espacialmente distribuídas (imagens de satélite, mapas de cobertura vegetal e tipos de solos, modelos numéricos do terreno, entre outras) e técnicas para sua análise, começaram a ficar disponíveis. O trabalho de Paiva et al. (2013) é um exemplo de aquisição de dados por sensoriamento remoto para modelagem hidrológica-hidrodinâmica.

A determinação dos parâmetros nos modelos pode ser estimada com base nas características físicas ou devem ser ajustados com base em dados observados das variáveis de entrada e saída. Alguns modelos, como é o caso de HEC-HMS (USACE, 1998), possuem métodos para ajuste destes parâmetros através de diferentes técnicas de otimização, como são as técnicas iterativas ou por funções objetivo. Explicações mais minuciosas estão nos trabalhos de (Tucci, 1998; Collischonn, 2001; Setiawan et al., 2003; Lindner, 2007; e Junsawang et al., 2007).

Contudo, nos últimos anos tem se observa um contínuo aperfeiçoamento dos modelos hidrológicos, devido a novas informações que se tornaram disponíveis. Isto leva a um aumento no nível de complexidade dos modelos e a compreensão dos processos físicos do ciclo hidrológico, fornecendo uma melhor resposta a questões associadas ao gerenciamento dos recursos hídricos.

2.2.2. Aplicação de modelos hidrológicos

Existem diversos modelos hidrológicos que tentam representar os processos do ciclo hidrológico, mas cada um com suas próprias características. A seguir se apresenta uma breve descrição destes modelos com algumas aplicações.

Primeiramente se desenvolveram os modelos simplificados, ou seja, de forma concentrada, que utilizavam relações empíricas ou conceituais para representar os processos do ciclo hidrológico. Dentro destes se destacam o modelo SSARR (*Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation*), desenvolvido por Rockwood (1958) para planejamento, concepção e operação de projetos de controle dos recursos hídricos na bacia do rio Columbia nos Estados Unidos; o modelo STANFORD IV, desenvolvido por Crawford e Linsley (1966) para buscar detalhar todos os processos na bacia com discretização de 15 minutos (Tucci, 1998); e encontram-se outros modelos como o modelo Tank Model (Sugawara, 1961), o modelo Soil Conservation Service – SCS (SCS, 1975), o modelo IPH II (Tucci, 2005), e o modelo SMAP (Lopes et al., 1981), utilizados inicialmente para responder questões práticas de engenharia como: dimensionamento de estruturas hidráulicas para sistemas de abastecimento de água, redes de drenagem pluvial, navegação e hidroelétricas.

Posteriormente, a partir dos avanços computacionais, modelos distribuídos passaram a ter um maior uso. Estes integram uma variedade de processos físicos variáveis no tempo e espaço, além de começarem a substituir as relações empíricas e conceituais por relações físicas para representar matematicamente os processos intermediários do ciclo hidrológico.

O modelo MIKE SHE (Refsgaard e Storm, 1995; DHI, 2001) é um destes modelos, sendo uma versão adaptada do modelo SHE (Abbott et al., 1986a e 1986b) e resulta da cooperação entre alguns centros de pesquisa europeus (Instituto de Hidráulica Danish, o Instituto Britânico de Hidrologia, e o SOGREAH da França). Todos os processos são descritos por equações, que representam aproximadamente um compromisso entre o máximo da sua compreensão teórica atual e a disponibilidade de dados. A evapotranspiração, por exemplo, é representada pela equação de Penman-Monteith; o escoamento na zona não saturada é representado pela equação de Richards;

o escoamento na região saturada é representado pela equação de Boussinesq; o escoamento superficial e o escoamento em canais são representados pela equação de continuidade e pela equação de difusão (Collischonn, 2001).

Nielsen (2006) utilizou o modelo MIKE SHE em uma área urbana da região sudeste da Ásia. Foi simulado todo o sistema de drenagem, considerando diferentes taxas de infiltração e as áreas pavimentadas. Além disso, o modelo foi capaz de simular a inundação devido aos efeitos combinados de chuva e maré.

Butts et al. (2005) aplicaram o modelo MIKE SHE na bacia do rio Odra, na Polônia, uma das bacias contempladas no projeto FLOODRELIEF, que envolve vários países da Europa. Este projeto envolve metodologias para previsão de inundações, priorizando a capacidade e a exatidão dos modelos, permitindo que os resultados dos estudos sejam acessíveis aos gerentes e pessoas que vivem em áreas de risco.

O modelo Hidrológico de Grandes Bacias, MGB-IPH (Collischonn et al., 2007; Paiva et al., 2011a e 2011b), é um modelo distribuído, de base conceitual, desenvolvido para ser aplicado em bacias com áreas maiores ou iguais a 10000 km². Este é composto pelos módulos de balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamento superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula; e escoamento na rede drenagem. Além desses módulos, este apresenta uma metodologia de geoprocessamento para preparação dos dados de entrada, e tem implementado um componente de calibração automática.

Paiva (2011a) propôs uma metodologia para simulação hidrológica e hidrodinâmica integrada em grandes bacias, utilizando uma modificação do modelo MGB-IPH, proposta também pelo autor. A modificação consiste na substituição do modelo Muskingum-Cunge pelo modelo hidrodinâmico IPH-IV desenvolvido por Tucci (1978) e foi aplicado na Bacia do Rio Solimões. Os resultados da nova versão do modelo tiveram uma melhor representação do que a versão original, porém o tempo de simulação é aproximadamente 120 vezes maior do que a versão original.

O modelo TOPMODEL desenvolvido por (Beven e Kirkby, 1979) é outro destes modelos. Este é um modelo semi-distribuído, sendo que somente o parâmetro

relacionado à topografia é distribuído, os demais parâmetros, como precipitação e transmissividade, são constantes para toda a bacia. Além disso, é utilizado um conceito de área variável (Tsukamoto, 1961; Betson, 1964; Hewlett e Hibbert, 1967) aplicado ao mecanismo de geração do escoamento superficial. Desta forma, o escoamento superficial é dependente da quantidade de área saturada na bacia, podendo variar a cada intervalo da simulação. Esta característica dinâmica e distribuída da bacia é simulada através do índice topográfico, que é função da área de contribuição e declividade de cada célula, e o déficit de armazenamento, que representa a quantidade de água disponível no solo para cada célula.

Piñol et al. (1997) afirmaram que uma das vantagens do TOPMODEL é sua formulação em termos do código, parâmetros e tempo computacional, tornando-o fácil para modificações nas bases do entendimento dos processos de uma bacia.

Silva e Kobiyama (2007) fizeram um estudo de três formulações do modelo TOPMODEL (Beven et al., 1984; Campling et al., 2002; Datin, 1998) na simulação de hidrogramas. As simulações foram realizadas na bacia do rio Pequeno, São Jose dos Pinhais, no Paraná. Estes modelos foram comparados através das suas eficiências, intervalos de incerteza e medidas de entropia de Shannon, apresentando desempenhos semelhantes quanto aos hidrogramas, mas a formulação de Campling obteve os maiores intervalos de incertezas nas simulações.

Mine e Clarke (1996) aplicaram o modelo TOPMODEL em condições brasileiras na bacia do rio Belém, com o objetivo de explorar seu potencial quando aplicado a situações onde não se dispõem de informações suficientes, tanto em termos quantitativos e qualitativos. Os resultados apresentaram uma eficiência média do ajuste do modelo em toda a série simulada, porém para as maiores enchentes as eficiências do modelo foram superiores a 80%. Isto significa uma boa representação em eventos de maior magnitude.

2.3. Modelagem Hidrodinâmica

2.3.1. Conceitos gerais

A hidrodinâmica faz parte da mecânica que se encarrega do estudo dos fluidos em movimento, sua interação com o meio físico e suas propriedades químicas. Daí a grande importância de estudar o comportamento da água em escala de espaço e tempo menores. Uma maneira de representar os componentes é através da modelagem hidrodinâmica, que utiliza métodos numéricos para resolver as equações diferenciais do escoamento.

Existem dois tipos de escoamento fluviais representados pelos modelos hidrodinâmicos, o escoamento permanente e não permanente. Um escoamento permanente se encontra, quando não possui variações temporais importantes. Isto geralmente na natureza é difícil de encontrar, mas dependendo do detalhe ou a escala a ser analisada pode ser utilizado.

Este tipo de escoamento pode ser analisado a partir da equação de Bernoulli (Equação 1), que trabalha com a conservação de energia de um ponto, ou de uma seção a outra.

$$\frac{a_2 V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma_2} + h_2 = \frac{a_1 V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_1} + h_1 + h_L \quad [1]$$

onde V é a velocidade normal na seção transversal; a é o coeficiente de ponderação da velocidade; g é a aceleração da gravidade, P é a pressão; γ é peso específico; h é altura da lâmina da água; e h_L é a perda de carga.

O escoamento não permanente, ao contrário do permanente, é o mais comum de ser encontrado na natureza. Este fornece a variação no tempo e espaço das variáveis do escoamento de um rio ou canal. Normalmente estes tipos de variações são causados por diferentes processos, como é a propagação de hidrogramas.

Por esse motivo e, considerando o grande número de variáveis e leis que regem sobre o escoamento nos rios, torna-se necessário o uso de equações que levem em consideração esse tipo de variação. A equação de Saint-Venant é uma das equações para o cálculo dos escoamentos em rios que os modelos hidrodinâmicos distribuídos unidimensionais utilizam (Chow et al., 1994). No entanto, estas equações partem de algumas simplificações que devem ser consideradas para sua dedução, como: o escoamento é unidimensional, ou seja, a profundidade e a velocidade variam somente em direção longitudinal do canal; o fluxo varia gradualmente ao longo do canal e o eixo longitudinal do canal é aproximadamente uma linha reta; a declividade do fundo do canal é baixa e o leito é fixo; os coeficientes de atrito para escoamento uniforme permanente turbulento são aplicáveis, a partir de relações como a equação de Manning; e o fluido é incompressível e de densidade constante ao longo do escoamento.

A partir disso, é definida a equação dinâmica que integra as equações de conservação de massa e de quantidade de movimento, respectivamente:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q' = 0 \quad [2]$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA(S_o - S_f) \quad [3]$$

onde Q é a vazão normal na seção transversal em ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); A é a área molhada da seção transversal em (m^2); x é a distância no sentido longitudinal do rio em (m); g é a aceleração da gravidade em ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$); h' é a profundidade da água no rio (m); S_o é a declividade do canal em ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$); S_f é a declividade da linha de energia em ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$); q' são as vazões laterais entre duas seções em ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); e t é o tempo em (s).

Outros fatores importantes a serem considerados nos escoamentos em rios são a translação, (efeitos de advecção), amortecimento (efeitos de dispersão) e efeitos a jusante (Paiva, 2009). O processo de extravasamento do escoamento para a planície causa efeitos de armazenamento, que por sua vez tende a retardar e amortecer a onda de cheia. Esta interação entre canal e planície aumenta a complexidade do escoamento (Cunge et al., 1980), geralmente por processos de turbulência, desenvolvimento de

tensões de cisalhamento, e transferência de água do canal para a planície com o subsequente retorno (Stewart et al., 1999; Knight e Shiono, 1996).

Wong e Laurenson (1983) analisaram o comportamento da celeridade da onda de cheia antes e depois de ocorrer uma inundação em rios da Austrália, relacionados com dados de vazão. A Figura 5 apresenta os resultados do efeito do armazenamento na planície de inundação em relação à celeridade para o rio Murumbidgee na Austrália.

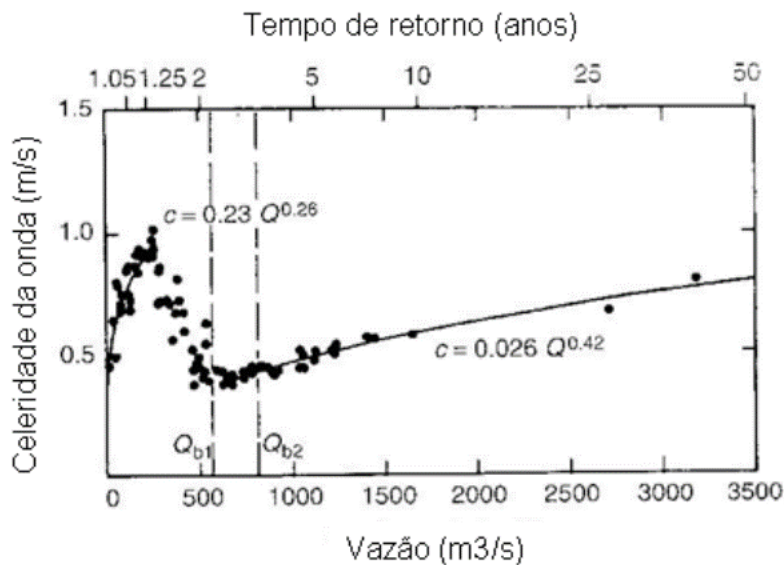


Figura 5- Relação celeridade versus vazão no rio Murumbidgee, na Austrália (Fonte: Wong e Laurenson, 1983).

Pode-se observar que, enquanto o escoamento permanece na calha principal, a celeridade aumenta. Uma vez que ocorre o extravasamento do rio para a planície de inundação, a celeridade diminui bruscamente, até o momento que a água começa a se estabilizar e a celeridade volta a incrementar de uma forma lenta.

Conforme a complexidade que este tipo de processo desenvolve na planície de inundação de um rio, precisam-se de modelos matemáticos que tentem representar da melhor maneira o escoamento na planície. Existem diferentes tipos de modelos matemáticos simplificados de propagação de ondas de cheia, que são desenvolvidos a partir de simplificações nos termos das equações de Saint Venant (Equação 4). Cada um dos termos da equação representam os processos físicos que interagem no escoamento:

$$\underbrace{\frac{\partial Q}{\partial t}}_{\text{Termo de Aceleração Local}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right)}_{\text{Termo de Aceleração convectiva}} + \underbrace{gA \frac{\partial h}{\partial x}}_{\text{Termo de Força de Pressão}} = \underbrace{gA(S_o)}_{\text{Termo de Força Gravitacional}} - \underbrace{S_f}_{\text{Termo de Força de Atrito}}$$

[4]

$$\underbrace{\frac{\partial Q}{\partial t}}_{\text{Onda Dinâmica}} + \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right)}_{\text{Onda Inercial}} + \underbrace{gA \frac{\partial h}{\partial x}}_{\text{Onda Cinemática}} = \underbrace{gA(S_o - S_f)}_{\text{Onda de Difusão}}$$

[5]

Na equação (4), o termo de aceleração local descreve a mudança da velocidade com o tempo; o termo de aceleração convectiva descreve a mudança da velocidade ao longo do canal; o termo de força de pressão é uma relação da variação da profundidade da água; o termo de força gravitacional depende da declividade do fundo do canal; e o termo de força de atrito depende da declividade da linha de energia.

Estes modelos simplificados podem ser classificados em modelos do tipo armazenamento, onda cinemática, difusão e inercial (Equação 5). O modelo distribuído mais simples é o modelo de Onda Cinemática, que despreza o efeito das forças de inércia (aceleração local mais aceleração convectiva) e a força de pressão. Neste tipo de modelo considera-se que a declividade da linha do fundo do canal é igual a declividade da linha de energia, ou seja, os termos de força gravitacional e força de atrito são iguais. Isto faz que este tipo de modelo seja adequado para rios com alta declividade, já que só representa a translação da onda cheia. Desprezando os termos de inércia temos uma aproximação do tipo difusão, que permite a consideração dos efeitos de remanso, ou seja, quando o nível da água muda em um ponto particular do canal com escoamento subcrítico (Chow, 1994). O modelo de onda inercial, que despreza apenas o termo de aceleração convectiva, vem sendo muito utilizado por diversos autores para simulação de inundações de planícies em duas dimensões (Bates et al., 2010; Almeida et al., 2013; Pontes et al., 2015). Por último estão os modelos do tipo armazenamento que utilizam a equação de continuidade e desprezam completamente a equação de quantidade de

movimento, considerando assim, apenas uma relação entre o armazenamento, e a vazão de saída e entrada.

A solução das equações que governam os escoamentos depende diretamente da variabilidade das características físicas, que dificultam sua solução através de métodos analíticos, sendo necessários métodos numéricos para sua solução (Fread, 1993). Esta forma de solução das equações é a diferença entre modelo matemático e modelo numérico. Os modelos hidrodinâmicos utilizam modelos numéricos para resolver as equações diferenciais completas de Saint-Venant. Porém, atualmente existem novas tecnologias para coleta de dados, que tem influenciado na seleção dos modelos numéricos (Stelling e Verwey, 2005).

No caso do escoamento em rios com planícies de inundação, as simulações hidrodinâmicas podem possuir diferentes dimensões. Estão os modelos unidimensionais com seções compostas, modelos bidimensionais simplificados, como modelos de tipo células e tipo *raster*, combinação de modelo 1D para o canal principal e modelo 2D para a planície, além dos modelos tridimensionais 3D (Paz et al., 2010a; 2010b; 2011).

Existem diferentes métodos numéricos de aproximações discretas para resolver problemas de escoamento. A escolha do método depende do problema em específico e do conjunto de equações que descrevem o problema. Estes métodos são divididos em discretizações espaciais, que dentro destas, apresentam-se subdivididos. Segundo (Laurien e Oertel, 2011), são 4 os métodos mais utilizados por sua flexibilidade e precisão. Por outro lado, existem os métodos a partir de discretizações temporais, que visam fornecer a relação entre os valores da variável em instantes sucessivos de tempo (Fortuna, 2000). Estes métodos podem ser explícitos, implícitos ou semi-implícitos.

O método de discretização espacial por diferenças finitas substitui o operador contínuo por uma aproximação discreta, que podem ser obtidas de várias formas, onde as mais usuais são a expansão por série de Taylor e interpolação polinomial (Monteiro, 2014). O método dos volumes finitos é baseado na resolução de balanços de massa, energia e quantidade de movimentos a um determinado volume de meio contínuo. O terceiro método é uma aproximação por elementos finitos, onde divide-se o domínio da

solução em elementos, ou seja, a solução aproximada para a equação diferencial parcial é desenvolvida para cada um dos elementos, para finalmente gerar as soluções individuais cuidando a continuidade das fronteiras entre elementos (Chapra e Canale, 2008). Por último, está o método de Lattice – Boltzmann, onde a ideia é a construção de modelos simplificados de cinética que incorporem a física essencial dos processos microscópicos e mesoscópicos para que as propriedades médias macroscópicas obedecem a equação desejada (Monteiro, 2014).

Os esquemas numéricos são classificados em explícitos (Figura 6a), quando sua estimativa de variáveis do escoamento no intervalo $n+1$ é feita a partir de resultados no intervalo de tempo anterior (Hoffman e Chiang, 2000). Estes precisam de intervalos de tempo muito pequenos na integração das equações para evitar problemas de estabilidade numérica.

Na discretização implícita é necessário resolver um novo sistema para cada passo de tempo, tornando-o mais dispendioso computacionalmente (Figura 6b). No entanto, possui algumas vantagens em termos de estabilidade, ou seja, o passo de tempo pode ser determinado dependendo só de considerações de precisão (Peyret, 1995).

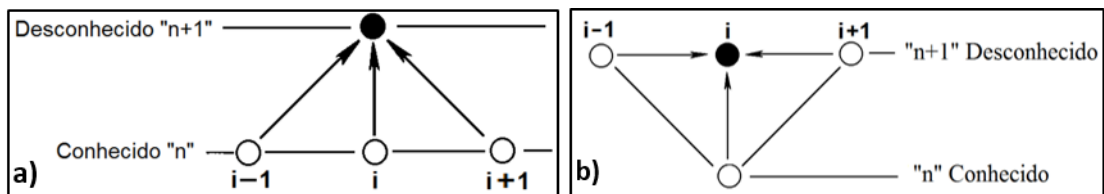


Figura 6 - Exemplo dos pontos de grade para a formulação: a) explícita e b) implícita (Fonte: Adaptado de Monteiro, 2014).

A discretização semi-implícita permite formar uma equação ou um sistema de equações em diferenças finitas com alguns termos aproximados no nível de tempo n , e outros em $n+1$. Este tipo de abordagem é recomendado para solucionar termos não-lineares, onde não seja fácil isolar os termos $n+1$. Tudo isto é feito por questões de estabilidade, já que é restringida apenas para a parte explícita da equação (Fortuna, 2000).

2.3.2. Aplicação de modelos hidrodinâmicos

A partir das equações que descrevem os escoamentos em rios e dos diferentes esquemas numéricos para solucionar as equações, desenvolveu-se uma variedade de modelos comerciais para simulação do escoamento. Grande parte destes modelos possui um modelo hidrodinâmico voltado para simulação hidráulica de trechos de rios e não para grandes bacias, onde se tem carência de informação detalhada sobre suas propriedades físicas. A seguir é feita uma descrição de alguns deles, na forma unidimensional e bidimensional.

2.3.2.1. Modelagem unidimensional

HEC-RAS desenvolvido pelo corpo de engenheiros dos Estados Unidos (USACE, 2000) é um desses modelos. Este permite análises unidimensionais de rios no regime permanente e não permanente, através do esquema de Preissman, que consiste em um método numérico linear de 4 pontos baseado nas equações de Saint-venant na forma integral, para a solução do sistema de equações (Chen, 1978). Além disso, o modelo também possui outros módulos, como simulação de qualidade de água e transporte de sedimentos.

Para delimitar a área inundável são calculadas as alturas da água nas seções transversais. Dado que, a cota da superfície livre é constante na seção, a área inundável é limitada pela interceptação da topografia do terreno com a superfície livre em cada seção e o resultado da interpolação entre os perfis das seções transversais (Fernandez et al., 2013).

Este modelo é um dos modelos mais utilizados e populares na delimitação da área de inundação, além de ser um modelo gratuito que utiliza uma interface que facilita ao usuário o seu uso. Dentro de alguns trabalhos encontra-se o artigo de Yang (2006), onde aplicou o modelo HEC-RAS junto a técnicas de sistemas de informação geográficas (SIG), para delimitar a zona inundável do rio, localizado ao leste de Ottawa na província de Ontario – Canadá. Malungo (2012) realizou uma análise das inundações na bacia do campus da Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de

Florianópolis-SC, através de modelagem hidrológica utilizando HEC-HMS e simulação hidrodinâmica com HEC-RAS.

No entanto, este modelo tem algumas limitações que devem ser consideradas, dependendo do estudo. Uma destas é que o modelo não é adequado se o interesse abrange a propagação da inundação sobre a planície com grandes dimensões, já que o escoamento ocorre apenas no sentido longitudinal do curso da água, além de não representar os fluxos independentes na planície.

2.3.2.2. Modelagem bidimensional

O modelo LISFLOOD-FP é um modelo hidrodinâmico bidimensional voltado especificamente para simular o escoamento nas planícies de inundação, desenvolvido por (Bates e De Roo, 2000). Este modelo representa de forma separada o escoamento no leito do rio e na zona inundável.

Para o leito do rio é aplicado um modelo 1D pela aproximação de onda cinemática devido a simplicidade computacional, e na zona inundável é aplicado um modelo 2D pela aproximação de onda de difusão para sua representação. Outra característica importante é que é um modelo espacialmente distribuído e desenvolvido com o objetivo de integrar dados topográficos. O modelo digital de elevação (MDE) é o principal dado de entrada na simulação hidrodinâmica (Bates e de Roo, 2000).

Horris e Bates (2001 e 2002) avaliaram a influência da resolução do modelo digital de elevação nos resultados do modelo LISFLOOD e compararam os resultados de simulação de cheias em termos de áreas alagadas dos modelos LISFLOOD FP, HEC RAS, e o modelo TELEMAC, desenvolvido por (Galland et al., 1991), que utiliza as equações de Navier-Stokes para águas rasas resolvidas pelo método dos elementos finitos em uma malha irregular (Paiva, 2009). O trabalho de Fernandez et al. (2013) é um dos trabalhos mais recentes. O objetivo foi confrontar o desempenho do modelo HEC-RAS e LISFLOOD-FP através da comparação da extensão da área inundável e tempo de simulação.

Nestes estudos o modelo LISFLOOD-FP apresentou um desempenho equivalente ou superior aos obtidos por outros modelos, no cálculo da extensão de inundação. No entanto, este apresenta algumas limitações ao não considerar a transferência da quantidade de movimento da água principal e na zona inundada (Paz, 2010). A condição de fronteira de montante na zona da planície é a altura da água no leito do rio.

2.4. Modelagem hidrogeomorfológica

2.4.1. Conceitos gerais

A geomorfologia procura explicar a diversidade, origens e dinâmica da superfície da Terra e os processos que as geram (Christofolletti, 1980). Na década dos 80 a geomorfologia tomou forma a partir do geógrafo William Morris Davis. Em sua época a ideia predominante sobre a criação do relevo era explicada a partir de processos catastróficos. Davis desenvolveu uma teoria de criação e destruição da paisagem, e chamou de ciclo geográfico, onde explica que as formas da superfície da Terra são o resultado de um equilíbrio dinâmico, que evolui ao longo do tempo entre processos construtivos e destrutivos (Monteiro, 2001). Este conceito foi um dos primeiros modelos conceituais de evolução da paisagem, que foi desenvolvido para representar os processos geomorfológicos.

Desta maneira, pode-se perceber que para o desenvolvimento dos processos geomorfológicos, é necessário o auxílio de outras ciências. Neste contexto, Scheidegger (1973) foi o primeiro a definir a palavra Hidrogeomorfologia como sendo o estudo das formas causadas pela ação das águas. Aproximadamente duas décadas depois Okunishi (1991, 1994) incluiu a palavra hidrogeomorfologia e a definiu como o estudo entre as interações dos processos hidrológicos e geomorfológicos, mais especificamente a interação entre os sistemas fluviais e de encosta. O trabalho de Goerl et al. (2012) fez uma revisão conceitual sobre a palavra Hidrogeomorfologia, e propôs alguns modelos conceituais para explicar a relação entre hidrologia e geomorfologia, concluindo que a sobreposição e a intersecção destas duas ciências são os mais praticados, já que estão incorporando a água (processo hidrológico) como agente modelador da paisagem ou incorporando as formas da paisagem (geomorfologia) nos estudos hidrológicos. Estas

relações podem ser vistas de uma maneira mais clara, na forma de uma bacia hidrográfica, sendo uma característica importante dentre os fatores que influenciam no formato do hidrograma, em termos do pico de vazão.

Assim, pode-se dizer que qualquer processo hidrológico que modifica a paisagem é um processo hidrogeomorfológico. Na Tabela 4 é apresentada uma classificação de processos hidrogeomorfológicos conforme vários autores.

Tabela 4 - Classificação de processos hidrogeomorfológicos.

Autor	Processos Hidrogeomorfológicos
Montgomery e Bolton, (2003)	Inundações e Deslizamentos
Hungr et al. (2001)	Inundações, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos.
Marchi et al. (2010)	Fluxos de detritos e fluxos hiperconcentrados.

Adaptado de Goerl et al. (2012)

No entanto, os processos hidrogeomorfológicos não são estudados somente em função das observações de campo, se não, através de modelos físicos e matemáticos. Scheidegger (1970) foi um dos primeiros a apresentar modelos matemáticos para análise de vertentes. Porém, as equações que descrevem os processos geomorfológicos são muito complexas para serem resolvidas de forma analítica, pelo que se precisa de métodos numéricos para sua solução. Van de Wiel et al. (2011) fornece uma visão geral dos diferentes tipos de modelos numéricos para estudar a história do rio e sua evolução (Figura 7).

Contudo, considerando o foco desta pesquisa, neste item vai se aprofundar em modelagem de evolução de paisagem, porém o trabalho de (Van de Wiel et al., 2011) descreve com mais detalhe cada um destes modelos, destacando suas características, possibilidades e algumas limitações. Em geral os modelos de evolução da paisagem são os mais apropriados dos modelos disponíveis, já que podem abordar vários processos ao modelar toda a bacia (Coulthard e Van de Wiel, 2012).

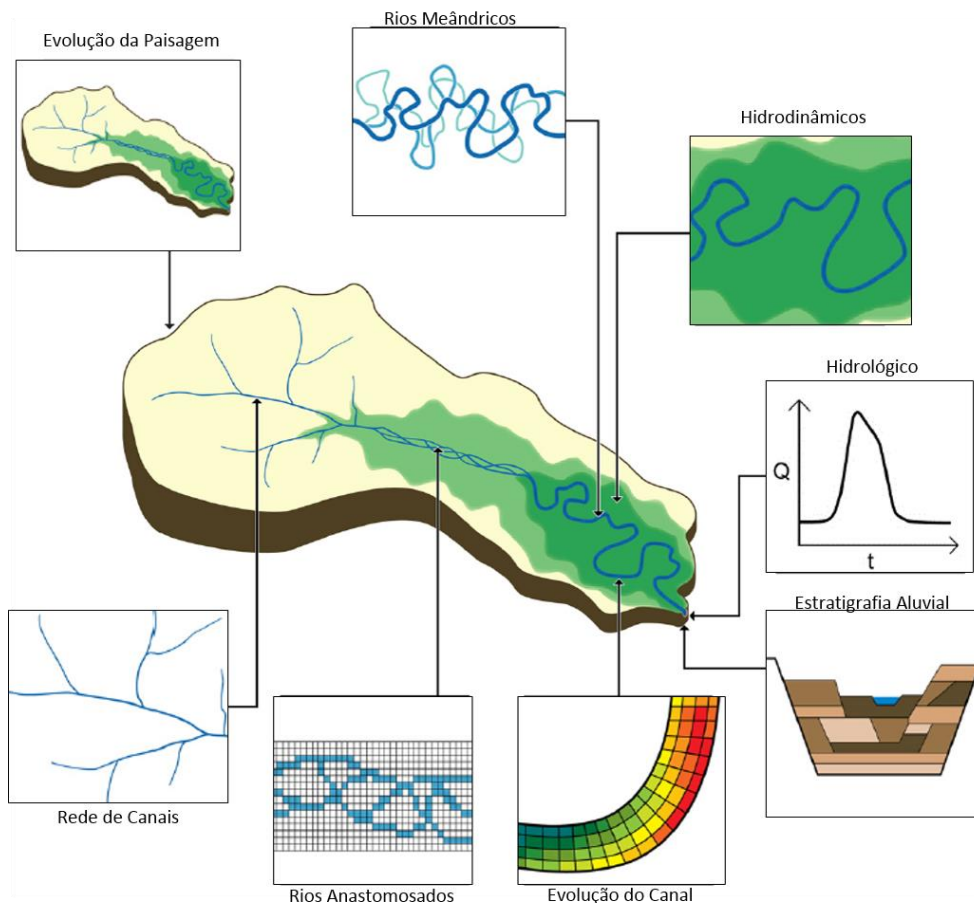


Figura 7 - Representação esquemática dos diferentes tipos de modelos para simulação de sistemas fluviais (Adaptada de Van de Wiel et al., 2011).

Nos itens descritos anteriormente se realizou uma revisão mais detalhada de modelagem hidrológica e hidrodinâmica, sendo estes importantes no entendimento da dinâmica na superfície da Terra.

2.4.2. Tipos de modelos de evolução da paisagem

Os modelos de evolução da paisagem (LEM) são modelos baseados em processos físicos, que tentam replicar os processos mais salientes que formam a paisagem, a partir da propagação da água sobre um MDE que representa a bacia hidrográfica (Coulthard e Van de Wiel, 2012). As mudanças de elevação de cada pixel ocorrem através dos processos fluviais e de encosta, que são caracterizados pela declividade, e as células que representam o rio. A Tabela 5 mostra algumas características gerais dos LEM.

Tabela 5 - Características de um modelo de evolução da paisagem.

Área Operacional	Resolução espacial	C, Sb, B
	Resolução espacial (m ²)	10 ¹ - 10 ²
	Resolução Temporal	E, A, D, S, M
	Resolução Temporal (dias)	10 ⁻² - 10 ⁰
Propriedades Operacionais	Processos	F, T, H
	Dados Necessários	Me, Al
	Exigência Computacional	Me, Al
Área de Aplicação	Hidrologia	X
	Inundação	X
	Frequências de inundações	X
	Mudança do canal	X
	Evolução da planície de inundação	X
	Formação de terraços	X
	Rede de drenagem	X
Evolução da encosta	X	

(B=Bacia, Sb=Sub-bacia, C=Canal) – (E=Evento, A*=Ano, D=Décadas, S=Séculos, M=Milênios) – (F=Fluxo, T=Transporte de sedimentos, H=Encosta) – (Me=Médio, Al=Alto) – (X= aplica-se) (Adaptado de Van de Wiel et al., 2011).

No entanto, há questões importantes que podem dificultar sua aplicação. Uma destas é devido ao grande número de processos que operam em diferentes escalas espaciais e temporais, que de alguma ou outra forma aumentam as incertezas em sua resposta, dificultando ainda mais sua calibração e validação (Coulthard, 2001).

Tucker e Hancock (2010) fizeram uma revisão dos diferentes componentes, simplificações e algoritmos que envolvem os modelos de evolução da paisagem. De maneira geral os LEM estão definidos pelas leis de transporte geomorfológicas. Um exemplo claro é a equação de fluxo (Equação 6), definida a partir das pesquisas de Culling (1960, 1963 e 1965) onde aprofundou as consequências morfológicas da hipótese de Gilbert (1987), concluindo que a taxa média de descarga do fluxo de sedimentos na encosta depende de um gradiente local.

$$q_s = -K_c \frac{\partial n}{\partial X} \quad [6]$$

onde q_s é uma taxa volumétrica de transporte de sedimento por unidade de largura; n é a elevação da superfície terrestre; X' é a distância da declividade vertente abaixo; e K_c é um coeficiente de velocidade que depende dos processos, de clima e do material. Dietrich et al. (2003) definiram esta lei como uma expressão matemática de fluxo ou erosão de massa causado por um ou mais processos operando em escalas geomorfológicas de tempo e espaço.

Portanto, quando as funções de transporte geomorfológicas se combinam com uma equação de continuidade de massa, estas passam a descrever a evolução topográfica ao longo do tempo sob a ação de processos específicos (Tucker e Hancock, 2010). Porém, há um número de diferentes estruturas possíveis para conservação de massa em um sistema geomorfológico. Coulthard (2001) e Willgoose (2005) em seus trabalhos fazem uma análise mais detalhada sobre as bases conceituais e matemáticas dos modelos de evolução de paisagem.

A partir dos diferentes componentes que envolvem os LEM, somado ao rápido crescimento computacional no final de 1980 e início de 1990, modelos mais avançados foram desenvolvidos, conseguindo obter representações mais precisas dos processos fluviais e encosta (Kirkby, 1987; Willgoose et al., 1991, 1994; Howard, 1994; Tucker e Slingerland, 1994).

Coulthard (2001) comparou as características de cinco modelos de evolução da paisagem, e Tucker e Hancock (2010) incluíram em seu trabalho uma lista parcial dos LEM publicados entre 1991 a 2005. Na Tabela 6 é apresentada uma pequena descrição de cada um deles.

Tabela 6 - Modelos numéricos de evolução da paisagem.

Modelo	Referência	Descrição
SIBERIA	Willgoose et al. (1991)	Transporte limitado condicionado à granulométrica.
DRAINAL	Beaumont et al. (1992)	Transporte fluvial baseado no conceito de ‘subcapacidade’.
GILBERT	Chase (1992)	Autômato celular.
DELIM	Howard (1994)	Limitado ao destacamento da partícula.
GOLEM	Tucker e Slingerland (1994)	Introduz algoritmos de geração de deslizamentos.
CASCADE	Braun e Sambridge (1997)	Introduz um método de discretização irregular.
CAESAR	Coulthard et al. (1999)	Algoritmo autômato celular para campo de escoamento 2D.
ZSCAPE	Densmore et al. (1998)	Introduz um algoritmo estocástico para escorregamentos.
CHILD	Tucker e Bras (2000)	Introduz tratamento estocástico da precipitação e do escoamento.
€ROS	Crave e Davy (2001)	Algoritmo de precipitação modificado
APERO/CIDRE	Carretier e Lucazeau (2005)	Individuais ou múltiplas direções de fluxo.

Fonte: Adaptado de Tucker e Hancock, (2010)

Cada um destes modelos possui vantagens e desvantagens que devem ser consideradas na hora da escolha do modelo, dependendo do tipo de aplicação. Por exemplo, em relação à escala espacial e temporal, os modelos CASCADE e GOLEM apresentam melhores resultados em grandes bacias e longos períodos. Enquanto outros como SIBERIA, CAESAR e CHILD podem ser melhores para curtos períodos que requerem maior resolução.

Quanto à representação dos processos, os modelos CHILD, CAESAR e GOLEM representam melhor os processos fluviais. Por outra parte, o modelo CAESAR simula a topografia do canal com fluxo divergente e CHILD inclui um modelo de meandros. Ao contrário, SIBERIA e GOLEM representam melhor os processos de encosta.

Em termos de facilidade de uso, a maioria dos modelos tem um grau de dificuldade na hora de serem utilizados. Estes não contam com uma interface gráfica que facilite ao usuário o seu manejo. No entanto, CAESAR é dos poucos modelos que oferece uma interface dinâmica com saídas gráficas em tempo real.

Contudo, segundo Hancock (2009) CAESAR é provavelmente o modelo mais sofisticado para simular a evolução da paisagem associada, principalmente, a processos fluviais. Portanto, este modelo encontra-se geralmente em constante modificação. As primeiras versões deste modelo utilizavam a equação de Einstein (1950) para simular transporte de sedimentos (Coulthard et al., 2002), depois Van de Wiel et al. (2007) incorporaram a equação de Wilcock e Crowe (2003), além de outras ferramentas.

Outra modificação e, talvez, uma das mais importantes foi a integração do modelo hidrodinâmico bidimensional LISFLOOD-FP (Bates e De Roo, 2000), capaz de representar adequadamente efeitos hidrodinâmicos como a propagação de uma onda de cheia. A partir desta integração foi desenvolvido o novo modelo chamado CAESAR – LISFLOOD (Coulthard et al., 2013), utilizado nesta pesquisa.

2.4.3. Aplicação de modelos de evolução da paisagem

Diversas pesquisas têm demonstrado a aplicabilidade dos modelos de evolução da paisagem nos processos hidrogeomorfológicos. Hancock et al. (2002) simularam com o modelo SIBERIA o desenvolvimento geomorfológico ao longo do tempo na bacia Tim Camp Creek, localizada ao norte da Austrália. Clevis et al. (2006) utilizaram o modelo CHILD para avaliar o potencial de preservação de locais arqueológicos dentro de um sistema de meandros.

Coulthard (2002) utilizou o modelo CAESAR para simular os últimos 9000 anos da evolução da bacia do rio Swale, no Reino Unido, comparando os resultados com registros sedimentares.

Coulthard et al. (2005) demonstraram que trechos diferentes do mesmo rio possuem grande sensibilidade as mudanças de fatores externos (clima) assim, não evoluem da mesma maneira. A transferência de sedimentos entre trechos afeta consideravelmente o comportamento dos sedimentos aluviais da bacia em geral, resultado da variação de limiares de erosão e deposição em trechos específicos.

Hancock (2009) pesquisou os diferentes padrões de chuva nas taxas de erosão e transporte de sedimentos em uma bacia no Norte da Austrália, a partir do modelo CAESAR. Aqui, avaliaram-se diferentes cenários de precipitação durante um período de 1000 anos de simulação. Posteriormente Hancock e Coulthard (2012) analisaram a sensibilidade da posição do canal e movimento, sobre uma série de cenários de chuva para uma bacia no sudeste da Austrália.

Welsh et al. (2009) utilizaram o modelo CAESAR para investigar o impacto do clima e as mudanças da cobertura do solo em uma bacia no nordeste da França. O resultado foi comparado com um registro de sedimentos do lago, obtendo uma boa correlação.

Coulthard et al. (2013) após a integração do modelo hidrodinâmico bidimensional LISFLOOD-FP no modelo CAESAR, realizaram uma série de simulações, a fim de avaliar o desempenho do novo modelo CAESAR-LISFLOOD. Um dos testes foi o rompimento de barragem e um evento de inundação.

Para o rompimento da barragem foram estimadas as profundidades do fluxo e velocidades em seis locais, obtendo muitas semelhanças com o código LISFLOOD-FP (Figura 8).

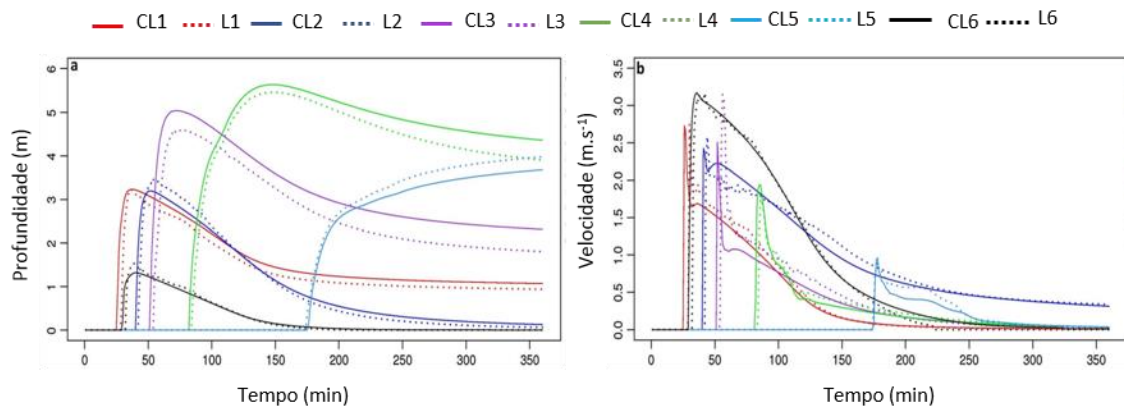


Figura 8 - Comparação das profundidades e velocidades do escoamento em 6 pontos de controle, entre LISFLOOD-FP (L) e CAESAR-LISFLOOD (CL) (Adaptado de Coulthard et al., 2013).

Por outro lado, foi calculada a área inundada e as profundidades do escoamento no evento de inundação que ocorreu no ano 2005 na cidade de Carlisle no Reino Unido, apresentando uma boa correlação entre os dois códigos. Na Figura 9 é apresentado o mapa da área inundada do evento de inundação.

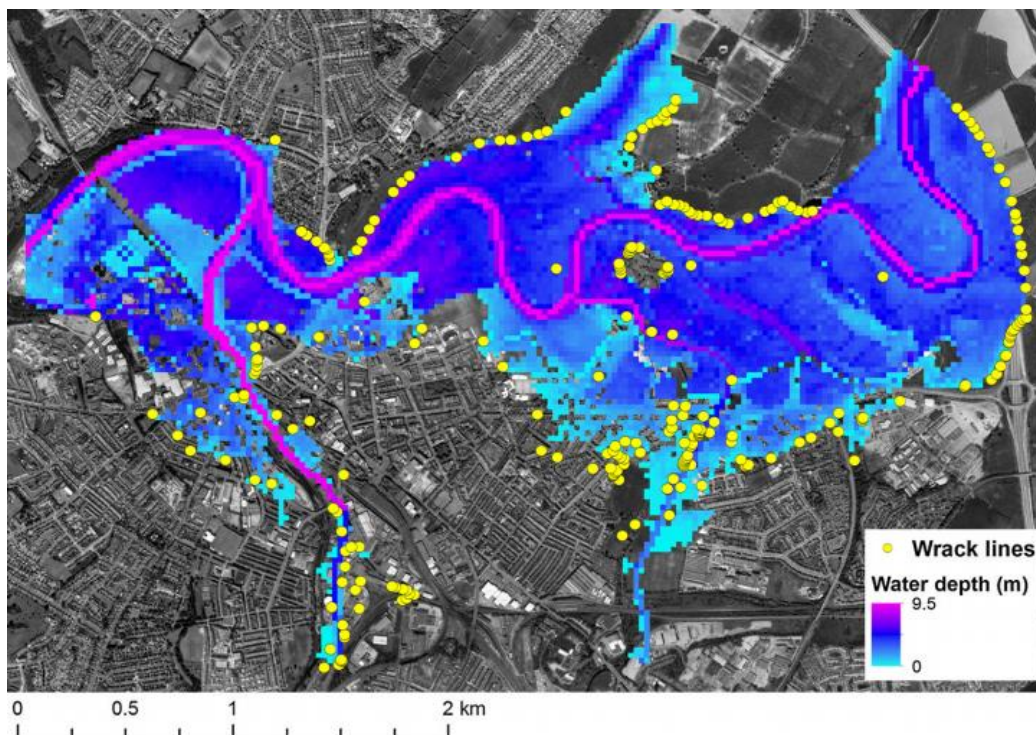


Figura 9 - Comparação da área de inundação do evento ocorrido em 2005 na cidade de Carlisle, UK. Entre o modelo CAESAR-LISFLOOD e dados observados obtidos em campo (Fonte: Coulthard et al., 2013).

2.5 Comentários finais sobre a revisão bibliográfica

O presente capítulo apresentou uma revisão sobre conceitos gerais de desastres naturais, focado em desastres hidrológicos por serem os mais representativos tanto em ocorrência como em impactos humanos a nível global e nacional. Após, foi apresentado um levantamento de estudos sobre classificação, características e tipos de inundação, e como o Brasil está posicionado em relação a todos estes aspectos em termos de medidas mitigadoras. Mostrou-se que no Brasil existe um mau gerenciamento dos desastres naturais devido à carência no entendimento dos fatores condicionantes que contribuem à ocorrência de desastres por inundações e, especialmente por falta de medidas de prevenção.

Além destes assuntos, na segunda parte da revisão bibliográfica foram escritos temas relacionados a instrumentos e metodologias para serem aplicados na prevenção e redução de desastres por inundações bruscas.

Assim, esta pesquisa procura auxiliar e ampliar o número de ferramentas e metodologias na prevenção e redução de desastres por inundações bruscas, a partir da verificação e avaliação dos processos hidrológicos em regiões propensas a este tipo de fenômeno. Além disso, os objetivos desta pesquisa estão em consonância com os objetivos da iniciativa internacional do programa internacional hidrológico (PHI), onde atualmente o tema principal é segurança hídrica, e que abrange itens como desastres relacionados com água e mudanças climáticas.

Deste modo, acredita-se que esta pesquisa possa contribuir para o desenvolvimento de um bom gerenciamento de desastres naturais, além de contribuir para pesquisa sobre proposta de técnicas de modelagem numérica e metodologias de avaliação das áreas propensas a ocorrências de desastre por inundações bruscas. Tais técnicas e metodologias podem ser posteriormente aplicadas como medidas de prevenção.

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Organização do Trabalho

No presente trabalho foi proposto e verificado o perigo de inundações bruscas para realizar mapeamento de perigo de inundações a partir de modelagem hidrogeomorfológica, sendo a combinação de um modelo hidrológico e hidrodinâmico embasados em um modelo de evolução da paisagem. A aplicação destes modelos ocorre de maneira subsequente, visto que normalmente os modelos hidrológicos, ao tentarem representar todos os processos hidrológicos, acabam simplificando tais processos, o que leva a uma errada interpretação física da bacia. No entanto, os modelos hidrodinâmicos foram desenvolvidos para auxiliar e dar uma melhor interpretação do escoamento em uma bacia.

Muitas vezes estes modelos eram utilizados de forma separada. Porém, alguns modelos de evolução da paisagem já têm inserido estes modelos a fim de utilizá-los de forma conjunta. Assim, se propõe a utilização de um modelo de evolução da paisagem, onde esteja inserido um modelo hidrológico chuva – vazão a fim de entender os processos da bacia, e um modelo hidrodinâmico bidimensional, capaz de interpretar de uma melhor maneira a interação rio – planície.

Neste trabalho foi utilizado um modelo numérico, gratuito e de fácil aplicação por sua interface gráfica, chamado CAESAR-LISFLOOD (Coulthard et al., 2013). Porém, esta metodologia pode ser conduzida com a utilização de outros tipos de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos capazes de descrever satisfatoriamente ditos processos. A Figura 10 apresenta os principais componentes da proposta metodológica para mapeamento de perigo de inundação.

Os modelos hidrológicos e hidrodinâmicos necessitam de dados de entrada para sua aplicação. Estes dados são caracterizados principalmente por dados topográficos (MDE), de onde serão extraídas informações como área de contribuição a montante, declividade, comprimento de rios, entre outros; dados hidrológicos caracterizados principalmente por series de chuva e de vazão; e dados meteorológicos, tais como temperatura, radiação, evapotranspiração, entre outros; que auxiliaram na

calibração dos modelos. O resultado final dependerá muito da qualidade destes dados, além de outros parâmetros em consideração, como a mesma escolha do modelo.

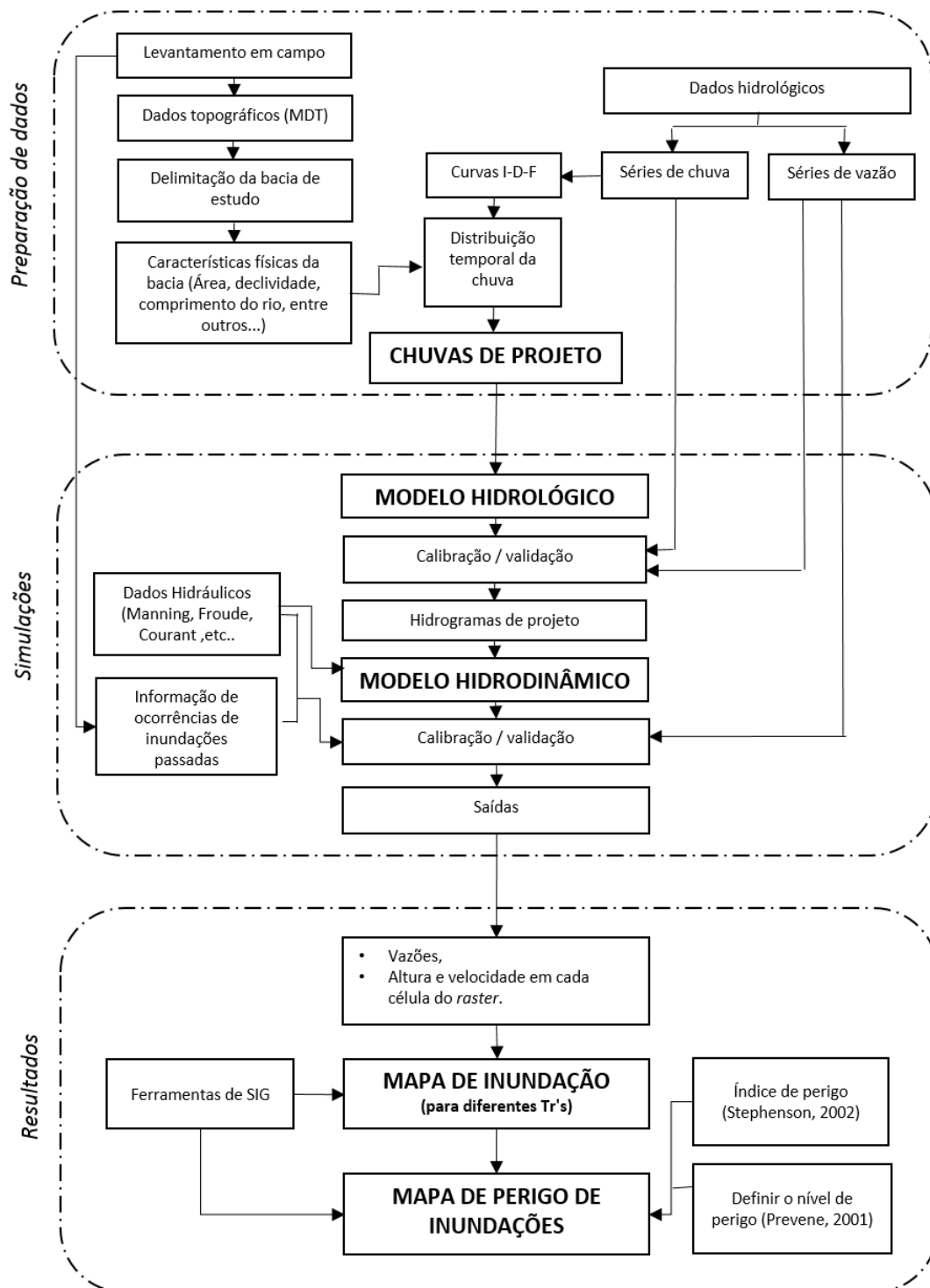


Figura 10 - Fluxograma dos principais componentes da proposta metodológica para mapeamento de perigo.

O fluxograma apresenta os principais componentes para o presente estudo agrupados em etapas de preparação de dados, simulação e resultados. Primeiramente, na

etapa de preparação de dados, estimam-se as chuvas de projeto a partir dos dados hidrológicos e topográficos. O resultado servirá como dado de entrada para a simulação hidrológica. Para estimar esta precipitação, precisa-se da equação de intensidade-duração-frequência (I-D-F) e a distribuição temporal da chuva para o local de estudo. A elaboração da equação I-D-F deve estar associada a diferentes tempos de retorno, e ao tempo de duração crítico, que é o tempo de precipitação que causará a maior vazão de pico.

A distribuição temporal detalhada da precipitação é um fator importante na elaboração do mapeamento de perigo, enquanto menor for o tempo de concentração da bacia. Isto é comum em pequenas bacias, como é o caso da bacia de estudo deste trabalho. No Brasil, na maioria dos bancos de dados de precipitação, não existe um monitoramento detalhado que permita estimar a variação temporal da precipitação, sendo necessário utilizar métodos alternativos para estimá-la. Monteiro e Kobiyama (2013) analisaram a influência dos padrões temporais da precipitação no mapeamento de inundação, concluindo que para diferentes distribuições temporais de precipitação, existe relevante variação das vazões de pico.

Na etapa de simulação, o modelo hidrológico TOPMODEL inserido em CAESAR-LISFLOOD simula os processos hidrológicos na bacia, e o escoamento gerado é dado de entrada ou condição de contorno do modelo hidrodinâmico LISFLOOD-FP. Antes disso, o modelo deve ser calibrado a partir de uma série de precipitações e através de algumas estatísticas comparado com dados observados de vazões, afim da avaliação dos resultados do modelo. O modelo hidrodinâmico simula o escoamento no rio e sua interação entre a planície. Esta simulação é feita para um trecho do rio, selecionado através de ocorrências de inundações passadas e obtendo informações em entrevistas com moradores na zona. A informação, além de facilitar a escolha, ajudará na calibração do modelo hidrodinâmico.

Como resultados, o modelo fornece vazões, profundidades da água e velocidades em cada pixel do *raster*, tanto no rio como na planície de inundação. Tudo isto, juntamente com ferramentas de geoprocessamento, serviram na criação do mapa de inundação. O mapa de inundação sempre está relacionado a um período de retorno, que é utilizado no mapa de perigo de inundações.

O mapa de perigo é o produto final deste trabalho. Para sua criação é necessário quantificar ou definir o nível de perigo. Prevene (2001) propôs uma caracterização a fim de definir os diferentes níveis de perigo que variam com o período de retorno. Desta forma, o mapa de perigo está em função da frequência de inundação em termos do período de retorno, e em função da intensidade através do índice de perigo. Para a definição do índice de perigo, Stephenson (2002) desenvolveu diferentes tipos de perigo ligado diretamente ao seu potencial destrutivo.

3.2 Área de estudo

No estudo de caso esta metodologia é aplicada na bacia do arroio Forromeco, situada no estado do Rio Grande do Sul entre os municípios de Farroupilha, Barão, Carlos Barbosa, São Vendelino, Alto Feliz e Bom Princípio. Esta bacia possui uma área de 288 km², perímetro de 85 km e sua altimetria varia entre 79 e 790 m. A Figura 11 mostra a localização da área de estudo, assim como sua altimetria.

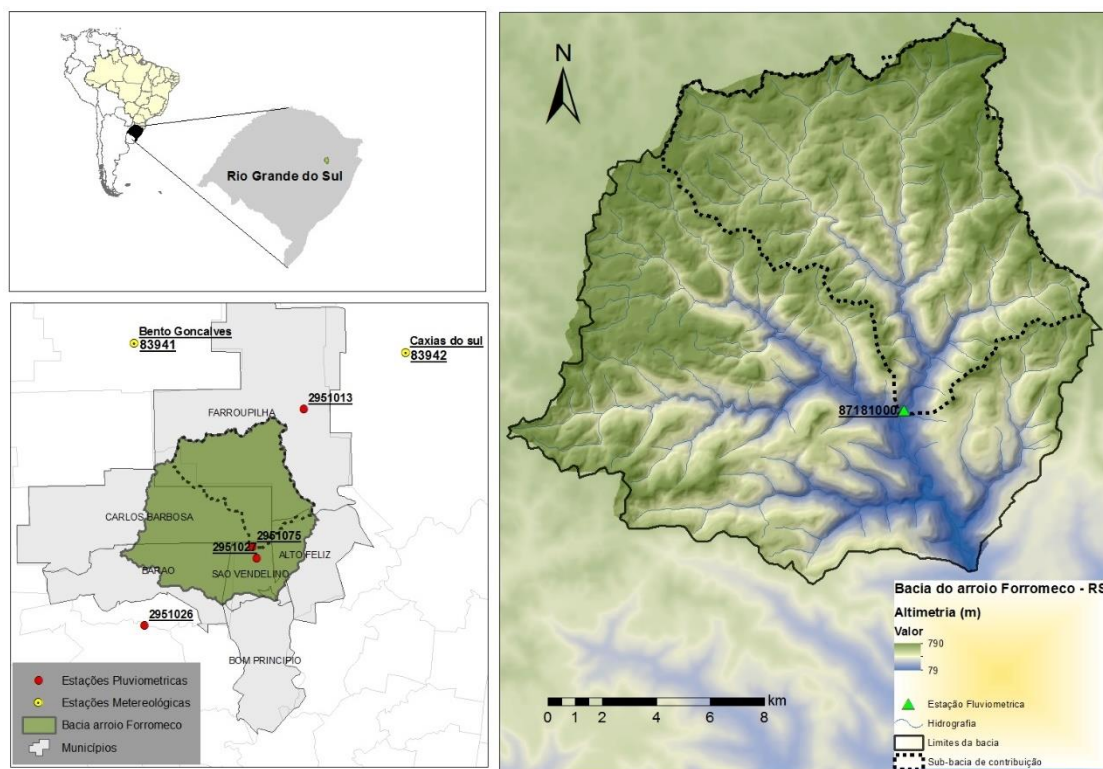


Figura 11 - Localização e altimetria da bacia do arroio Forromeco.

A declividade média da bacia situa-se a 15°, sendo que nas áreas mais íngremes a inclinação supera os 45°. Esta característica confere a esta bacia uma grande propensão à ocorrência de movimentos de massa. Além disso, devido à ausência de amplas regiões planas, a cidade de São Vendelino foi edificada próxima as encostas, junto ao talvegue, o que acarreta na existência de um histórico de inundações bruscas neste município. As imagens (a), (b), (c), e (d) da Figura 12 mostram algumas vistas das áreas afetadas pela inundação ocorrida em 1982, onde o centro da cidade foi invadido e destruído pelas águas do arroio Forromeco. As imagens (e), (f) e (g) da Figura 12 mostram a cheia ocorrida no ano 2015, onde se pode observar o perigo que o município sofre por causa da inundação brusca, sendo o aumento repentino das águas com altas velocidades. Estas informações nos permitiram definir a área inundável para as simulações hidrodinâmicas, onde posteriormente se desenvolverá o produto final, que é o mapeamento de perigo de inundações.

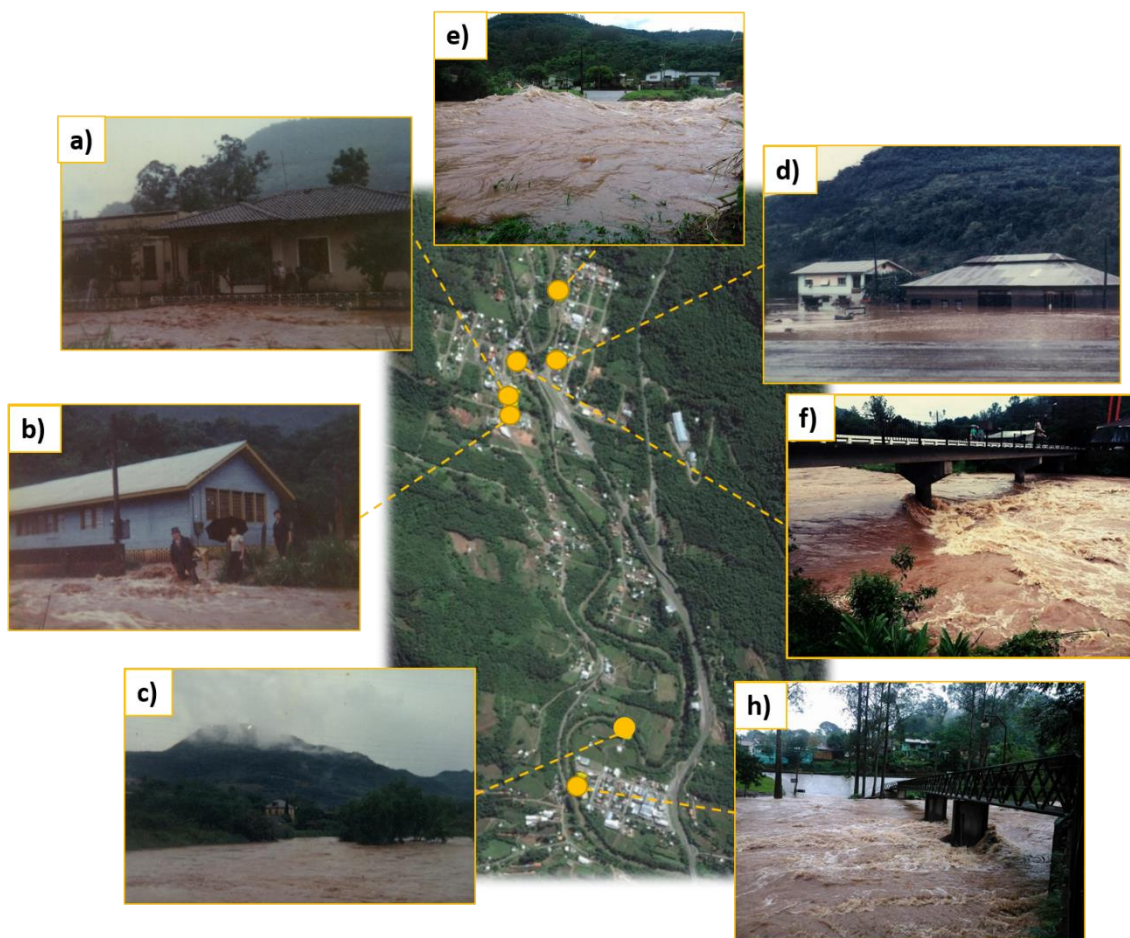


Figura 12 - Eventos de inundação de 1982 e cheia de 2015 no arroio Forromeco.

Segundo Almeida et al. (1997), o estado do Rio Grande do Sul é constituído por províncias estruturais, onde existe a província costeira, composta por sedimentos (areias), província de Paraná, dividida por Subsequências do rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II e Gondwana III. Destas, apenas as três últimas têm registros no Rio Grande do Sul, ocupando as áreas centrais e norte do estado. Por último, encontra-se a província de Mantiqueira, pertencente ao escudo Sul-Rio-Grandense formado por rochas cristalinas, vinculadas por um conjunto de rochas graníticas e gnaisses, rochas metamórficas, associadas a sedimentos e rochas vulcânicas antigas.

Segundo Viero e Silva (2010) a bacia do arroio Forromeco está localizada na província do Paraná, fazendo parte da Subsequência Gondwana III. Sua litologia inclui a Formação Botucatu (J3k1bt), e a Formação Serra Geral, representada por Fácies Gramado (k1_beta_gr) e Fácies Caxias (k1_alfa_cx). A Figura 13 mostra a litologia da área de estudo.

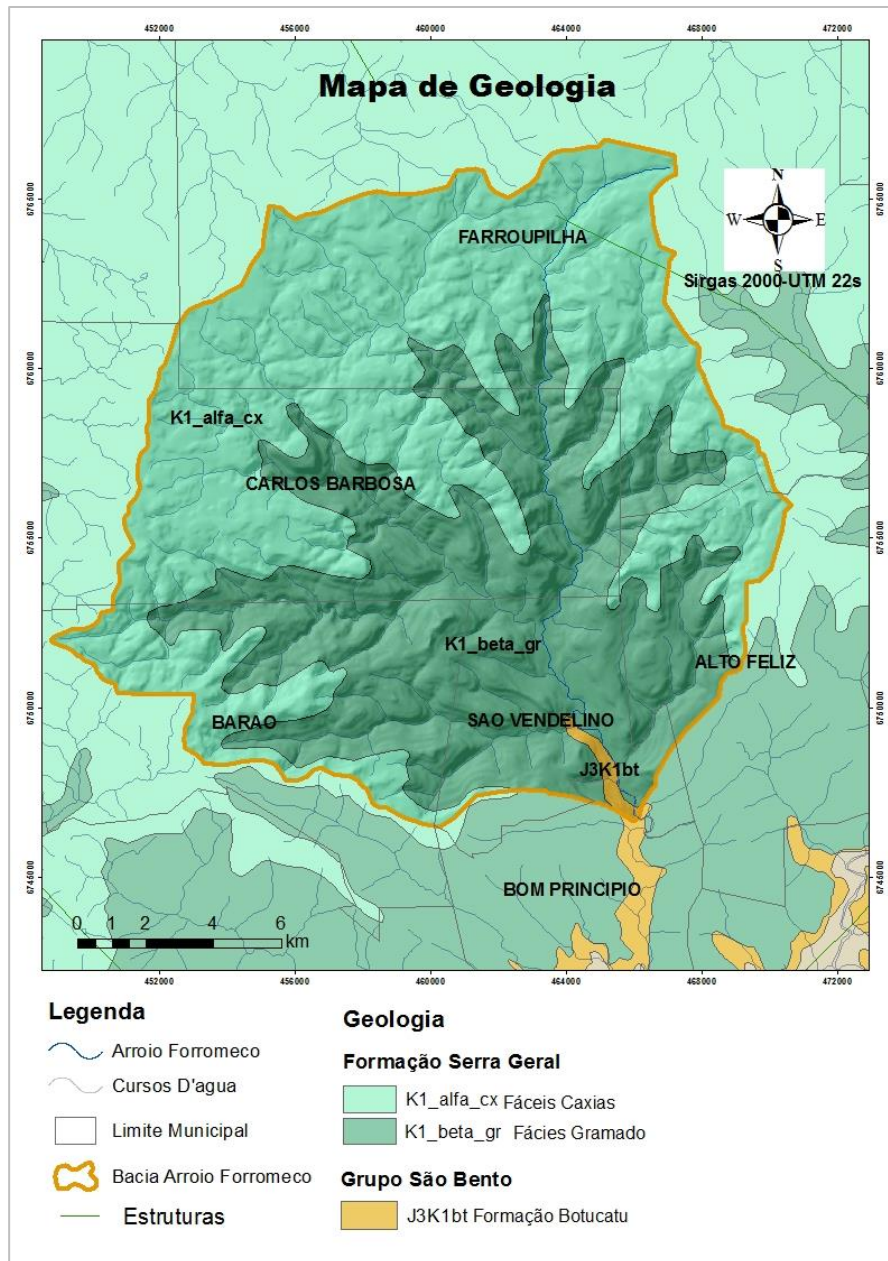


Figura 13 - Litologia da bacia do arroio Forromeco.

A Formação Botucatu é caracterizada por arenitos róseos (Figura 14a) registro de extensos campos de dunas eólicas, sucedidos pelo intenso magmatismo registrado por derrames e intrusões de rochas básicas e ácidas. As Fácies Gramado são caracterizadas por derrames basálticos granulares finos e médios (Figura 14b), melanocromáticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeolitas, carbonatos, apofilitas e saponita, estruturas de fluxo e *pahoehoe* comuns, sendo que possui intercalações com arenitos Botucatu. Fácies Caxias é caracterizada por derrames ácidos de composição predominantemente de riolitos e dacitos (Figura 14c), além disso, conta

com mesocráticos, microgranulares e vitrofíricos, de textura esferulítica comum, forte disjunção tabular no topo dos derrames e maciço na porção central, dobras de luxo e autobrechas frequentes, vesículas preenchidas predominantemente por calcedônia e ágata, fonte da mineralização da região.

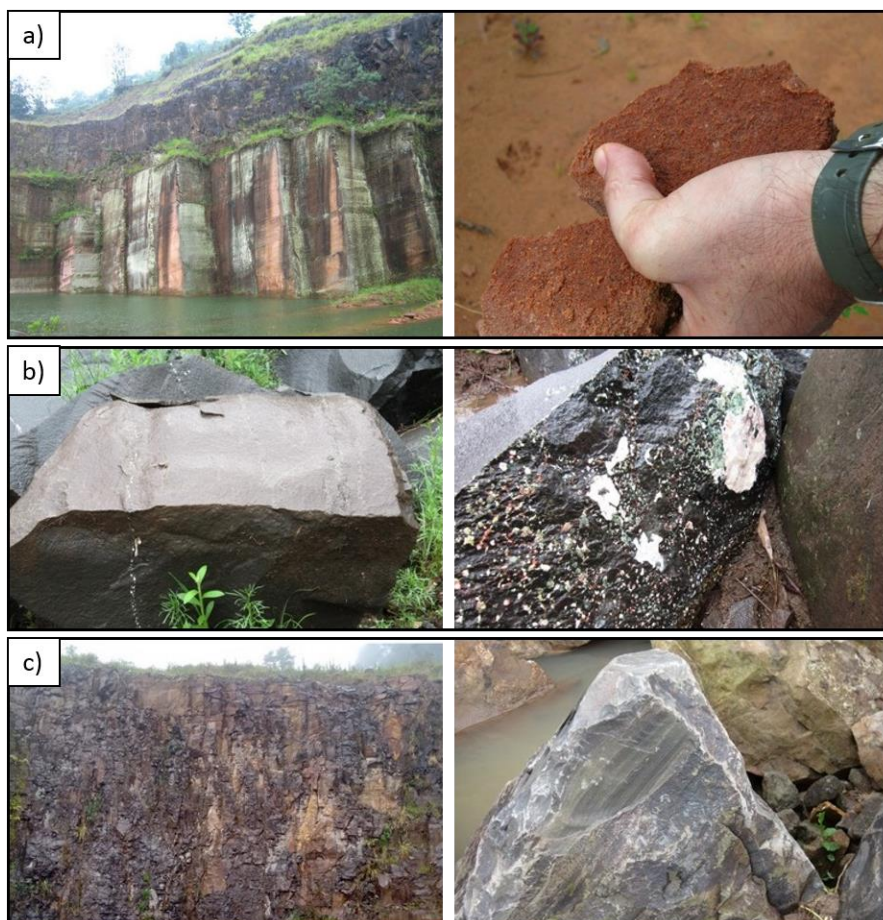


Figura 14 - Formações geológicas na bacia do arroio Forromeco. a) Arenitos róseos da Formação Botucatu; b) Rochas básicas de Fácies Gramado; e c) Rochas ácidas de Fácies Caxias da Formação Serra Geral.

Em relação a pedologia, segundo Flores et al. (2007), as classes de solos que existem na bacia pertencem à depressão central do estado formado por Argissolos; Chernossolos; Cambissolos; Nitossolos; e Neossolos, sendo a última classe a mais predominante na bacia, ocupando o 64% da área total associado ao relevo montanhoso. A Figura 15 mostra a distribuição dos tipos de solos da bacia do arroio Forromeco.

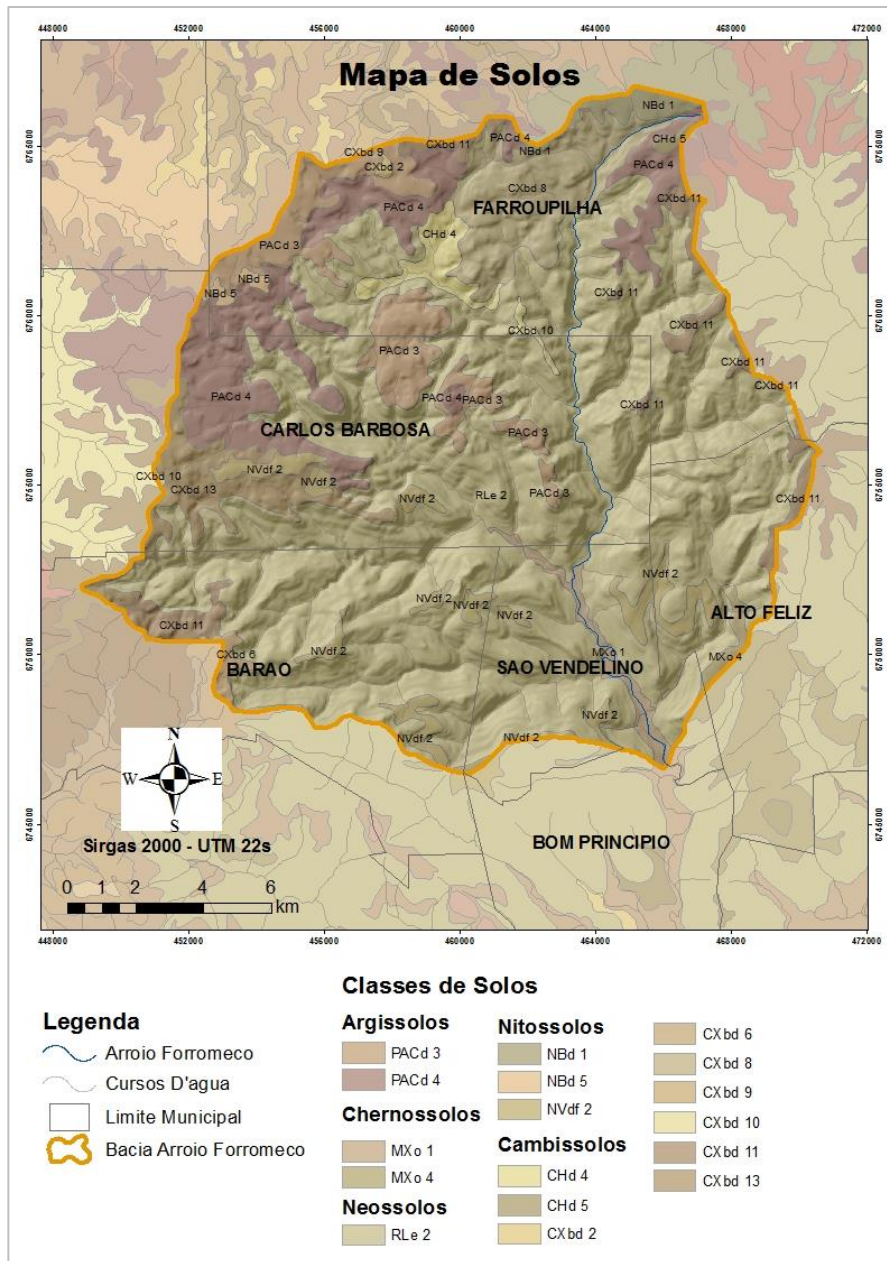


Figura 15 - Mapa de classes de solo da bacia do arroio Forromeco.

As classes de solos da bacia estudada, estão diferenciadas ou são distinguidas segundo o Sistema Nacional de Classificação de Solos (SiBCS) da seguinte forma: os Argissolos se dividem em (PACd3 e PACd4); Cambissolos em (CHd4, CHd5, CXbd2, CXbd6, CXbd8, CXbd9, CXbd10, CXbd11, CXbd13); Chernossolos (MXo1 e MXo4); Neossolos (RLe2); e Nitossolos (NBd1, NBd5, NVdf2). A Tabela 7 descreve cada classe de solo pertencente a bacia do arroio Forromeco.

Tabela 7 - Descrição das classes de solo da bacia do arroio Forromeco.

Argissolos	PACd3	ARGISSOLO ACINZENTADO distrófico de textura muito argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico de textura média + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico de textura média fase pedregosa todos A moderado relevo ondulado.
	PACd4	ARGISSOLO ACINZENTADO, Distrófico típico de textura argilosa/muito argilosa + CAMBISSOLO HÁPTICO Distrófico típico de textura média + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico de textura média pedregosa todos A moderado relevo ondulado.
Cambissolos	CHd4	CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico típico de textura argilosa relevo suave ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Humico típico textura média relevo ondulado.
	CHd5	CAMBISSOLO HÚMIDO distrófico textura argilosa relevo suave ondulado+ NEOSSOLO LITÓLICO Húmido típico textura média relevo ondulado.
	CXbd2	CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico textura argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico textura média ambos A proeminente relevo suave ondulado.
	CXbd6	CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico textura argilosa relevo ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico textura média relevo forte ondulado ambos A moderado fase pedregosa.
	CXbd8	CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado fase pedregosa + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico fase pedregosa e rochosa ambos textura média relevo forte ondulado.
	CXbd9	CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico textura argilosa + NEOSSOLO LETÓLICO Distrófico típico textura média ambos A moderado fase pedregosa relevo forte ondulado.
	CXbd10	CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico fase pedregosa relevo forte ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico fase pedregosa e rochosa relevo montanhoso amboa A moderado textura média
	CXbd11	CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico textura média fase pedregosa relevo suave ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico textura média relevo ondulado ambos A proeminente + ARGISSOLO ACINZENTADO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa fase relevo suave ondulado.
	CXbd13	CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico e Eutrófico típico textura média fase pedregosa relevo ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média fase pedregosa relevo forte ondulado + ARGISSOLO ACINZANTADO Distrófico típico textura média/argilosa fase relevo ondulado todos A moderado.
Chernossolos	MXo1	CHERNOSSOLO HÁPLICO Órrico típico textura argilosa fase pedregosa relevo suave ondulado + CHERNOSSOLO ARGILÚVICO Férrico típico textura muito argilosa fase relevo plano
	MXo4	CHERNOSSOLO HÁPLICO Férrico típico textura muito Argilosa fase relevo suave ondulado + CHERNOSSOLO HÁPLICO Órrico típico textura argilosa fase pedregosa relevo ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico chernossólico textura média fase pedregosa relevo ondulado.
Neossolos	RLe2	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico textura média fase pedregosa e rochosa relevo montanhoso + CAMBISSOLO HÁPLICO Eutrófico típico textura argilosa fase pedregosa relevo forte ondulado ambos A moderado + AFLORAMENTOS ROCHOSOS relevo escarpado
Nitossolos	NBd1	NITOSSOLO BRUNO Alumínico argissólico A predominante textura muito argilosa fase relev suave ondulado.
	NBd5	NITOSSOLO BRUNO Distrófico argissólico textura muito argilosa fase relevo suave ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico textura argilosa fase pedregosa relevo ondulado ambos A proeminente.
	NVdf2	NITOSSOLO VERMELHO Distroférico típico textura muito argilosa fase relevo suave ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico textura argilosa fase relevo ondulado ambos A moderado.

Fonte: Adaptado de Viero e Silva (2010).

3.3 Dados utilizados

3.3.1 Dados hidrológicos

Os dados hidrológicos necessários para aplicação da metodologia foram obtidos a partir das observações de chuva e vazão das estações inseridas dentro da bacia de estudo, como também próximas dela. Estes dados são encontrados através da base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), disponíveis no sistema de informações hidrológicas da HidroWeb. A Figura 16 mostra a localização das estações pluviométricas, fluviométricas e meteorológicas na bacia do arroio Forromeco.

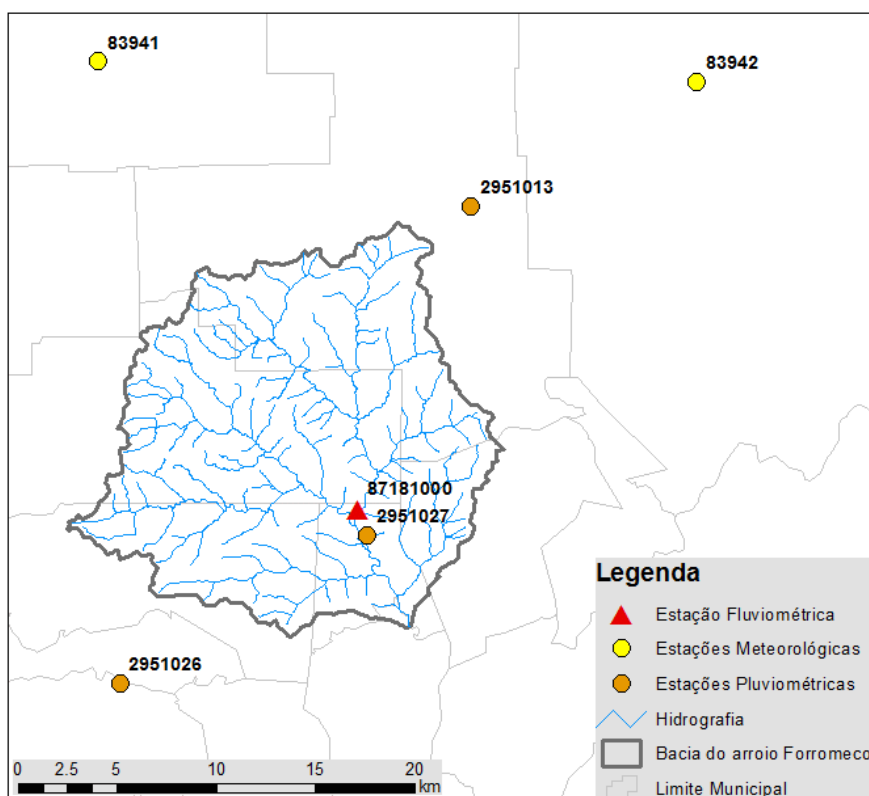


Figura 16 - Localização das estações hidrometeorológicas na bacia do arroio Forromeco.

Os dados relativos às estações pluviométricas consistem em séries diárias de chuva e, para a estação fluviométrica, em séries diárias de vazão e cotas. Foram utilizados somente dados consistidos, dada a qualidade inferior e eventual presença de erros grosseiros nos dados brutos. A Tabela 8 apresenta as principais informações relativas as estações selecionadas para o presente estudo.

Tabela 8 - Postos pluviométricos (P), fluviométricos (F), e meteorológicos (M) utilizados.

Código	Tipo do posto	Nome do posto	Município	Longitude (S)	Latitude (O)	Altitude (m)
02951013	P	Farroupilha	Farroupilha	29°13'00"	51°19'00"	750
02951027	P	São Vendelino	São Vendelino	29°21'59"	51°22'16"	140
02951026	P	São Salvador	Salvador do Sul	29°26'00"	51°30'00"	486
87181000	F	Arroio Forromeco	São Vendelino	29°21'16"	51°22'34"	104
83941	M	Bento Gonçalves	Bento Gonçalves	29°15'00"	51°51'00"	640
83942	M	Caxias do Sul	Caxias do Sul	29°16'00"	51°20'00"	759

A finalidade da utilização das séries de precipitação é a elaboração das curvas de intensidade - duração - frequência, a fim de construir as precipitações de projeto que serão os dados de entrada na simulação hidrológica. Além disso, servirão na calibração dos parâmetros do modelo hidrológico TOPMODEL inserido em CAESAR-LISFLOOD, junto com as séries de vazão.

3.3.2 Dados topográficos

Os dados topográficos utilizados na aplicação da metodologia são: MDE, do qual são extraídas informações elementares para o cálculo de diversas variáveis e parâmetros geomorfológicos, e a topobatimetria do canal da área inundável para as simulações hidrodinâmicas. O MDE foi elaborado a partir das curvas de nível 5 m, obtidas a partir dos dados da Serra Gaúcha em escala 1:50.000, cedido pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da UFRGS (Hasenack e Weber, 2007) e processadas no *Software* ArcGis 10.2.2. O produto final foi um MDE com resolução de 50 m.

Para a determinação do trecho do canal a ser utilizado nas simulações hidrodinâmicas, foram coletadas informações sobre inundações passadas, a fim de definir a zona inundável, além disso, realizou-se um levantamento topográfico da área inundável (pontos cotados), e um levantamento topobatimétrico do canal, a fim de obter uma melhor representação. O levantamento histórico das inundações ocorridas na bacia deu-se através de entrevistas aos moradores, e a partir de informações subministradas pela prefeitura de São Vendelino (fotografias e relatórios). Com base nestas informações, foram coletados os pontos com GPS da área atingida do maior evento de inundação ocorrido em 1982.

O levantamento topográfico foi realizado para toda a área inundável a partir de pontos cotados, utilizando o equipamento Hiper v da topcon de dupla frequência (Figura 17a) e processados no software de topografia *MAGNET Tools 2.0*. Este equipamento utiliza a técnica de posicionamento cinemático em tempo real (RTK). O RTK é um sistema de alta precisão baseado no uso de tecnologias de navegação com sinais por satélite, onde uma estação de referência proporciona correções em tempo real das coordenadas instantâneas, melhorando, assim a precisão dos pontos de medição. A Figura 17b mostra a utilização do equipamento em campo.

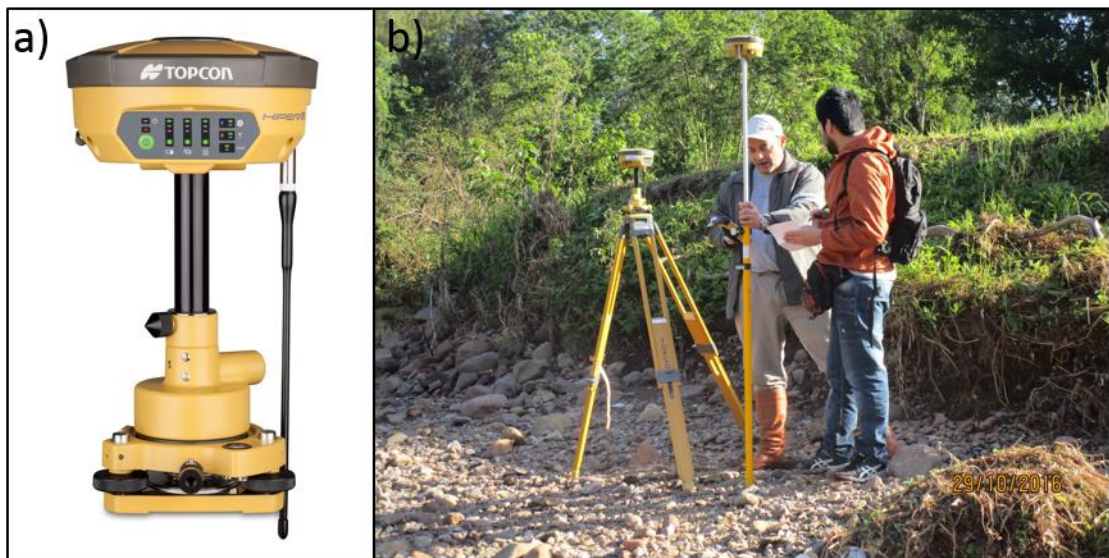


Figura 17 – Levantamento topográfico. a) Fotografia do equipamento (Hiper v Receiver) b) Utilização em campo.

O levantamento topobatimétrico do canal foi realizado considerando algumas características geomorfológicas do mesmo canal, como mudanças de declividade, curvaturas do rio, acessibilidade no local, entre outras (Veiga et al., 2012). Desta maneira, foram definidas 10 seções de medição, distribuídas em todo o canal.

A técnica utilizada no levantamento em campo dos perfis transversais do rio realizou-se através de um nivelamento geométrico (NG). O NG é a operação que visa a determinação do desnível entre dois pontos a partir da leitura em miras efetuadas com níveis ópticos ou digitais. Os níveis são equipamentos que permitem definir com precisão um plano horizontal ortogonal à vertical definida pelo eixo principal do

equipamento. A execução da medição nem sempre é rápida e simples, depende das condições topográficas e da vegetação do local de estudo. A Figura 18 mostra o equipamento utilizado neste estudo.

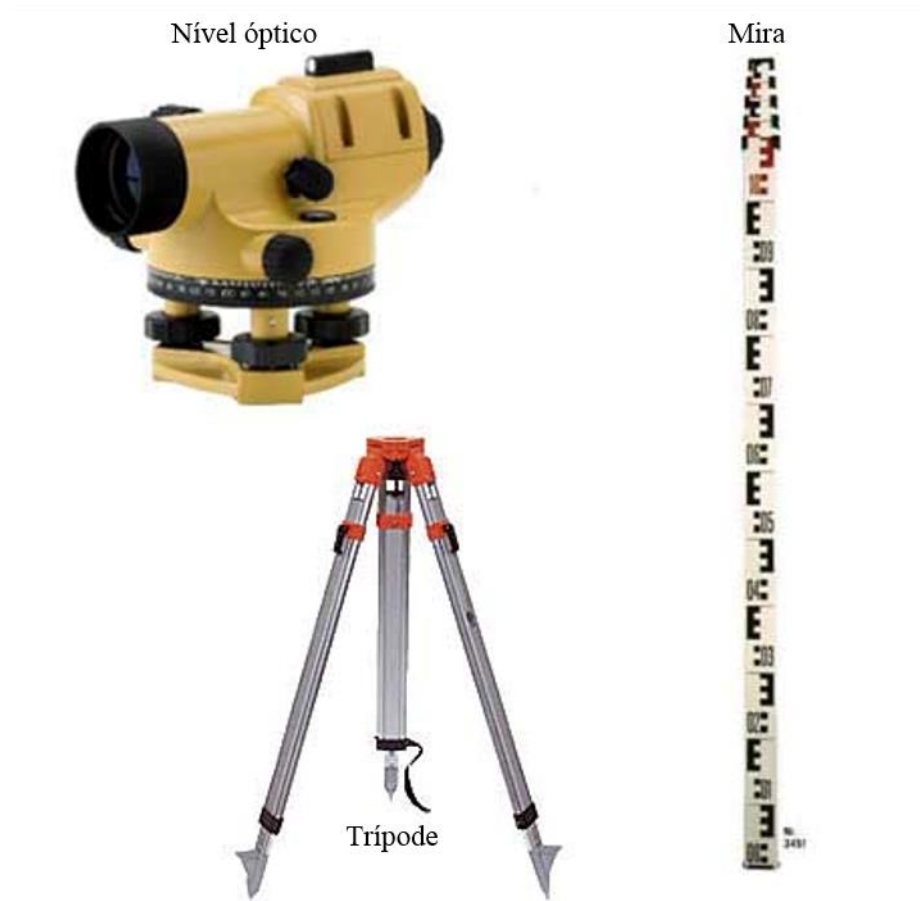


Figura 18 - Nível geométrico.

A partir das medições realizadas e, considerando o MDE inicial, criou-se um novo MDE da área inundável como condição de contorno para as simulações hidrodinâmicas. Para isto, primeiramente realizou-se uma interpolação linear das seções medidas no modelo HEC-RAS, a fim de representar todo o canal a ser simulado. Desta maneira, junto com o levantamento dos pontos cotados, e utilizando uma ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi gerado um novo *Raster*, permitindo assim, representar um MDE com as condições reais, tanto do canal como da planície.

3.4 Aplicação do modelo de evolução da paisagem (LEM)

O modelo utilizado foi CAESAR – LISFLOOD, que é um modelo de evolução da paisagem que simula o desenvolvimento da morfologia a partir da propagação do escoamento superficial e o transporte de sedimentos. O modelo trabalha em um ambiente *raster*, avaliando as mudanças de elevações de cada célula através da erosão e deposição dos processos fluviais e de encosta (Coulthard et al., 2002). Para isto, o modelo integra quatro processos diferentes: hidrológico, hidrodinâmico, erosão e deposição fluvial e processos de encosta.

Neste trabalho, foram avaliados somente os processos hidrológicos e hidrodinâmicos inseridos no modelo de evolução da paisagem, sendo os necessários para atingir o objetivo.

3.4.1 Aplicação modelo hidrológico

Para tratar os processos hidrológicos o modelo CAESAR – LISFLOOD modificou e simplificou o modelo TOPMODEL desenvolvido por (Beven e Kirkby, 1979), inserindo-o no mesmo como parte do cálculo de processos chuva – vazão. O modelo TOPMODEL em sua versão original é um modelo semi-distribuído, que utiliza o conceito de área variável de influência, importante na determinação do déficit de armazenamento. Este déficit de armazenamento é função de um índice de similaridade hidrológica, baseado na topografia e definido a partir do índice médio topográfico λ .

$$\lambda = \ln\left(\frac{a_i}{\tan \beta_i}\right) \quad [7]$$

onde a_i é a área acumulada por unidade de contorno para cada célula i ; e β_i é a declividade de cada célula. O déficit de armazenamento S_i para cada célula com mesma similaridade hidrológica é estimado por:

$$S_i = S + m (\lambda - \lambda_i) \quad [8]$$

onde S é o déficit médio de armazenamento para toda a bacia; λ_i é o índice topográfico local; e m é o parâmetro associado ao decaimento da curva de recessão do hidrograma da bacia. Quando o déficit médio de armazenamento é igual a zero, a vazão superficial pode ser definida:

$$Q_s = A \cdot T_o \cdot e^{-\lambda} \quad [9]$$

onde A é área total da bacia; e T_o é a transmissividade do perfil do solo que é função da condutividade hidráulica saturada do solo, e a taxa de decaimento da condutividade. Desta forma, o escoamento subsuperficial, em função do déficit médio de saturação da bacia, é dado por:

$$Q_b = Q_s \cdot e^{\left(\frac{-S}{m}\right)} \quad [10]$$

No primeiro passo de tempo da simulação o déficit médio de armazenamento é estimado por:

$$S_{t=0} = -m \cdot \ln\left(\frac{Q_o}{Q_s}\right) \quad [11]$$

onde Q_o é a vazão observada no instante $t = 0$. Além disso, para cada passo de tempo, o déficit de armazenamento é utilizado:

$$S_t = S_{t-1} + \left[\frac{Qb_{t-1} - Qv_{t-1}}{A} \right] \quad [12]$$

onde S_t é o déficit no tempo atual t ; S_{t-1} é o déficit no tempo anterior $t - 1$; Qb_{t-1} é a vazão subsuperficial no tempo anterior; e Qv_{t-1} é a vazão de recarga no tempo anterior.

Depois de calculada a vazão, a propagação do escoamento é estimada a partir de uma variação do método Tempo-Área (Clark, 1945), de tal forma que relacione dinamicamente o tempo de resposta do escoamento ao tamanho da área de contribuição (Beven e Kirkby, 1979). Sendo o tempo de um determinado ponto até o exutório da bacia definido por:

$$t_c = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{R_v \cdot \tan \beta_i} \quad [13]$$

onde t_c é o tempo de concentração de uma determinada área da bacia hidrográfica; R_v é um parâmetro de velocidade; e X_i é o comprimento do caminho de fluxo de plano a partir de uma célula i para a saída da bacia.

A modificação do modelo TOPMODEL inserido em CAESAR - LISFLOOD, permite estimar a geração de vazão pela combinação entre o escoamento superficial e subsuperficial (Q_{total}) em cada célula.

$$Q_{total} = \frac{m}{T} \log \left(\frac{(r - j_t) + j_t \cdot \exp \left(\frac{r \cdot \Delta t}{m} \right)}{r} \right) \quad [14]$$

onde Δt é o intervalo de tempo; r é a taxa de precipitação; e m é o parâmetro derivado da curva de recessão do hidrograma, que controla o aumento ou diminuição da umidade do solo j_t , estimada através do valor de j_t na iteração anterior j_{t-1} :

$$j_t = \frac{r}{\left[\frac{r - j_{t-1}}{j_{t-1}} \exp \left(\left(\frac{0 - r}{m} \right) + 1 \right) \right]} \quad [15]$$

Quando $r = 0$, ou seja, caso não haja precipitação, o escoamento é estimado por:

$$Q_{total} = \frac{m}{T} \log \left(1 + \frac{j_t \cdot \Delta t}{m} \right) \quad [16]$$

sendo:

$$j_t = \frac{j_{t-1}}{1 + \left(\frac{j_{t-1} \cdot \Delta t}{m} \right)} \quad [17]$$

Depois de estimado o escoamento total, este é multiplicado pelo tamanho da célula para se obter as descargas oriundas de cada célula. Além disso, o modelo TOPMODEL acoplado ao CAESAR – LISFLOOD depende diretamente do parâmetro m , que controla o pico e duração do hidrograma gerado por um evento de chuva.

3.4.2 Modelo hidrodinâmico

Para propagação do escoamento, CAESAR – LISFLOOD utiliza o modelo inercial bidimensional LISFLOOD-FP (Bates et al., 2010). Para calcular o fluxo Q em todas as direções entre as células, o modelo utiliza uma formulação derivada a partir da equação de momento, na forma unidimensional, das equações de Saint Venant. Esta formulação é então aplicada nas duas direções horizontais a fim de simular o escoamento em duas dimensões sobre o *raster*.

$$Q = \frac{q - g \cdot h_t \cdot \Delta t \cdot \frac{\Delta(h+z)}{\Delta x}}{(1 + g \cdot h_t \cdot \Delta t \cdot n^2 \cdot |q| / h_t^{10/3})} \Delta x \quad [18]$$

onde q é o fluxo entre as células na iteração anterior; g é a aceleração gravitacional; n é o coeficiente de rugosidade de Manning; h é a profundidade da água; z é a elevação; h_t é a profundidade máxima de fluxo entre as células; Δx é a largura da célula; e Δt é o tempo.

Uma vez calculados os fluxos nas quatro direções da célula, estima-se a profundidade da água h , a partir da discretização da equação de conservação de massa.

$$\frac{\Delta h^{i,j}}{\Delta t} = \frac{Q_x^{i-1,j} - Q_x^{i,j} + Q_y^{i,j-1} - Q_y^{i,j}}{\Delta x^2} \quad [19]$$

onde i e j são as coordenadas da célula; e Δt é o intervalo de tempo adequado para o modelo, que é controlado pela condição de Courant Freidrichs Lewy, para garantir uma simulação estável para a maioria das situações de fluxo, assegurando assim maior estabilidade numérica do modelo.

3.5 Mapeamento de perigo de inundações

O mapeamento de perigo é o produto final deste trabalho, assim foi necessário primeiramente determinar o índice de perigo, conforme Stephenson (2002). Este índice permite quantificar o tipo de perigo relacionado diretamente a seu potencial destrutivo, em função da profundidade e a velocidade da água (Equação 20).

$$IP = h \cdot v \quad [20]$$

onde h é a profundidade da água (m); e v é a velocidade do escoamento em ($m \cdot s^{-1}$). Desta forma, propôs diferentes tipos de perigo. A Figura 19 mostra o índice de perigo associado à profundidade e velocidade do escoamento.

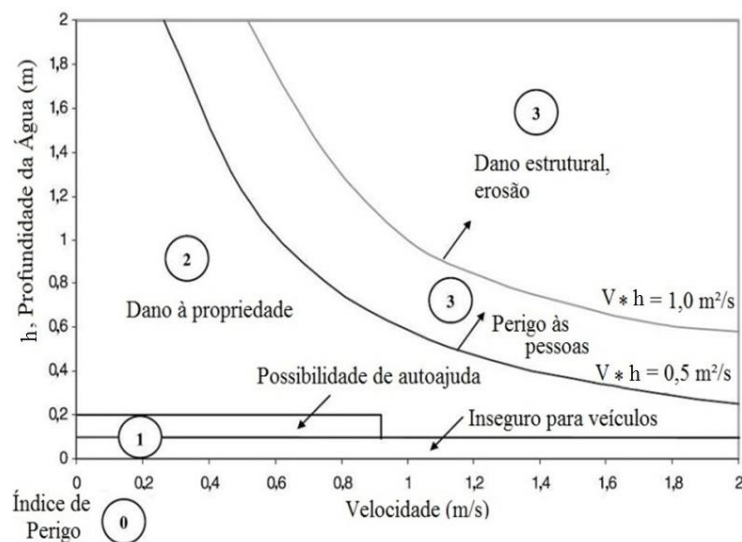


Figura 19 - Índices de perigo associado à profundidade e velocidade do escoamento. Adaptado de Stephenson et al. (2002)

Contudo, considerando que eventos de maior magnitude, ou seja, maior profundidade e velocidade do escoamento, ocorrem com menor frequência e que eventos de menor magnitude são mais frequentes, mas possuem um menor potencial destrutivo, o mapa de perigo de inundação envolve a intensidade e o período de retorno dos diversos mapas de inundações. Para isto, Prevene (2001) propôs uma caracterização do mapa de perigo de inundação a partir da definição de diferentes níveis de perigo que variam com o tempo de retorno e a intensidade (Figura 20). A Tabela 9 mostra a

definição dos diferentes níveis de perigo de inundação. Meteorológicas. Pluviométricas. Fluviométrica. Hidrografia. Limite municipal.

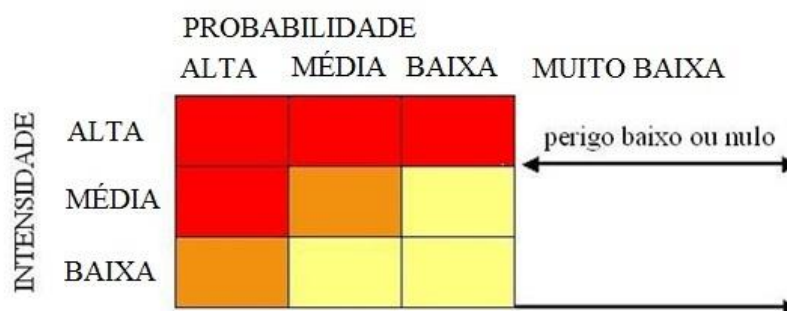


Figura 20 - Diferentes tipos de níveis de perigo associados a um período de retorno e a intensidade. Adaptado de Prevene (2001).

Tabela 9 - Níveis de perigo de inundação

Perigo	Cor de referência no mapa	Descrição
Alto	Vermelho	As pessoas estão em perigo, tanto dentro quanto fora de suas casas. As construções estão em alta possibilidade de serem destruídas.
Médio	Laranja	As pessoas correm possibilidade de fatalidades fora de suas casas. Construções talvez sofram danos e podem ser destruídas.
Baixo	Amarelo	A possibilidade de fatalidades é baixa ou inexistente. Construções podem sofrer danos.

Fonte: Adaptado de Prevene (2001).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS e DISCUSSÕES

4.1 Parâmetros obtidos e medidos

4.1.1 Dados hidrológicos

A fim de criar as curvas IDF, primeiramente criou-se uma única série história de precipitações referente (PR) à bacia de estudo com as estações pluviométricas citadas no capítulo anterior através do método de Thiessen. A Figura 21 mostra a série distribuída para toda a bacia do arroio Forromeco.

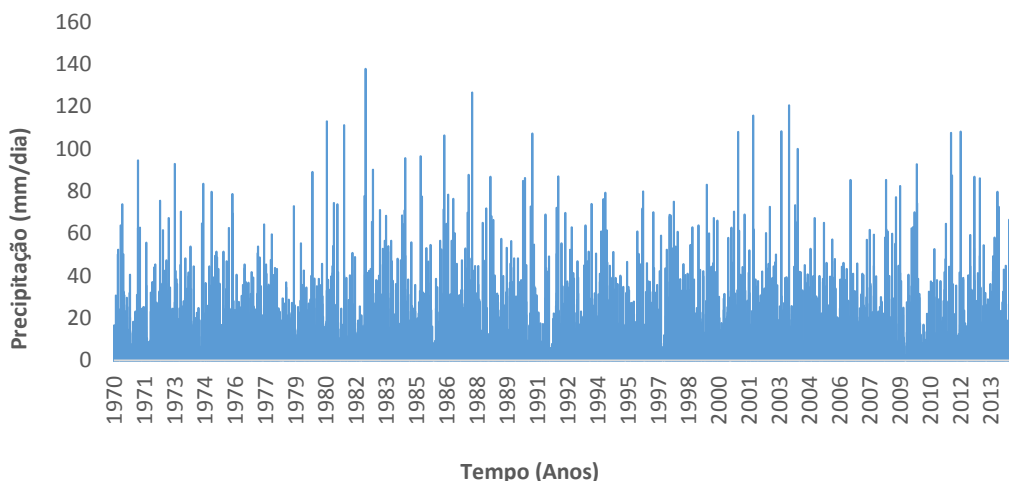


Figura 21 - Série de precipitação diária referente à bacia do arroio Forromeco.

Nesta série observa-se a ocorrência de picos diários próximos de 140 mm/dia. A chuva média de longo período é de aproximadamente 4,6 mm/dia e apresenta um comportamento estacionário para toda a série. Como relatado anteriormente, o principal evento de inundação que ocorreu na área de estudo foi no ano 1982. Neste evento a chuva diária acumulada para esta série foi de 137 mm/dia respectivamente.

4.1.2 Dados topográficos

Os resultados do levantamento de campo estão apresentados na Figura 22. Aqui estão localizados os pontos levantados com o GPS da área inundada do evento ocorrido em junho de 1982, as seções transversais, e os pontos cotados na área inundável.

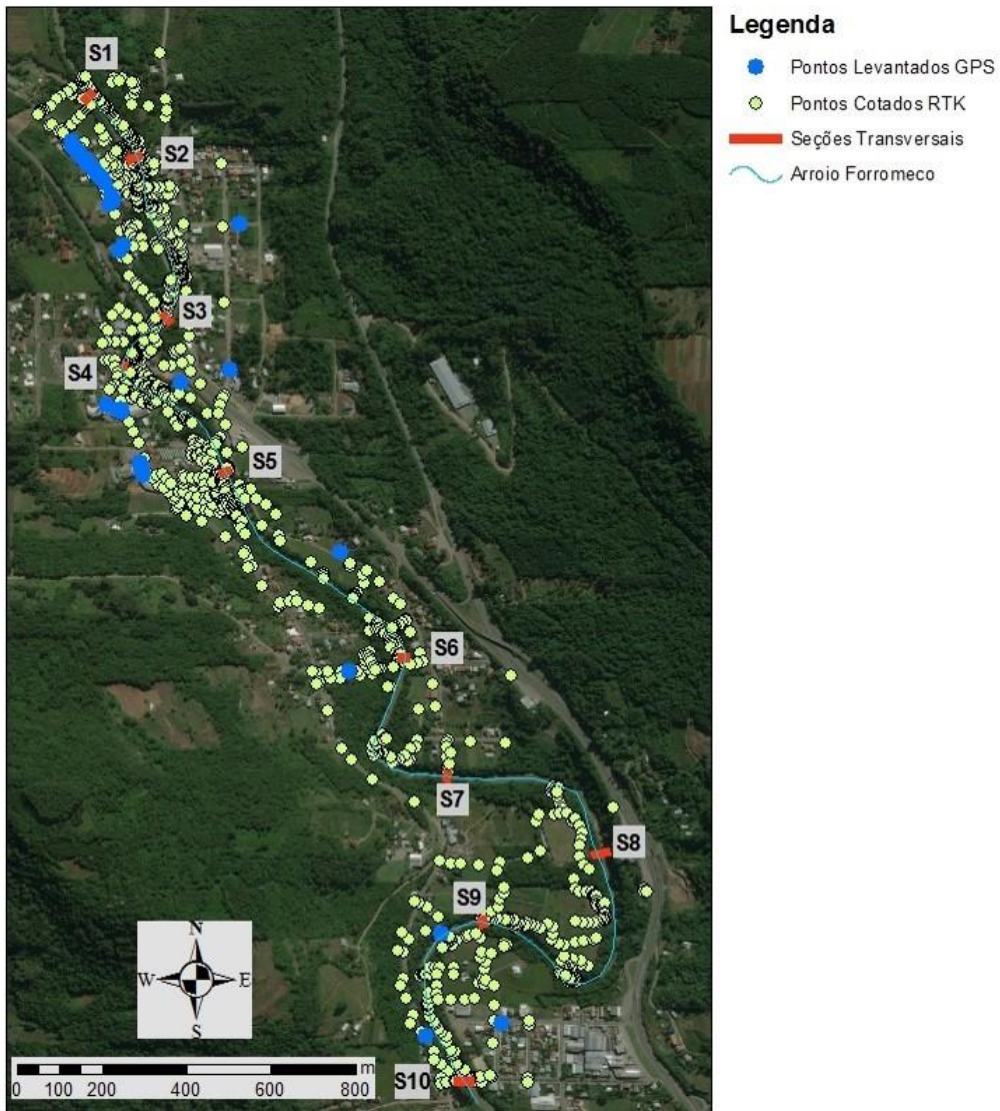


Figura 22 - Localização do levantamento topográfico.

No total foram levantadas 10 seções transversais (Figura 23), e 1331 pontos cotados, distribuídos em toda a área inundável. Na Tabela A1 do Anexo 1, estão descritos todos os dados de altitude referentes aos pontos cotados.

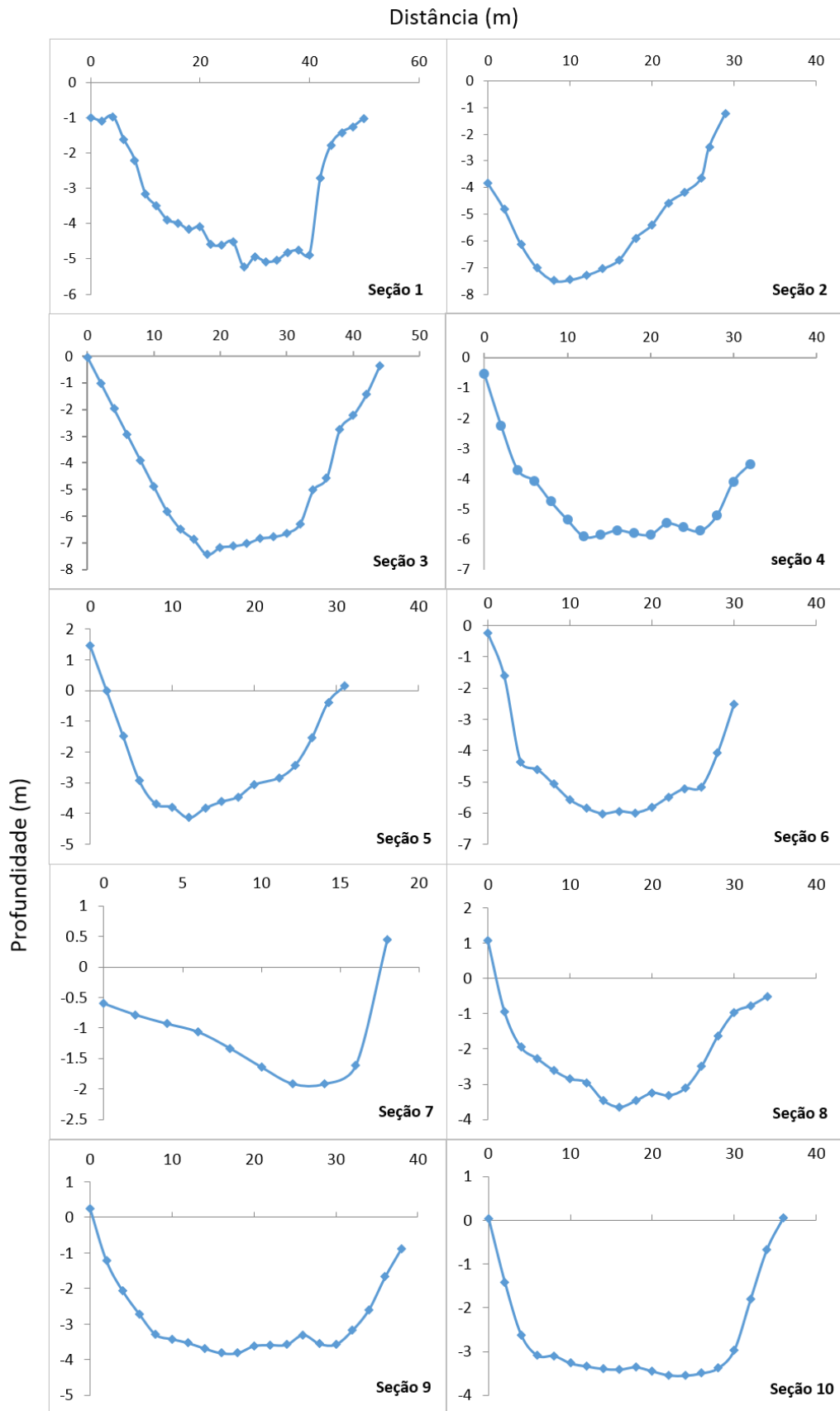


Figura 23 - Levantamento da topobatimetria de 10 seções referentes ao trecho da área inundável.

Para aplicação do modelo hidrodinâmico foi necessário gerar MDE de entrada que represente as condições topográficas do canal e da planície de inundação. Para isto, a partir do levantamento das seções e aplicando interpolação linear com ajuda das ferramentas de geometria do modelo HEC-RAS, definiu-se a batimetria detalhada para todo o canal a ser simulado. Desta maneira, junto com os pontos cotados, criou-se o MDT final. O resultado foi um MDT da área inundável com resolução de 5 m (Figura 24).

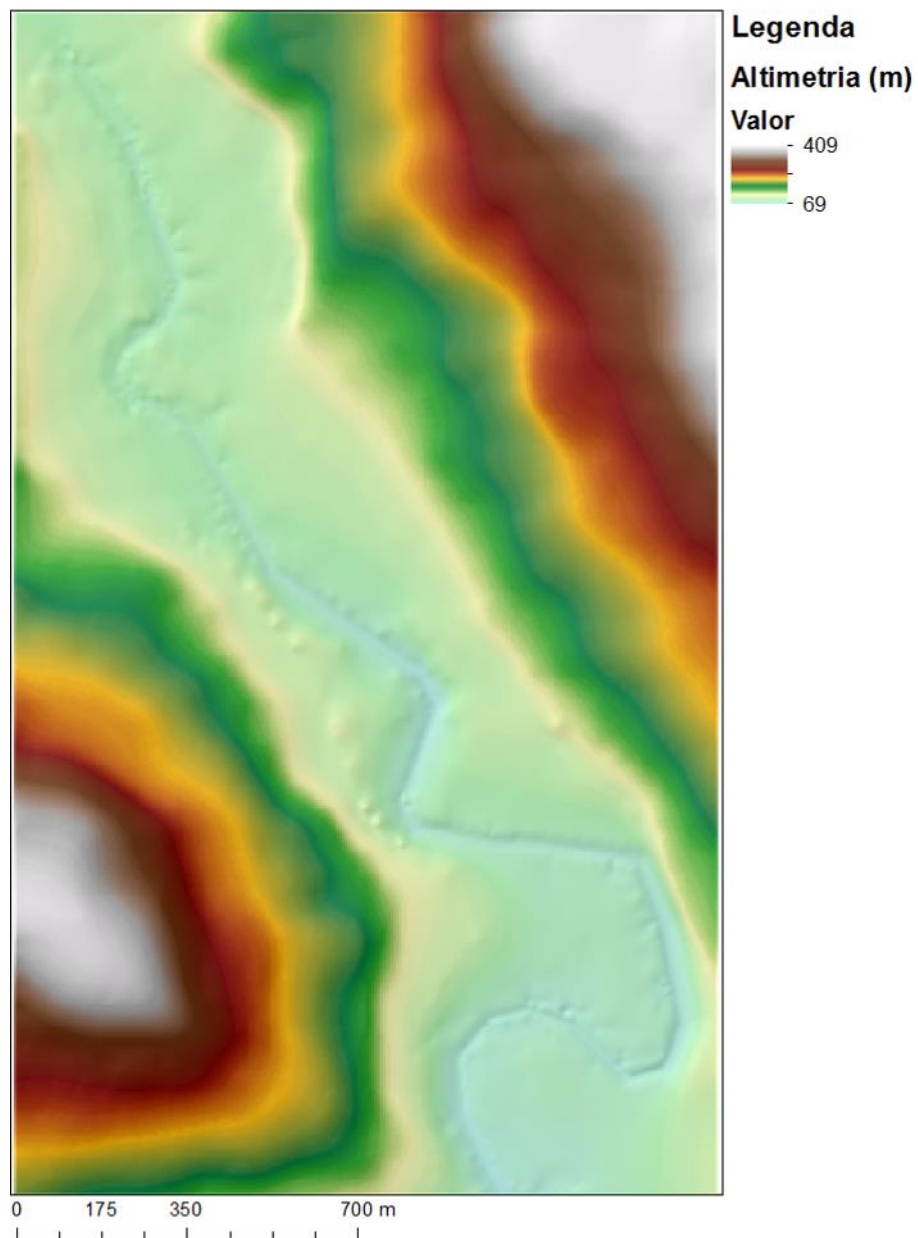


Figura 24 - Modelo digital de elevação da área inundável.

O canal conta com um comprimento de 3,76 km, largura média de 33 m, e uma profundidade média de 6 m, aproximadamente. Além disso, sua altimetria da área inundável varia entre 69 e 409 m.

4.1.3 Curvas IDF

A equação das curvas de intensidade, duração e frequência (IDF) foi gerada a partir dos registros da série histórica de precipitações máximas através das três estações pluviométricas referentes à bacia de estudo. Desta forma, realizou-se uma análise de frequências para obter as precipitações máximas prováveis em 24 horas de duração associadas a diferentes tempos de retorno (2, 5, 10, 25, 50, e 100 anos). Para esta análise utilizou-se a distribuição de probabilidade de Gumbel. Posteriormente realizou-se o cálculo da precipitação máxima para diferentes tempos de duração, a partir das relações entre precipitações de diferentes durações elaboradas para o interior do estado de Santa Catarina (Back et al., 2012), considerando que existe similaridade entre esta região e a Serra Gaúcha. Os coeficientes utilizados estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 - Relações médias entre as precipitações de diferentes durações em SC.

Relação	1h/ 24h	2h/ 24h	3h/ 24h	4h/ 24h	5h/ 24h	6h/ 24h	7h/ 24h	8h/ 24h	10h/ 24h	12h/ 24h	14h/ 24h	16h/ 24h	18h/ 24h	20h/ 24h	22h/ 24h
SC Interior	0,38	0,49	0,54	0,58	0,61	0,63	0,66	0,68	0,73	0,78	0,81	0,85	0,89	0,93	0,97

Contudo, o cálculo das intensidades foi estimado, sendo que este está associado à precipitação máxima, tempo de duração e frequência das mesmas intensidades da chuva (Tabela 11).

Tabela 11 - Intensidades a partir da precipitação máxima e tempo de duração.

Tempo de duração		Intensidade da chuva (mm /h) a partir do período de retorno					
Horas	Minutos	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
24	1440	4,6	5,6	6,2	7,1	7,7	8,4
22	1320	4,1	5,0	5,6	6,4	6,9	7,5
20	1200	4,3	5,3	5,9	6,7	7,3	7,9
18	1080	4,6	5,6	6,3	7,1	7,8	8,4
16	960	4,9	6,0	6,8	7,7	8,4	9,0
14	840	5,4	6,6	7,4	8,4	9,1	9,8
12	720	6,0	7,4	8,3	9,4	10,2	11,0
10	600	6,8	8,3	9,3	10,5	11,5	12,4
8	480	7,9	9,6	10,8	12,3	13,4	14,4
7	420	8,7	10,7	12,0	13,6	14,8	16,0
6	360	9,7	11,9	13,3	15,2	16,5	17,8
5	300	11,3	13,8	15,5	17,6	19,2	20,7
4	240	13,4	16,4	18,4	20,9	22,8	24,6
3	180	16,7	20,4	22,9	26,0	28,3	30,6
2	120	22,7	27,8	31,1	35,4	38,5	41,6
1	60	35,2	43,1	48,3	54,9	59,8	64,6

A partir da análise estatística das precipitações máximas, foram geradas as curvas IDF que, por sua vez, podem ser representadas graficamente ou por meio de uma equação empírica. O modelo proposto por Bernard (1932) foi o utilizado nesta análise. Isto é:

$$I = \frac{k \cdot Tr^j}{D^w} \quad [21]$$

onde I é a intensidade da precipitação em mm.h^{-1} ; Tr é o período de retorno em anos; D é a duração da precipitação em minutos; e k, j e w são constantes, calculadas a partir de um análise de regressão. A equação 22 representa a equação de chuvas intensas para a bacia do arroio Forromeco.

$$I = \frac{583,68 \cdot T^{0,136}}{D^{0,695}} \quad [22]$$

Essa equação é apresentada graficamente na Figura 25.

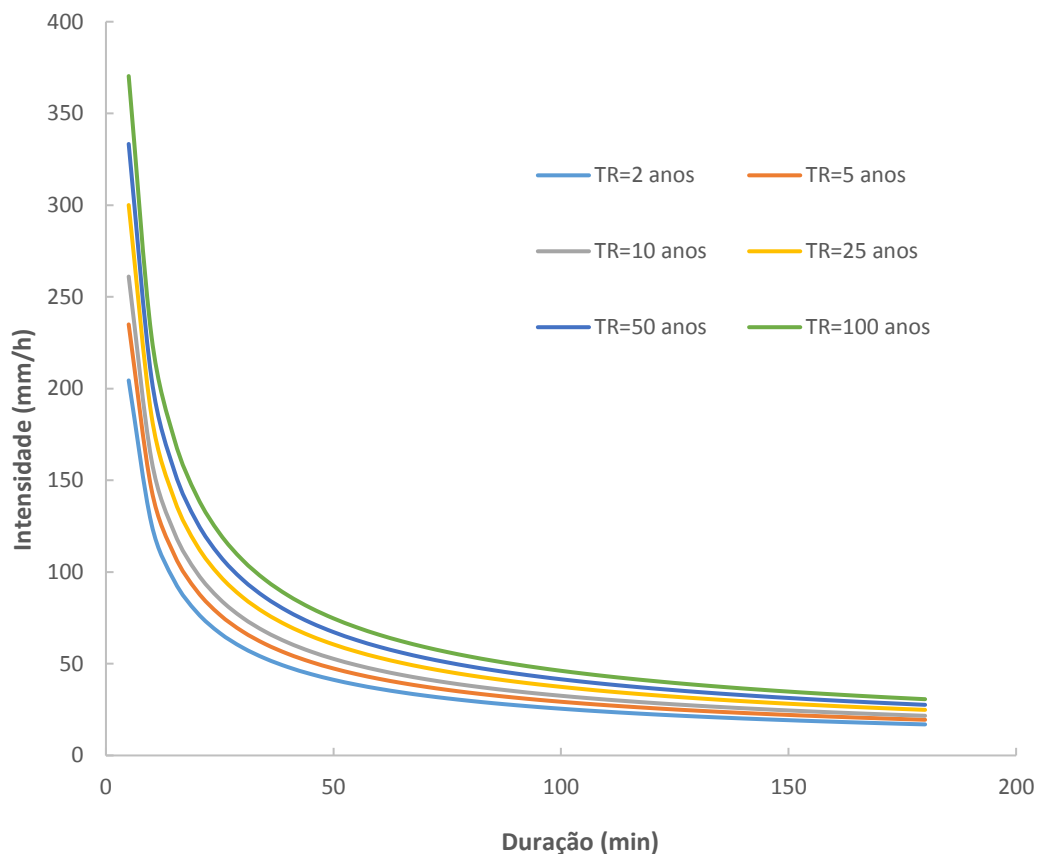


Figura 25 - Curvas IDF para a bacia do arroio Forromeco.

A equação de chuvas intensas determinada neste trabalho apresentou bons ajustes, com coeficientes de determinação maiores de 99%. O coeficiente final da regressão na geração foi estimado em ($R^2 = 0,983$).

4.2 Simulações Hidrogeomorfológicas.

Para simulação dos processos hidrológicos na bacia de estudo, foi aplicado o modelo chuva-vazão TOPMODEL acoplado ao modelo CAESAR-LISFLOOD. Para isto, inicialmente realizou-se a calibração do modelo através de análises estatística da comparação de dados observados de vazões, a fim de avaliar os resultados do modelo. Desta forma, se procede na realização das simulações hidrológicas dos eventos de chuva associados a diferentes tempos de retorno, e o escoamento gerado será a condição de contorno das simulações hidrodinâmicas através do modelo LISFLOOD-FP acoplado ao modelo CAESAR-LISFLOOD no trecho do rio escolhido, no qual será desenvolvido o mapeamento de perigo de inundações.

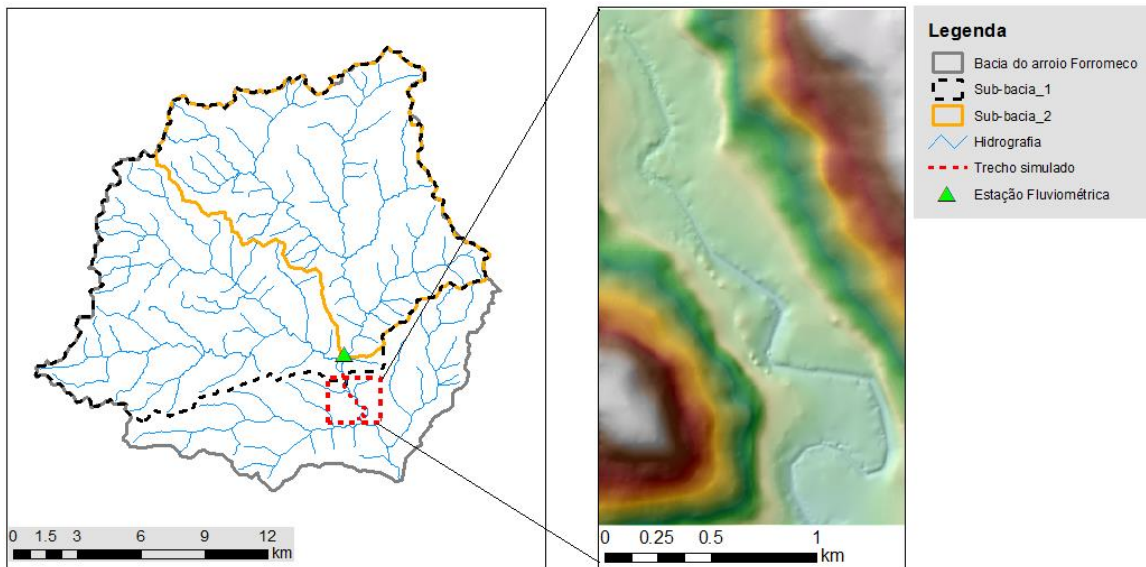


Figura 26 - Mapa de localização das sub-bacias e o trecho de rio utilizado nas diferentes simulações hidrogeomorfológicas.

4.2.1 Simulação hidrológica

4.2.1.1 Calibração hidrológica.

Para a calibração do modelo hidrológico TOPMODEL, foram utilizados como dados de entrada o modelo digital de elevação, uma série de chuva horária, a evapotranspiração real média e dados observados de vazão. O MDE utilizado para esta etapa foi da sub-bacia 2 dentro da bacia de estudo (Figura 26), na qual existia uma série de dados observados de vazão. A série de chuva horária utilizada saiu da transformação da série de precipitação diária de referência (PR) em horária através das relações entre precipitações de diferentes durações (Back et al., 2012).

Para o cálculo da evapotranspiração real (ETR), realizou-se o cálculo da evapotranspiração potencial e de um coeficiente. O coeficiente foi estabelecido a partir da relação entre a evaporação real anual, calculado pela diferença entre a chuva e a vazão anual medidas, e a evaporação anual, estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO a partir do modelo “*The ETo Calculator*” (FAO, 2009). Este foi o modelo escolhido, pois é considerado um dos modelos mais apropriados para esta estimativa (Carvalho et al., 2011), principalmente considerando os dados existentes.

Como dados de entrada deste modelo foram adotados dados diários de temperatura máxima e mínima, umidade relativa, velocidade do vento e insolação solar. No entanto, considerando que dentro da bacia não existem estações meteorológicas para a obtenção destes dados, optou-se por utilizar estações próximas da bacia. Para cada estação meteorológica (83941 e 83942) foi realizada uma análise de correlação das chuvas frente à série de precipitação de referência (PR) para o período de 01/01/2006 a 31/12/2009, a fim de escolher a estação que mais se ajustasse. Na Figura 27 mostra-se a correlação das chuvas.

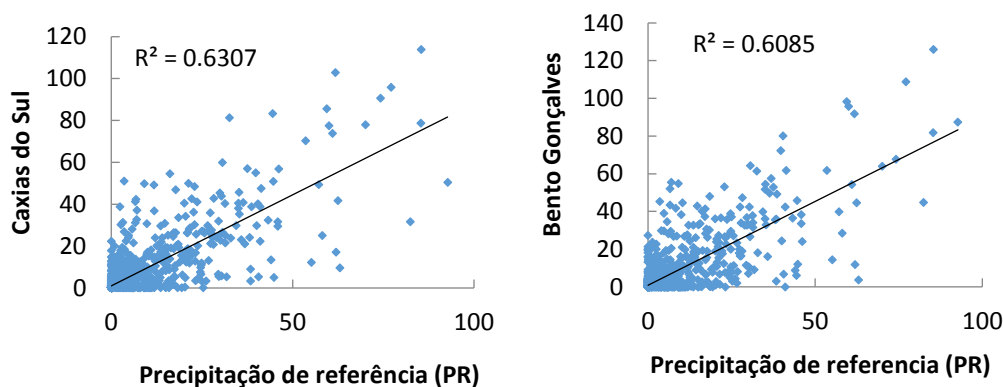


Figura 27 - Correlação de chuvas das estações Bento Gonçalves (83941), e Caxias do Sul (83942), frente a chuva de referência da bacia (PR).

Os dados da estação 83942 mostraram uma maior correlação, com um $R^2=0,63$. Desta forma, foi gerada uma série diária de evapotranspiração potencial. A Figura 28 mostra os resultados de ETP para o período analisado.

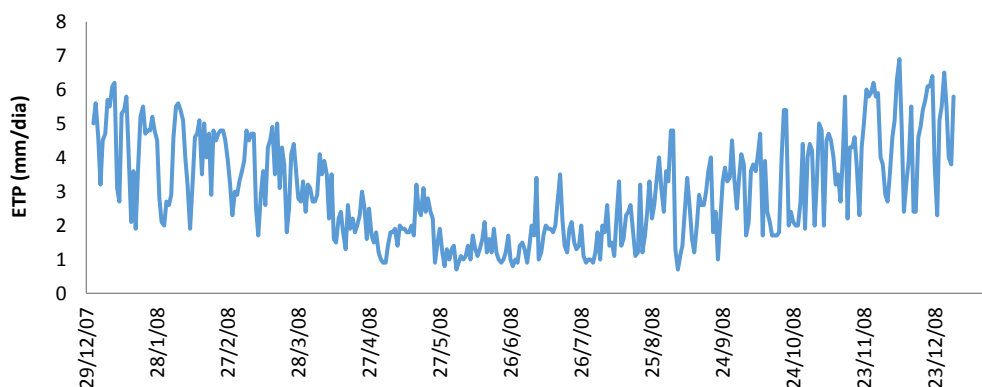


Figura 28 - Evapotranspiração potencial diária pelo método de Pennam-Monteith (FAO).

A evapotranspiração potencial diária acumulada para o ano 2008 foi de 1094 mm. A evapotranspiração real (ETR) da bacia foi calculada a partir do balanço hídrico, considerando a chuva e a vazão observada acumuladas para o mesmo período. A relação entre ETR e ETP deu origem a um coeficiente igual a 0,86. Este valor foi utilizado para calcular a ETR final, obtendo como resultado uma média igual a 2,67 mm/dia, sendo este valor utilizado como parâmetro de entrada para o modelo hidrológico.

Outro dado de entrada utilizado na calibração do modelo foi a vazão observada. No presente trabalho, foi utilizada a série de vazões da estação 87181000, onde realizaram-se as simulações em um período igual ao da série de chuvas. Assim, alterando o parâmetro m em uma faixa de 0,005 a 0,035, buscou-se o ajuste entre os dados observados e calculados. Valores baixos de m ocasionaram picos de vazão mais altos, enquanto valores altos reduziram os picos. Além disso, considerou-se o período inicial, entre 01/01 a 19/05, como período de aquecimento do modelo ou condição inicial.

Após diversas simulações um valor de $m=0,025$ foi adotado, onde se obtiveram os melhores ajustes, conseguindo com que as vazões máximas simuladas e observadas fossem ajustadas (40,07 e 39,65 m³/s, respectivamente), bem como os demais picos do hidrograma. Na Figura 29 mostra-se o ajuste dos dados observados e calculados de vazão.

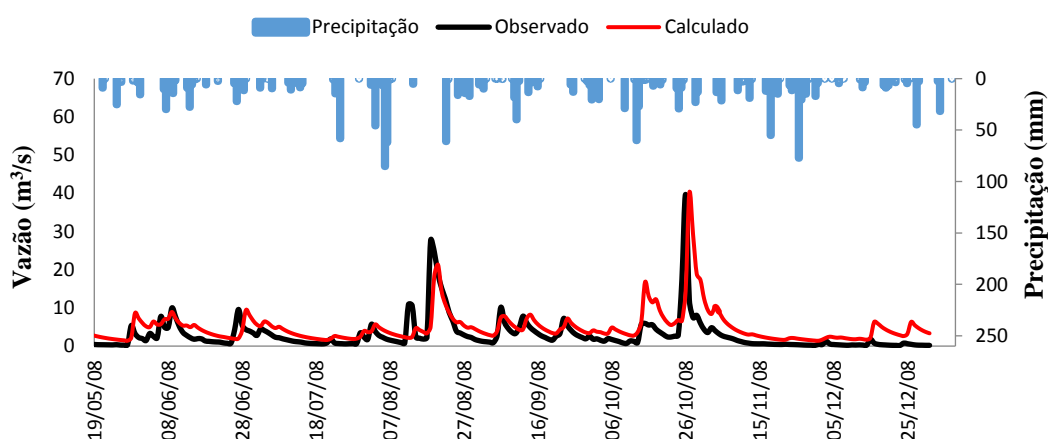


Figura 29 - Calibração do modelo hidrológico TOPMODEL inserido no CAESAR-LISFLOOD.

Os eventos de menor magnitude não foram bem representados pelo modelo, porém os hidrogramas calculados conservaram um formato semelhante aos observados. Fora dos eventos de maior magnitude, os valores calculados quase sempre ficaram acima dos valores observados. O resultado da simulação pode ter apresentado uma razoável eficiência ($R=0,57$) devido à simplicidade do modelo TOPMODEL inserido em CAESAR-LISFLOOD e à escassez de dados hidrometeorológicos.

4.2.1.2 Determinação do pico do hietograma

Monteiro e Kobiyama (2014) afirmaram que, em quanto mais tardar o pico do hietograma em ocorrer, maior será a vazão de pico que este fornecerá e consequentemente maior será sua abrangência na inundação. Considerando esse resultado, o presente trabalho avaliou a teoria modificando o pico do hietograma a 25% e 75% da duração total.

Estes hietogramas foram estimados a partir do evento extremo de junho de 1982. A Figura 30 mostra os hietogramas para as duas hipóteses.

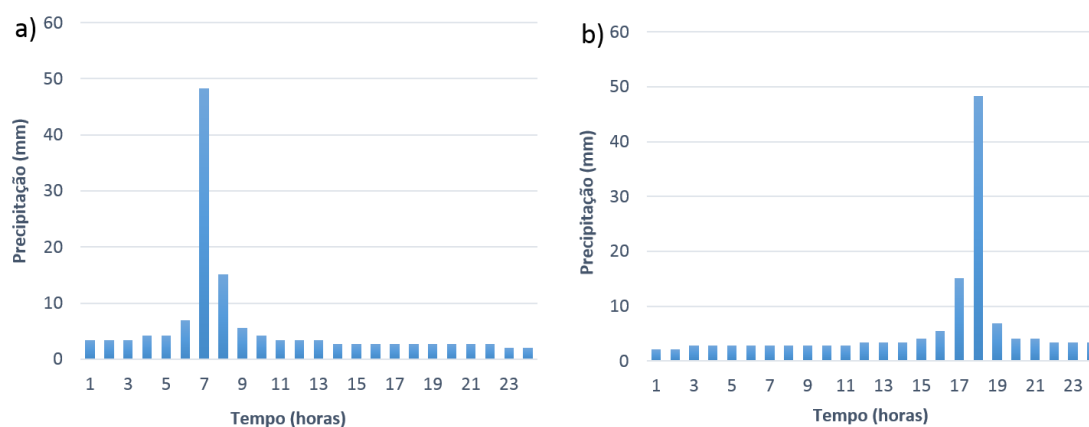


Figura 30 - Hietogramas do maior evento (Ano 1982): a) O pico está a 25% da duração total b) O pico está a 75% da duração total.

Assim, foram feitas as simulações para as duas hipóteses. Após as simulações verificou-se que o pico do hietograma a 75% da duração total gerou o maior pico de inundação. No entanto, cabe ressaltar que o modelo precisa de um tempo de aquecimento ou condição inicial, pelo que foi necessário simular um período maior do

que o evento, aproximadamente um mês a mais. A Figura 31 mostra os hidrogramas para as diferentes condições.

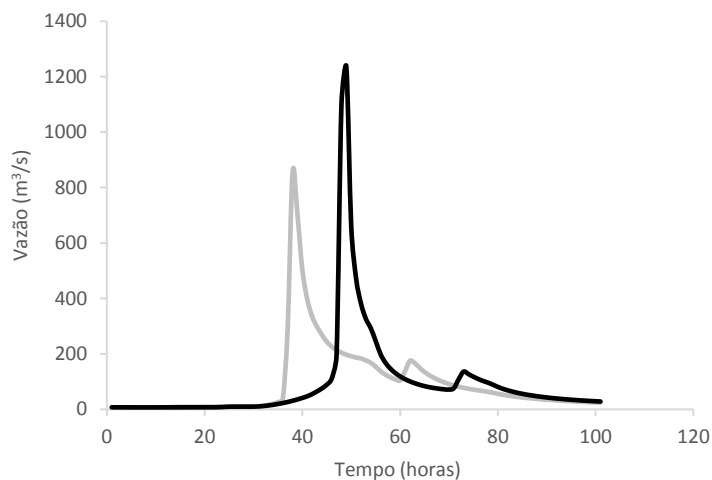


Figura 31 - Hidrogramas para as duas hipóteses.

Desta maneira, pode-se observar que, apesar da diferença nas vazões de pico dos hidrogramas de quase 30%, houve uma boa representação na conservação do volume total escoado.

4.2.1.3 Precipitações de projeto

As precipitações ou hietogramas de projeto são metodologias de representação simplificada da distribuição temporal da precipitação, utilizadas basicamente como entrada em modelos chuva-vazão, para dimensionamento de medidas estruturais (Benfica et al., 2000), ou como é o caso para medidas não estruturais focadas a medidas de prevenção de desastres naturais causados por inundações.

Para o presente estudo, os hietogramas foram obtidos considerando como base o maior evento registrado no município (28/06/1982) de tempo de retorno de 22 anos, e através da aplicação do Método de Blocos Alternados (Tucci, 1995).

O método especifica a profundidade da precipitação que ocorre em diferentes intervalos de tempos sucessivos sobre uma duração total. Isto consiste, já que, uma vez calculada a precipitação desacomulada através das curvas IDF, reorganize-se de tal forma que o maior volume de chuva seja colocado a 25%, 50% ou 75% da duração

total, dependendo da sua aplicação. Os demais volumes são dispostos em ordem alternada, abaixo e acima do maior volume até forma o hietograma.

Desta forma, e considerando a teoria de Monteiro e Kobiyama (2014) que foi validada no item anterior, escolheu-se para esta investigação o pico a 75% da duração total como critério na geração dos hietogramas de projeto.

A Figura 32 mostra os hietogramas associados a diferentes tempos de retorno, a partir da análise de chuvas intensas e aplicando o método Blocos Alternados. Os tempos de retorno escolhidos para aplicação desta metodologia foram 5, 50, 100 e 200 anos.

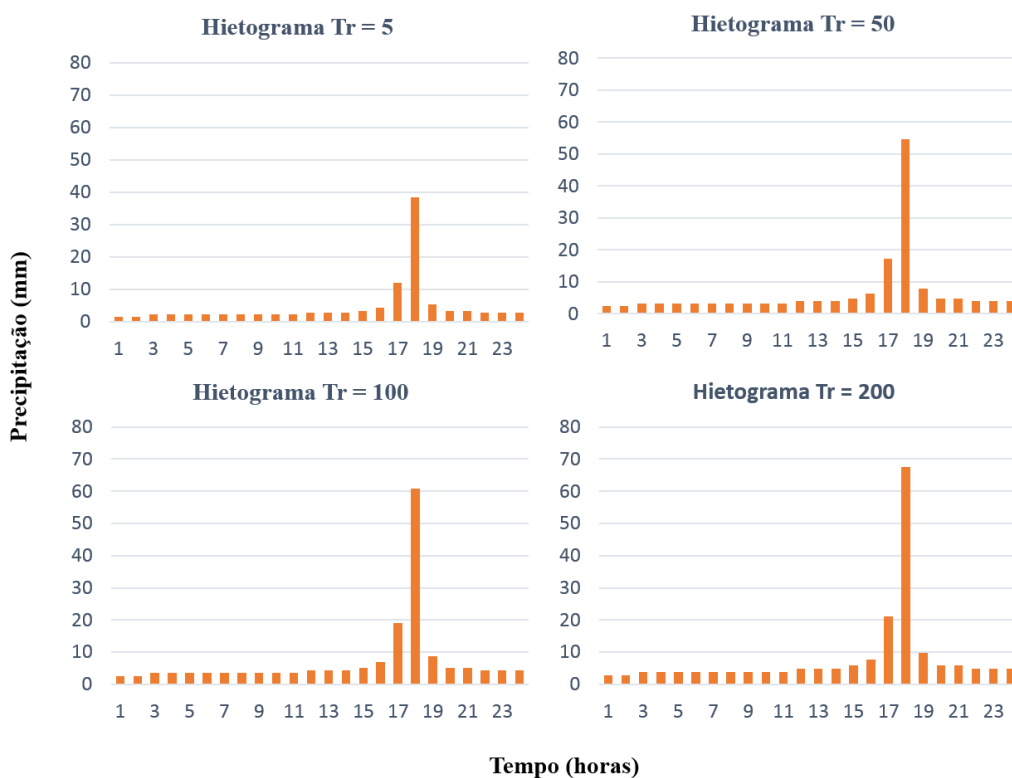


Figura 32 - Hietogramas de projeto para diferentes tempos de retorno.

4.2.1.4 Determinação dos hidrogramas para os diferentes TR's.

Na determinação dos hidrogramas a partir de simulação hidrológica, foram utilizados como dados de entradas os eventos de chuva associados a diferentes tempos

de retorno calculados no item anterior, e o MDE da sub-bacia 1 dentro da área de estudo, cujo exutório fica na convergência entre o arroio Santa Clara e o arroio Forromeco (Figura 26). Além disso, foram considerados os parâmetros calibrados no item 5.2.1.1 e um período inicial de um mês, como período de aquecimento do modelo.

A Figura 33 mostra os resultados dos hidrogramas obtidos nas simulações para as diferentes precipitações de projeto.

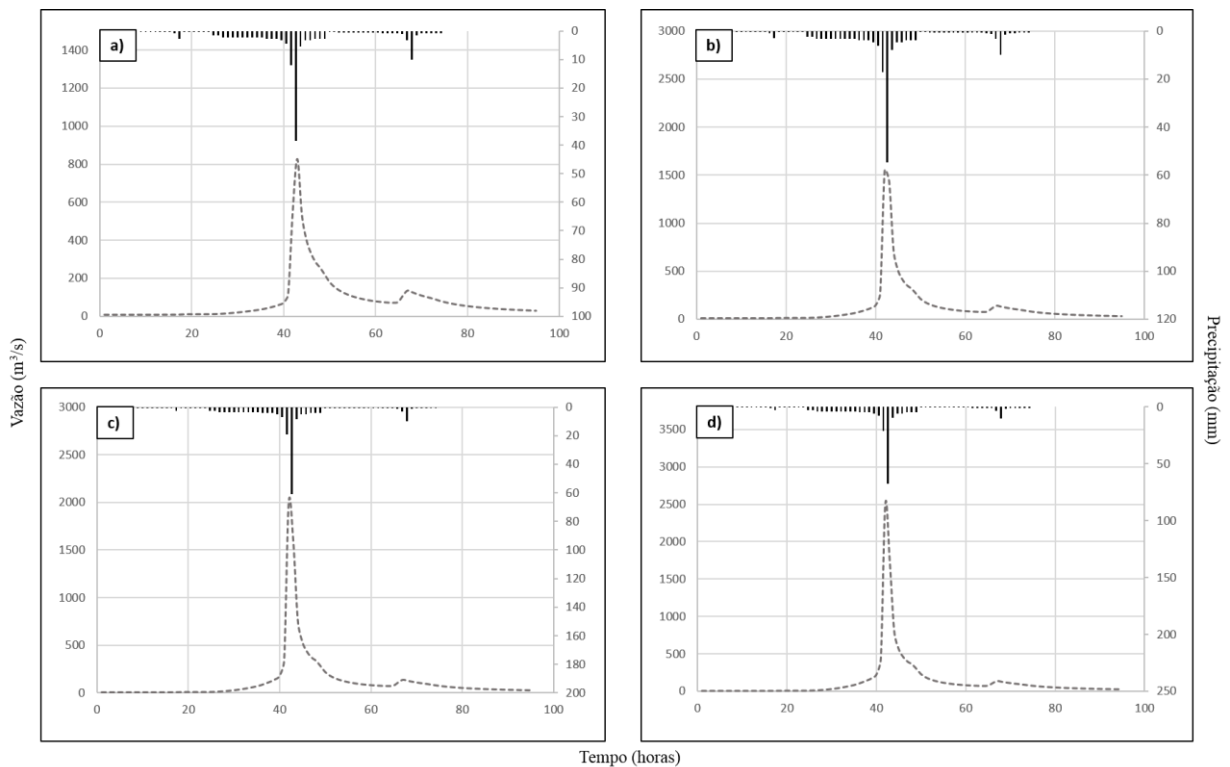


Figura 33 - Hidrogramas associados a diferentes tempos de retorno: a) Tr = 5 anos; b) Tr = 50 anos; c) Tr = 100 anos; e d) Tr = 200 anos.

A partir dos hidrogramas calculados que representam parte dos processos hidrológicos dentro da bacia de estudo, realizou-se uma análise através da comparação do volume total escoado e a vazão de pico dos hidrogramas associados a diferentes tempos de retorno. Além disso, considerou-se a variação dos hidrogramas entre o Tr de 5 anos e o Tr de 100 anos para as duas variáveis (Tabela 12). Observa-se que as diferenças entre Tr=5 anos e Tr=200 anos foram 65% e 203% para o volume total (m³) e a vazão pico (m³/s), respectivamente. No entanto, esta tendência na conservação do

volume total escoado já era esperada, já que os volumes precipitados do período inicial foram iguais, sendo os utilizados como aquecimento do modelo.

Tabela 12 - Comparação dos volumes totais e as vazões de pico.

Tipo	5	50	100	200	Diferença entre Tr5 e Tr200 (%)
Volume total (m³)	27.638.378	37.708.545	41.498.529	45.708.700	65
Vazão pico (m³/s)	826	1545	1998	2507	203

4.2.2 Simulação hidrodinâmica

4.2.2.1 Calibração do modelo hidrodinâmico

A calibração do modelo hidrodinâmico inserido no modelo CAESAR-LISFLOOD foi realizada em termos de extensão das áreas inundadas, a partir dos resultados simulados e observados do evento extremo ocorrido em junho de 1982. Para as simulações foram utilizados como dados de entrada o MDT do canal criado através do levantamento topográfico (Figura 26); os hidrogramas a 25% e 75% da duração total da chuva estimados na modelagem hidrológica, e dados hidráulicos tão como o coeficiente de rugosidade. O valor de coeficiente de rugosidade utilizado foi de 0,04, com base das características do canal apresentadas por Chow (1959).

A Figura 34 apresenta os mapas das áreas inundadas a partir dos resultados das simulações, e os dados do limite da inundação de junho de 1982. Para os resultados das simulações, a inundação está representada em termos da profundidade da água, e para o limite, a partir de pontos cotados.

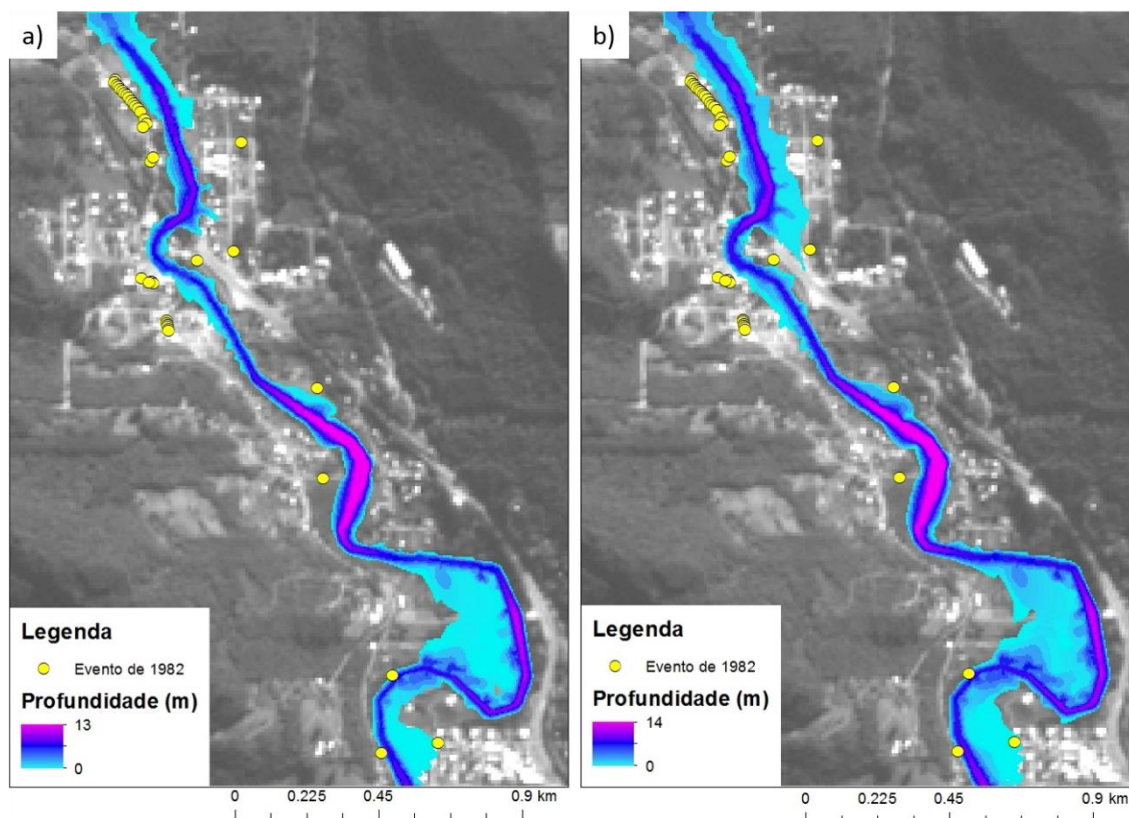


Figura 34 - Mapas de inundação para o evento de Junho de 1982 gerados a partir da modificação do pico da chuva: a) 25% e b) 75% da duração total.

A partir da comparação das simulações com os dados observados, verificou-se que o hidrograma que melhor se ajusta com os dados observados foi o gerado a partir da chuva com o pico a 75% da duração total, com uma área máxima inundável de 0,43 km², enquanto que para a outra foi de 0,36 km², resultando em uma diferença de 20%. Isto permitiu validar mais uma vez o resultado obtido por Monteiro e Kobiyama (2014) que para diferentes distribuições temporais de precipitação, existe uma relevante influência no mapeamento de inundação.

No entanto, embora o hidrograma de 75% da duração total da chuva tenha apresentado o melhor ajuste, houve algumas diferenças em termos de níveis máximos atingidos na simulação e nos dados observados, obtidos no levantamento em campo (Figura 34b). Esta diferença pode ser explicada devido às alterações do terreno ao longo do tempo, conforme o relatado por moradores e o observado em campo.

Mesmo assim, pode-se dizer que o modelo teve um bom desempenho na representação do escoamento no rio e sua interação com a planície de inundação.

4.3 Mapeamento de inundação

O mapeamento de inundação está sempre relacionado a um período de retorno, por tanto, para este estudo foram utilizados tempos de retorno de 5, 22, 50, 100, e 200 anos, considerando como tempo base o evento extremo que causou a maior inundação registrada. Como resultados, o modelo forneceu dados de vazão, profundidades da água, e velocidades em cada pixel do *raster*, tanto no rio como na planície de inundação. Tudo isto, junto com ferramentas de geoprocessamento, foi realizada a criação dos mapas de inundação. As Figuras 38 e 39 mostram os mapas de inundação associados a diferentes tempos de retorno em termos de profundidade e velocidade da água.

Áreas inundáveis aumentam com o tempo de retorno, apresentando um bom ajuste com um R^2 igual a 0,958 (Figura 35). Este resultado já era esperado, considerando as diferenças entres as vazões de pico.

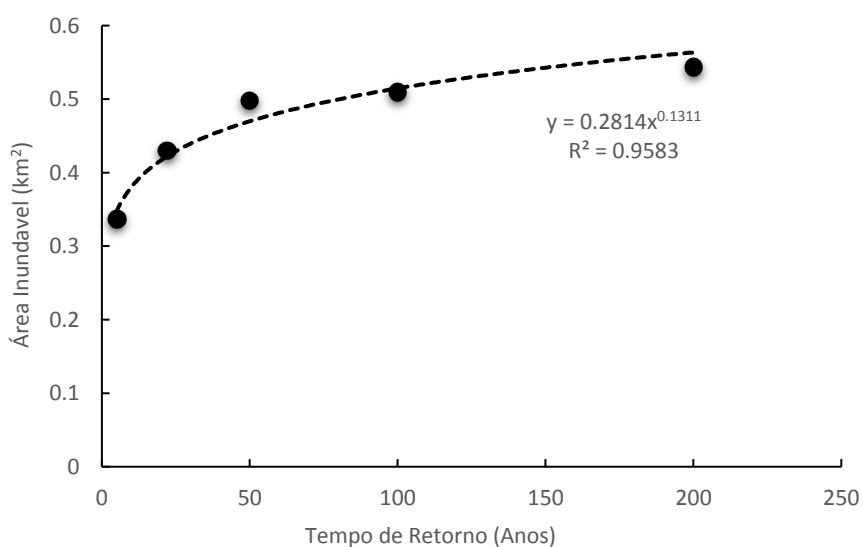


Figura 35 - Área inundável para diferentes tempos de retorno.

Em termos de profundidade podemos observar que o comportamento ou distribuição para os diferentes tempos de retorno é igual. A medida que a profundidade aumenta a sua frequência diminui (Figura 36).

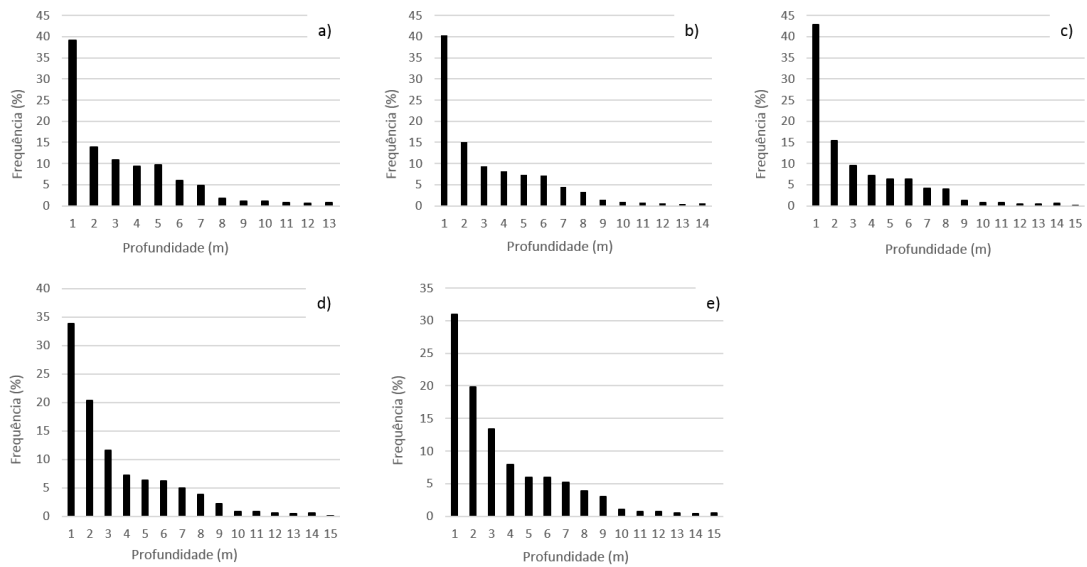


Figura 36 - Distribuição de frequências em função da profundidade da água associado a diferentes tempos de retorno. a) $Tr = 5$ anos, b) $Tr = 22$ anos, c) $Tr = 50$ anos, d) $Tr = 100$ anos, e) $Tr = 200$ anos.

No entanto, a distribuição de frequências de velocidades teve o mesmo comportamento para os tempos de retorno de 5, 22, e 50 anos (Figura 37). Quanto maior a velocidade, menor é sua frequência. Nos períodos de retorno de 100 e 200 anos, o comportamento da distribuição de frequências teve uma variação em relação aos outros, apresentando as maiores frequências para as velocidades entre 1 e 2 m/s.

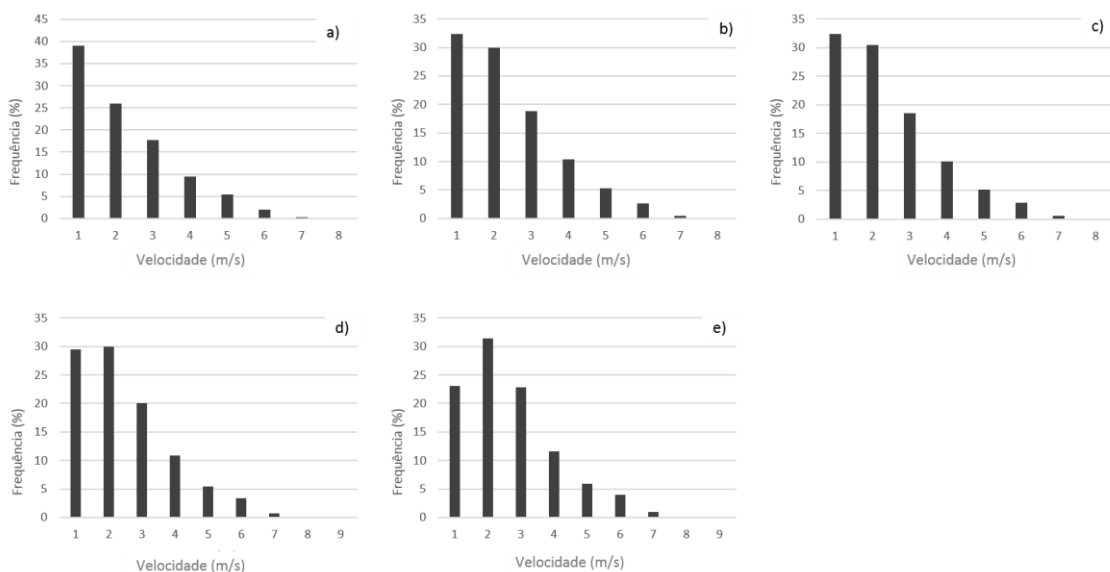


Figura 37 - Distribuição de frequências em função de velocidade da água associado a diferentes tempos de retorno. a) $Tr = 5$ anos, b) $Tr = 22$ anos, c) $Tr = 50$ anos, d) $Tr = 100$ anos, e) $Tr = 200$ anos.

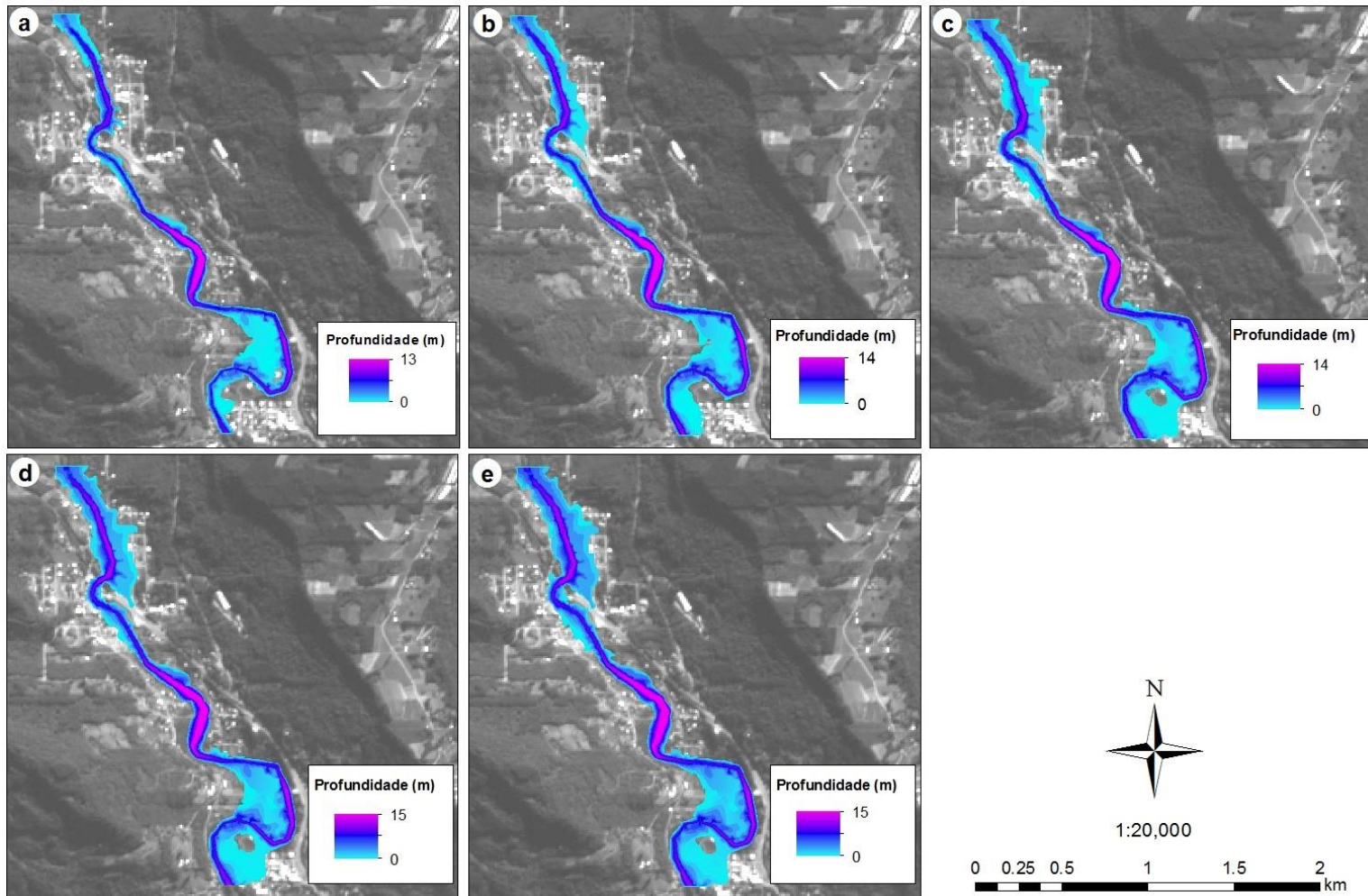


Figura 38 - Mapas de inundação em termos da profundidade da água. a) $Tr = 5$ anos, b) $Tr = 22$ anos, c) $Tr = 50$ anos, d) $Tr = 100$ anos, e) $Tr = 200$ anos.

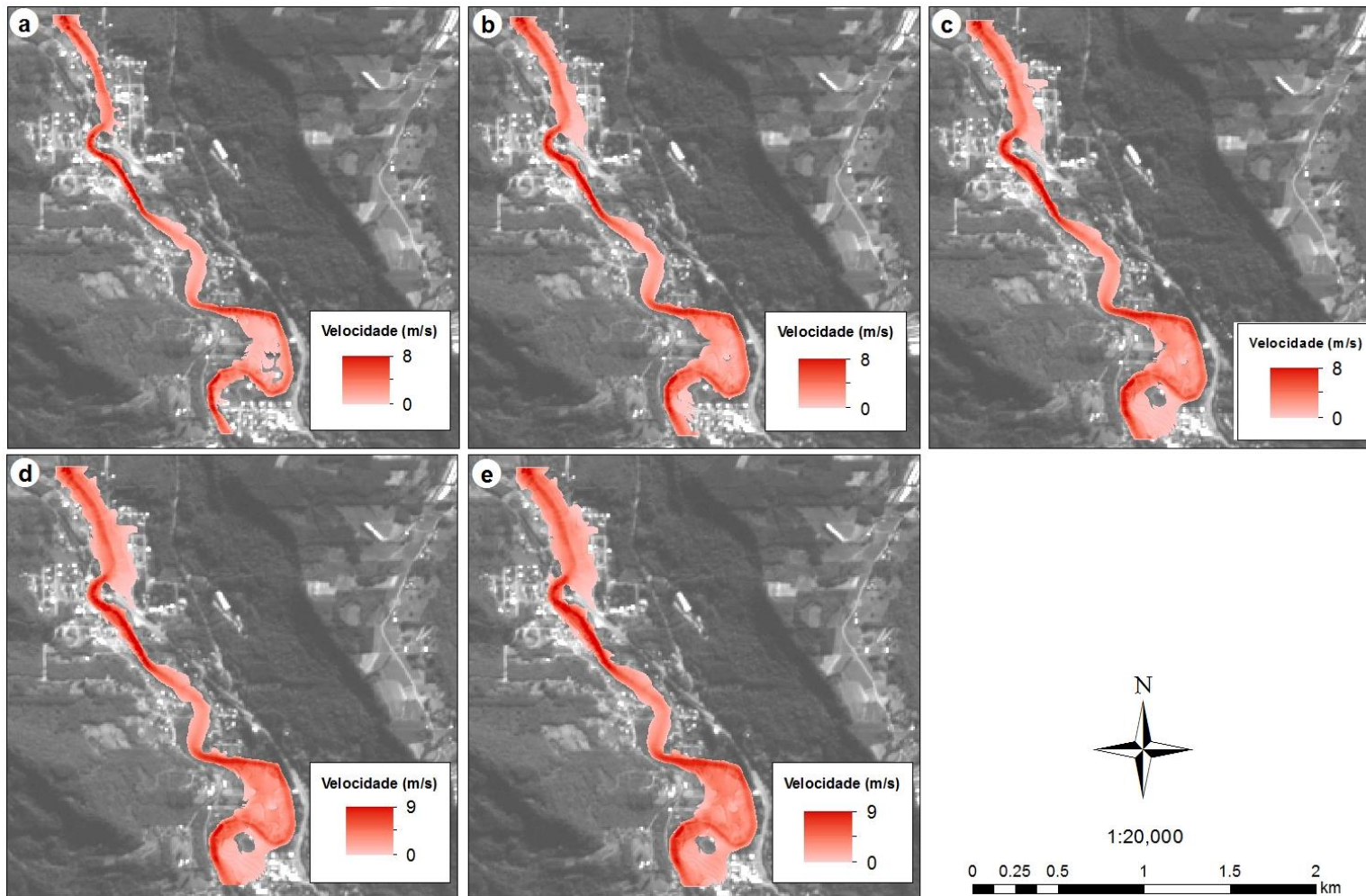


Figura 39 - Mapas de inundação em termos de velocidade da água. a) $Tr = 5$ anos, b) $Tr = 22$ anos, c) $Tr = 50$ anos, d) $Tr = 100$ anos, e) $Tr = 200$ anos.

4.4 Mapeamento de Perigo de Inundações

4.4.1 Determinação do índice e tipo de perigo de inundações

Na determinação do índice de perigo de inundações, adotou-se a metodologia proposta por Stephenson (2002). Esta metodologia está relacionada diretamente à energia do escoamento, expressa em função da profundidade e a velocidade da água, que leva assim, a gerar os diferentes tipos de perigo conforme seu poder destrutivo (Figura 19).

Para isto, foram utilizados os mapas de inundação associados a diferentes tempos de retorno em função da profundidade e velocidade da água, calculados a partir de modelagem hidrodinâmica, onde foram gerados arquivos no formato *.txt*. para cada passo de tempo das simulações. Assim, para o cálculo do índice de perigo, criou-se então uma rotina no software *MATLAB R2012b*, que cruzou as informações de profundidade e velocidade da água, permitindo definir os tipos de perigo para a maior área inundada. Os tipos de perigo são identificados como: IP_1 para perigo baixo; IP_2 para perigo médio e IP_3 para perigo alto.

A Figura 40 mostra os resultados do tipo de perigo em função da área atingida para os diferentes tempos de retorno. Observa-se que a maior área dentro da inundação apresentou um alto perigo. Isto aconteceu para os diferentes tempos de retorno, com um aumento potencial. Por exemplo, para o $Tr = 5$ e $Tr = 200$ anos a área de alto perigo representou 71% e 81% da área total inundada. Além disso, a segunda maior área apresentou um perigo baixo, seguido de um perigo médio. Em termos de porcentagem, tomando os tempos de retorno de 5 e 200 anos, a área de baixo perigo representou 25% e 14%, e para a área de perigo médio 4% e 5% da área total inundada.

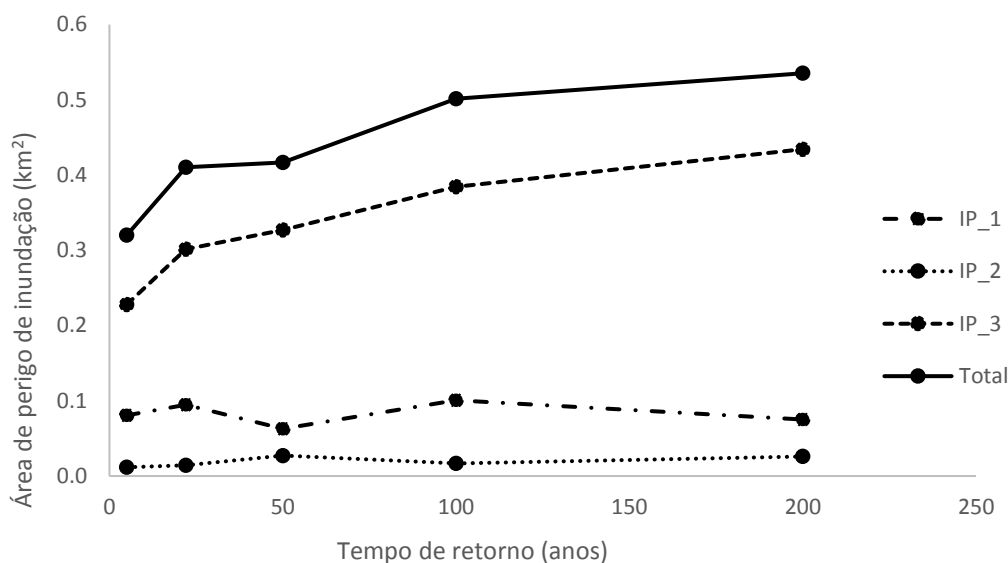


Figura 40 - Tipos de perigo de inundação associados a diferentes tempos de retorno.

Contudo, pode-se dizer que estes resultados coincidem com a região de estudo, se consideramos que a criação do índice de perigo é função da profundidade e velocidade, e que além disso o tipo de inundação que esta região apresenta está caracterizada pelas elevações repentinas das vazões com altas velocidades.

A Figura 41 apresenta os mapas com o uso do índice de perigo conforme Stephenson (2002).

4.4.2 Mapa final de áreas de perigo de inundações

A elaboração de um único mapa das áreas de perigo de inundações foi realizada através da quantificação do nível de perigo proposto por Prevene (2001), que estabeleceu diferentes níveis de perigo que variam com o tempo de retorno. Os níveis de perigo estão relacionados em função da frequência em termos do tempo de retorno, e da intensidade em termos do índice de perigo.

A partir disso, foram considerados três períodos de retorno 5, 22, e 100 anos, sendo que após de 100 anos a área inundável é quase constante, e o índice de perigo calculado no item anterior. Estes níveis foram estimados para a maior área inundada. A Figura 42 apresentada a classificação utilizada para definir os níveis de perigo associados aos três tempos de retorno.

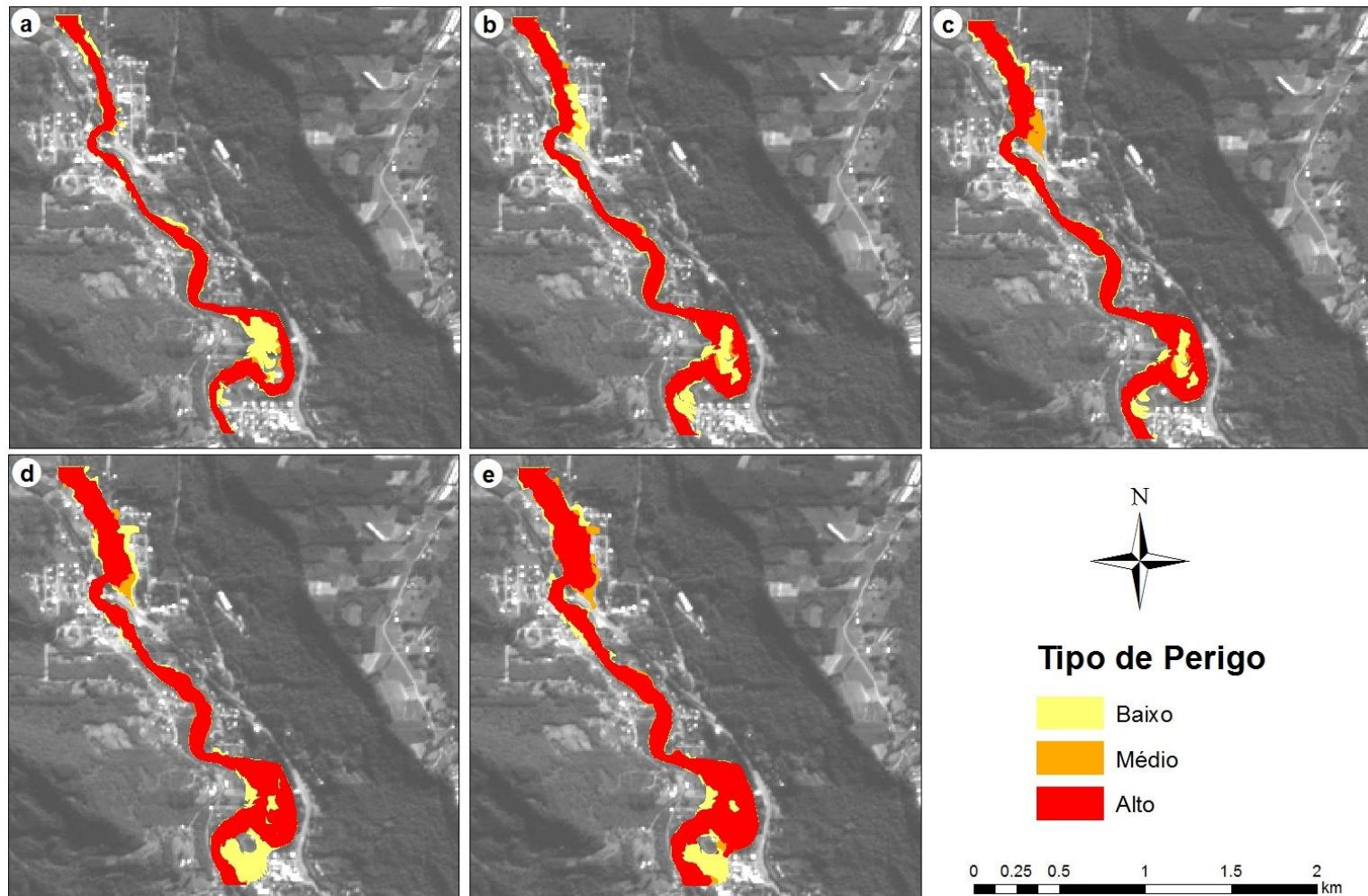


Figura 41 - Mapeamento de índice de perigo para diferentes tempos de retorno.

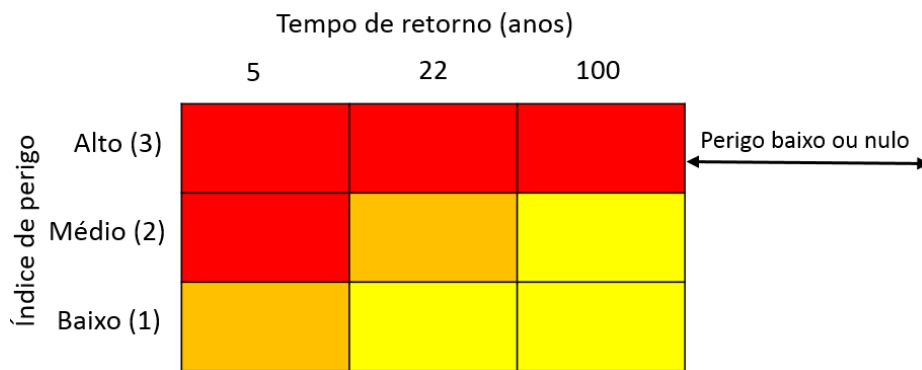


Figura 42 - Níveis de perigo de inundações para diferentes tempos de retorno (Adaptado de Prevene, 2001). As cores significam: Vermelho, perigo alto, laranja perigo médio, e amarelo perigo baixo.

Após a classificação dos níveis de perigo, realizou-se o cálculo com as condições estipuladas conforme a Figura 42, utilizando uma rotina no software *MATLAB R2012b*. O resultado deste cálculo, junto com ferramentas de geoprocessamento, permitiu gerar os mapas com a informação dos níveis de perigo associados a cada tempo de retorno. O mapa final foi estimado, então, dando preferência ao nível de perigo mais alto (Figura 43).

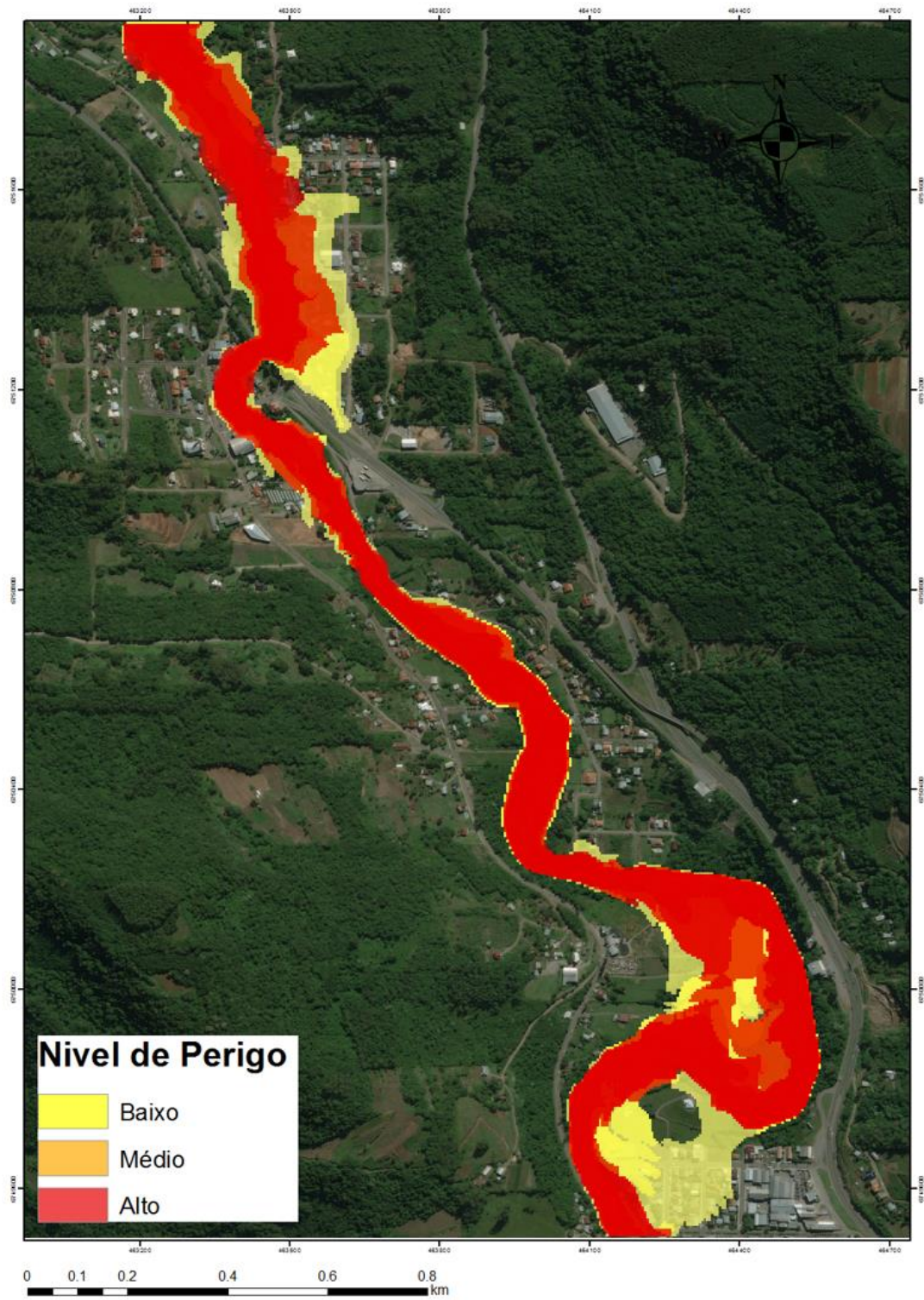


Figura 43 - Mapa de área de perigo de inundação.

Estes resultados demonstram que a área atingida pela inundação, associada a diferentes tempos de retorno no município de São Vendelino, encontra-se em um alto perigo, ocupando 77% da área total inundada. Isto significa que a população está em perigo, tanto dentro quanto fora de suas casas, e que as construções podem ser destruídas com alta possibilidade.

Além disso, observou-se que o mapeamento final não apresenta o perigo médio, passando de perigo alto com uma maior área, a perigo baixo em uma menor área, representando em grande parte os limites da área inundada. Desta maneira, as possibilidades de fatalidades são quase inexistentes, mas existe a possibilidade de que as construções sofram danos.

Contudo, pode-se afirmar que a distribuição espacial do perigo de inundações representado em forma de mapeamento, possibilita o adequado gerenciamento de desastres naturais, em termos de prevenção e preparação.

CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As inundações causadoras de desastres hidrológicos, segundo a classificação do EM-DAT, vêm aumentando consideravelmente ao passar do tempo, tanto em frequência como em impactos. No Brasil a inundação brusca é o tipo de fenômeno que, quando atinge a população, causa o maior número de mortes, devido a seu poder destrutivo. A partir disso, começou-se a ter uma maior importância por diversos órgãos em suas diferentes escalas, com o objetivo de reduzir ao máximo sua magnitude e a frequência.

Assim, ferramentas como modelagem hidrogeomorfológica que representam em parte os processos hidrológicos, caracterizam-se em uma importante função para as medidas estruturais e não estruturais no gerenciamento dos desastres hidrológicos. Atualmente o tipo de medida mais utilizada é a estrutural, levando muitas vezes a que o impacto seja maior, quando não se considerara a bacia como um todo, além de seus altos custos. Quanto as medidas não estruturais que, a pesar de serem medidas eficazes e de baixos custos, geralmente não são aplicadas, ou sua aplicação não é a correta. Um exemplo de aplicação não correta em termos de mapeamento, é que são elaborados geralmente mapas de áreas inundadas, desconhecendo o grau de perigo o risco da inundação. Isto ocorre, muitas vezes, por falta de investimento, que leva a um deficiente entendimento, estudo e conscientização dos fenômenos naturais por parte dos órgãos encarregados, dificultando a construção de metodologias que integrem estes tipos de conceitos.

Desta maneira, o principal objetivo do presente estudo foi verificar o perigo de inundações, a fim de poder auxiliar na elaboração de medidas de prevenção e redução de desastres por este tipo de fenômeno. Esta verificação foi feita conforme a teoria de Stephenson, 2002 e Prevene, 2001 e a partir de modelagem hidrogeomorfológica, sendo esta a combinação de modelos hidrológicos de chuva- vazão e hidrodinâmicos. O modelo utilizado foi o desenvolvido por Coulthard (2013) chamado CAESAR-LISFLOOD.

Com o objetivo de verificar o perigo de inundações em um evento real, a bacia do arroio Forromeco foi selecionada. Primeiramente, por possuir características

geomorfológicas específicas que provocam grande propensão à ocorrência de inundações bruscas, e segundo por que está bacia já conta com a existência de um histórico de inundações.

Como dados de entrada para aplicação do modelo CAESAR - LISFLOOD foram utilizados dados topográficos e hidrológicos caracterizados por um MDE, e séries de chuva e vazão. Estes dados foram obtidos a partir de trabalho de campo, e por fontes secundárias.

Para as simulações hidrológicas foram calculadas primeiramente as curvas IDF com coeficientes de determinação de 99% para toda a bacia de estudo. Posteriormente foram estimadas as chuvas de projeto para diferentes tempos de retorno 5, 50, 100 e 200 anos, considerando como base o maior evento registrado de tempo de retorno de 22 anos. Na determinação do pico do hietograma avaliou-se o resultado de Monteiro e Kobiyama (2014), validando que o pico do hietograma a 75% da duração total gera o maior pico de inundação. Os escoamentos gerados tiveram uma variação de 65% do volume total e 203% para a vazão de pico de 203% considerando o Tr de 5 e 200 anos.

Para as simulações hidrodinâmicas, foi primeiramente calibrado o modelo a partir de dados observados em campo do evento de junho de 1982, onde observou-se um bom ajuste da área atingida pela inundação. Posteriormente se realizaram as simulações para os diferentes tempos de retorno. As análises destes resultados foram realizadas em termos de área inundável, onde se observou um aumento potencial, apresentando um ajuste de $R^2=0,958$. Em termos de profundidade da água se observou uma mesma distribuição de frequências, que quanto maior a profundidade, menor foi sua frequência, ao contrário da velocidade da água, que apresentou uma variação para o TR de 100 e 200 anos, apresentando as maiores frequências entre 1 e 2 m/s.

Na determinação dos índices de perigo se observou que a maior área de inundação apresenta um alto perigo com um aumento potencial, seguido de um perigo baixo e por último um perigo médio. Para o caso do perigo alto considerando o TR de 5 e 200 anos, a área de perigo representou 71% e 81% da área total inundada. Estes resultados auxiliaram na criação do mapa final de perigo de inundação.

O mapa final de perigo de inundação considerou diferentes níveis de perigo que variam com o tempo de retorno segundo a metodologia de Prevene (2001). Os tempos de retorno avaliados foram de 5, 22, e 100 anos e para a maior área inundada. Assim, foram gerados os mapas com as informações dos níveis de perigo, sendo o mapa final de perigo o cenário mais crítico dos três mapas.

Contudo, o presente trabalho procura contribuir no entendimento, descrição e avaliação dos processos que ocasionam inundações, além de ser uma ferramenta do gerenciamento de desastres naturais, voltado para inundações bruscas.

Recomenda-se para o município de São Vendelino, considerando o alto perigo do qual está exposto a inundações bruscas, que sejam aplicadas medidas de baixo custo e de fácil implementação (medidas não estruturais). Para isto, destaca-se o mapeamento de áreas de perigo que auxiliará no desenvolvimento do município, desde um conceito de prevenção e preparação para enfrentar um fenômeno que pode causar futuros desastres.

Para trabalhos futuros recomenda-se primeiramente um estudo mais aprofundado sobre a definição dos tempos de retorno, que serão aplicados na avaliação do índice de perigo, sendo que geralmente a escolha deste parâmetro é feita de uma maneira mais qualitativa. Outra recomendação é o desenvolvimento de metodologias que envolvam o mapeamento de perigo de inundação com mapeamento de vulnerabilidade de inundação, para a criação de mapeamento de risco de inundação, sendo esta uma ferramenta importante na prevenção de desastres naturais.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, M. B.; BATHURST, J. C.; CUNGE, J. A.; O'CONNEL, P. E.; RASMUSSEN, J. (1986a). An introduction to the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1. History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of Hydrology*. v. 87, p. 45 -59.
- ABBOTT, M. B.; BATHURST, J. C.; CUNGE, J. A.; O'CONNEL, P. E.; RASMUSSEN, J. (1986b). An introduction to the European Hydrological System – Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 2. Structure of a physically-based, distributed modeling system. *Journal of Hydrology*. v. 87, p. 61 -77.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. (1997) Províncias estruturais brasileiras. In: *Simpósio de Geologia do Nordeste*, Campina Grande, Atas. Campina Grande: SBG, p. 363-391.
- ALMEIDA, G. A. M.; BATES, P. (2013). Applicability of the local inertial approximation of the shallow water equations to flood modeling. *Water Resources Research*, v. 49, p. 4833 – 4844.
- BACK, J. Á.; OLIVEIRA, R. L. J.; HENN, A. (2012). Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 16, p. 391 – 398.
- BATES, D. P.; HORRIT, M. S.; FEWTRELL, T. J. (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two – dimensional flood inundation modelling. *Journal of Hydrology*. v. 387, p. 33 – 45.
- BATES, P. D.; DE ROO, A. P. J. (2000). A Simple Raster-Based Model for Flood Inundation Simulation. *Journal of Hydrology*. v. 236, p. 54-77.
- BEAUMONT, C.; FULLSACK, P.; HAMILTON, J. (1992). *Erosional control of active compressional orogens*. In: Thrust Tectonics, McClay KR. Chapman Hall: New York.
- BENFICA, D. C.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. (2000). Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto de Porto Alegre. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 5, n. 4, p. 5 – 16.

- BERNARD, M. M. (1932). Formulas for rainfall intensities of long duration. *Trans. ASCE*, v. 96, p. 592-624.
- BETSON, R. P. (1964). What is watershed runoff? *Journal of Geophysical Research*. v. 69, p. 1541 – 1551.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. A. (1979). Physically Based Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology. *Hydrological Science Bulletin*. v. 24, p. 43 – 69.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J.; SCHOFIELD, N.; TAGG, A. F. (1984) Testing a physically-based flood forecasting model (Topmodel) for three U. K. catchments. *Journal of Hydrology*, Amsterdam. v. 69, p. 119 – 143.
- BRAUN, J.; SAMBRIDGE, M. (1997). Modelling landscape evolution on geological time scales: a new method based on irregular spatial discretization. *Basin Research*. v. 9, p. 27 – 52.
- BUTTS, M. B.; OVERGAARD, J.; VIAENE, P.; DUBICKI, A.; STRONSKA, K.; SZALINSKA, W.; LEWANDOWSKI, A.; OLSZEWSKI, T.; KOLERSKI, T. (2005). *Flexible Process-Based Hydrological Modelling Framework for Flood Forecasting – MIKE SHE*. Proc. International Conference: Innovation advances and implementation of flood forecasting technology, Tromso, Norway.
- CAMPLING, P.; GOBIN, A.; BEVEN, K.; FEYEN, J. (2002). Rainfall-runoff modelling of a humid tropical catchment: the TOPMODEL approach. *Hydrological Processes*. v. 16, p. 231 – 253.
- CARRETIER, S.; LUCAZEAU, F. (2005). How does aluvial sedimentation at range fronts modify the erosional dynamics of mountain catchments?. *Basin Research*. v. 17, p. 361 – 381.
- CARVALHO, G. L.; RIOS, A. F. G.; MIRANDA, L. W.; NETO, C. P. (2011). Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. v. 41, p. 456 – 465.
- CASTRO, A. L. C (1999). *Manual de planejamento em defesa civil*. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Departamento de Defesa Civil, v. 1, p. 133.
- CASTRO, A. L. C. (2003). *Manual de desastres*. Brasília: Ministério da Integração Nacional; Secretaria Nacional de Defesa Civil. v.1. p. 174.

- CEPED–UFSC (Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres). (2013). *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012*. 2 ed rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, p. 126.
- CHAPRA, S. C.; CANALE, R. P. (2008). *Métodos Numéricos para Engenharia*. McGraw-Hill, São Paulo.
- CHASE, C. G. (1992). Fluvial land sculpting and the fractal dimension of topography. *Geomorphology*. v. 5, p. 39 – 37.
- CHEN, Y. H. (1978). *Mathematical Modeling of Water and Sediment Routing in Natural Channels*. PhD Thesis, Colorado State University.
- CHOW, V.T. (1959). *Open – Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, Inc. New York. p. 101.
- CHOW, V.T.; MAINMENT, D.R.; MAYS, L.W. (1994). *Hidrologia Aplicada*. McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1980). *Geomorfologia*. Edgard Blucher, 2 ed, São Paulo.
- CLARK, C. O. (1945). Storage and unit hydrograph. *Trans. American Society of Civil Engineers*. v. 110, p. 1416 – 1446.
- CLEVIS Q.; TUCKER, G. E.; LOCK, G.; LANCASTER, S. T.; GASPARINI, N. M.; DESSITTER, A.; BRAS, R. L. (2006). Geoarchaeological simulation of meandering river deposits and settlement distributions; a three-dimensional approach. *Geoarchaeological*. v. 21, p. 843 – 874.
- COLLISCHONN, W. (2001). *Simulação Hidrológica de Grandes Bacias*. Tese de doutorado. UFRGS, IPH.
- COLLISCHONN, W., ALLASIA, D.G., SILVA, B.C., TUCCI, C.E.M. (2007). The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling. *Hydrological Sciences Journal*, v. 52, p. 878-895.
- COULTHARD, J. T.; MACKLIN, G. M.; KIRKBY, J. M. (2002). A cellular model of Holocene upland river basin and alluvial fan evolution. *Earth surface processes and landforms*. v.27, p. 269 – 288

- COULTHARD, T. J. (2001). Landscape evolution models: a software review. *Hydrological Processes*. v. 15, p. 165-173.
- COULTHARD, T. J.; LEWIN, J.; MACKLIN, M. G. (2005). Modelling differential catchment response to environmental change. *Geomorphology*. v. 69, p. 222-241.
- COULTHARD, T. J.; MACKLIN, M. G.; KIRKBY, M. J. (2002). A cellular model of Holocene upland river basin and alluvial fan evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*. v. 27, p. 269-288.
- COULTHARD, T. J.; NEAL, J. C.; BATES, P. D.; RAMIREZ, J.; ALMEIDA, G. A. M.; HANCOCK, G. R. (2013). Integrating the LISFLOOD-FP 2D hydrodynamic model with the CAESAR model: implications for modelling landscape evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*. v. 38, p. 1897-1906.
- COULTHARD, T. J.; VAN DE WIEL, M. J. (2012). Modelling river history and evolution. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*. v. 370, p. 2123-2142.
- CRAVE, A.; DAVY, P. (2001). A stochastic ‘precipiton’ model for simulating erosion/sedimentation dynamics. *Computers and Geosciences*. v. 27, p. 815 – 827.
- CRAWFORD, N. H.; LINSLEY, R. K. (1966). *Digital simulation in hydrology, Stanford Watershed Model IV*, Technical Report 39, Department of Civil Engineering, Stanford University, USA.
- CULLING, W. E. H. (1960). Analytical theory of erosion. *Journal of Geology*. v. 68, p. 336-344.
- CULLING, W. E. H. (1963). Soil creep and the development of hillside slopes. *Journal of Geology*. v. 71, p. 127-161.
- CULLING, W. E. H. (1965). Theory of erosion on soil-covered slopes. *Journal of Geology*. v. 71, p. 230-254
- CUNGE, J.A.; HOLLY, F.M.; VERNEY, A. (1980). *Practical Aspects of Computational River Hydraulics*. Pitman Advanced Publishing Program.
- DATIN, R. (1998). *Outils operationnels pour la prévision des crues rapides: traitements des incertitudes et integration des la variabilité spatiale de la pluie*.

Développements de TOPMODEL pour le prise en compte de la variabilité spatiale de la pluie. PhD thesis, INP Grenoble.

DENSMORE, A.; ELLIS, M.; ANDERSON, R. (1998). Landsliding and the evolution of normal-fault-bounded mountains. *Journal of Geophysical Research*. v. 103, p. 203 – 219.

DHI (Danish Hydraulic Institute). (2001). *MIKE BASIN 2001: a versatile decision support tool for integrated water resources management planning*. Danish Hydraulic Institute, Denmark.

DIETRICH, W. E.; BELLUGI, D.; HEIMSATH, A. M.; ROERING, J. J.; SKLAR, L.; STOCK, J. D. (2003). Geomorphic transport laws for predicting landscape form and dynamics. In: WILCOCK, P. R.; IVERSON, R. M. *Prediction in Geomorphology*. American Geophysical Union. Washington, D. C.

EINSTEIN, H. A. (1950). *The Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows*. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Technical Bulletin 1026.

FERNANDEZ, P.; MOURATO, S.; MOREIRA, M. (2013). Comparação dos Modelos HEC-RAS e LISFLOOD-FP na Delimitação de Zonas Inundáveis. *Revista Recursos Hídricos*. v. 34, p. 63-73.

FLORES, C. A.; POTTER, R. O.; FASOLO, P. J.; HASENACK, H.; WEBER, E. (2007). *Levantamento semidetalhado de solos: Região da Serra Gaúcha – Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS/Embrapa Clima Temperado.

FORTUNA, A. O. (2000). *Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos: Conceitos Básicos e Aplicações*. EDUSP, São Paulo.

FREAD, D.L. (1993). *Flow Routing* In: Maidment, D. R. *Handbook of Hydrology*, Mc Graw-Hill, New York.

GALLAND, J. C.; GOUTAL, N.; HERVOUET, J. M. (1991). TELEMEC – a new numerical model for solving shallow-water equations. *Advances in Water Resources*. v. 14, p. 138-148.

GILBERT, G. K. (1987). *Report on the geology of the Henry Mountains*. US Geographical and Geological Survey of the Rocky Mountain Region, Washington.

- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, M. G. R. J. (2011). Mapeamento de vulnerabilidade no município de rio Negrinho-SC. *Revista Caminhos de Geografia*. Uberlândia. v. 12, n. 40, p. 205-221.
- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, M. G. R. J. (2012). Proposta metodológica para mapeamento de risco a inundação: Estudo de caso do município de rio Negrinho-SC. *Bol. Geogr.*, Maringá. v. 30, n. 1, p. 81-100.
- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. (2012). Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 13, n. 2, p. 103 - 111.
- GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P.; BELOW, R. (2014). *Annual Disaster Statistical Review 2013: The Numbers and Trends*. Brussels: CRED. p. 22.
- HANCOCK, G. R. (2009). A catchment scale assessment of increased rainfall and storm intensity on erosion and sediment transport for Northern Australia. *Geoderma*. v. 152, p. 350-360.
- HANCOCK, G. R.; COULTHARD, T. J. (2012). Channel movement and erosion response to rainfall variability in southeast Australia. *Hydrological Processes*, v. 26, p. 663 – 673.
- HANCOCK, G. R.; WILLGOOSE, G. R.; EVANS, K. G. (2002). Testing of SIBERIA landscape evolution model using the Tim Camp Creek, Northern Territory, Australia, field catchment. *Earth Surface Processes and Landforms*. v. 27, p. 125-143.
- HASENACK, H.; WEBER, E. (2007). Base cartográfica digital da Serra Gaúcha – escala 1:50.000. *UFRGS Centro de Ecologia*. 1 CD-ROM. (Série Geoprocessamento n.2).
- HEWLETT, D.; HIBBERT, A. R. (1967). Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. *Forest Hydrology*. Oxford: Pergamon Press, p. 275 – 290.
- HOFFMAN, K. A.; CHIANG, S. T. (2000). *Computational Fluid Dynamics: Volume I*. Engineering Education System, Texas, USA.

- HORRIS, M. S.; BATES, P. D. (2001). Predicting floodplain inundation: raster –based modelling versus the finite-element approach. *Hydrological Processes*. v. 15, p. 825-842.
- HORRIS, M. S.; BATES, P. D. (2002). Evaluation of 1-D and 2-D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*. v. 268, p. 87-99.
- HOWARD, A. D. (1994). A detachment-limited model of drainage basin evolution. *Water Resources Research*. v. 30, p. 2261 – 2285.
- HUFF, F. A. (1967). Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms. *Water Resources Research*. v. 3, n. 4, p. 1007-1019.
- HUNGR, O.; EVANS, S. G.; BOVIS, M. J.; HUTCHINSON, J. N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, v. 7, n. 3, p. 221 – 238.
- JIMENEZ-CISNEROS, B. (2015). Responding to the challenges of water security: the Eighth Phase of the Internacional Hydrological Programme, 2014-2021. In: Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future. *Proceedings of the 11th Kovacs Colloquium, Paris, France*. v. 366, p. 10 – 19.
- JUNSAWANG, P.; ASAVANANT, J.; LURSINSAP, C. (2007). Artificial Neural Network Model for Rainfal-Runoff Relationship. *ASIMMOD*, Chiang Mai, Tailandia. p. 267 – 273.
- KIRKBY, M. J. (1987). Modelling some influences of soil erosion, landslides and valley gradient on drainage density and hollow development. *Catena Supplement*. v. 10, p. 1-14.
- KNIGHT, D. W.; SHIONO, K. (1996). *River channel and floodplain hydraulics*. In: Anderson M. G.; Walling D. E.; Bates P. D. (eds): *Floodplain Processes*, John Wiley, Chichester. p. 139 – 181.
- KOBIYAMA M.; GOERL R.F. (2007) Quantitative method to distinguish flood and flash flood as disasters. *SUISUI Hydrological Research Letters*, v. 1, p. 11-14.
- KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V.; SCHRODER, P. H.; GRANDO, A.; REGINATTO, G. M. P. (2004). Papel da comunidade e da universidade no

gerenciamento de desastres naturais. In: *Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*. v. 1, p. 834-846.

KOBIYAMA, M.; GOERL, R. F. (2011). Identificação dos riscos. *Revista Emergência*, v. 25, p. 8-52.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.; RUDORFF, F. (2006). *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. Curitiba: Organic Trading.

KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P.; GOERL, R. F. (2012). Desastres Naturais e Floresta. In: *4ª. Congresso Florestal Paranaense*. CIETEP, Curitiba –Paraná.

LAURIEN, E.; OERTEL, H. J (2011). *Numerische Stromungstmechanik*. Springer Verlag, Berlin.

LINDNER, E. A. (2007). *Estudo de Eventos Hidrológicos Extremos na Bacia do Rio do Peixe-SC com Aplicação de Índice de Umidade Desenvolvido a partir do Tank Model*. Dissertação de mestrado, UFSC.

LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. (1981). *Simulação hidrológica: Aplicações de um modelo simplificado*. In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Fortaleza, p. 42 – 62.

LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. (1981). *SMAP – A simplified hydrological model*. Proceedings of the International Symposium on Applied Modelling, Mississippi. USA.

MALUNGO, H. E. (2012). *Estudo de Inundação na Bacia do Campus da UFSC, Florianópolis-SC*. Dissertação de Mestrado, UFSC.

MINE, M. R. M.; CLARKE, R. T. (1996). O uso do TOPMODEL em condições brasileiras: resultado preliminar. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 1, p. 85 – 105.

MINISTÉRIO DE INTEGRAÇÃO NACIONAL. (2012). *Instrução Normativa N° 01, de 24 de agosto de 2012*. Dos critérios para decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública. P. 8.

- MONTEIRO C. A. F. (2001). William Morris Davis e a Teoria Geográfica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 2, n. 1, p. 1–20.
- MONTEIRO, R. L. (2014). *Simulação Numérica de Escoamento com Superfície Livre com Aproximação Não-Hidrostática*. Dissertação de Mestrado, UFRGS, IPH.
- MONTEIRO, R. L.; KOBIYAMA, M. (2014). Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação. *Rega*. v. 10, n. 2, p. 13-25.
- MONTGOMERY, D. R.; BOLTON, S. M. (2003). Hydrogeomorphic variability and river restoration. In: WISSMAR, R. C.; BISSON, P. A. Strategies for restoring river ecosystems: Sources of variability and uncertainty in natural and managed systems. *American Fisheries Society Publication: Maryland*, p. 39 – 80.
- NIELSEN, C. (2006). *The Application of Mike She to Floodplain inundation and Urban Drainage Assessment in South East Asia*. 4th Asia-Pacific DHI Software Conference. Shanghai.
- NWS/NOAA. (2015). Glossary. <http://www.weather.gov/glossary/>. Accessed: 12 November 2015.
- OKUNISHI, K. (1991). Hidrogeomorphological interactions: a review of approach and strategy. *Trans. Japanese Geomorphological Union*, v. 12, p. 99 – 116.
- OKUNISHI, K. (1994). Concept and methodology of hidrogeomorphology. *Trans. Japanese Geomorphological Union*, v. 15A, p. 5 – 18.
- PAIVA, R. C. D. (2009). *Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica de Grandes Bacias. Estudo de Caso: Bacia do rio Solimões*. Dissertação de Mestrado, UFRGS, IPH.
- PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; BONNET, M. P.; GONÇALVES, L. G. G.; CALMANT, S.; GETIRANA, A.; SANTOS DA SILVA, J. (2013). Assimilating in situ and radar altimetry data into a large-scale hydrologic-hydrodynamic model for streamflow forecast in the Amazon. *Hydrology and Earth System Sciences*. v. 17, p. 2929-2946.
- PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D. C. (2011b). Validation of a full hydrodynamic model for large-scale hydrologic modelling in the Amazon. *Hydrological Processes*, v. 27, n. 3, p. 333-346.

- PAIVA, R.C.D., COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M. (2011a). Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach. *Journal of Hydrology*, v. 406, p. 170–181.
- PAZ, A. R.; BRAVO, J. M.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2010b). Large-Scale Hydrodynamic Modeling of a Complex River Network and Floodplains. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 15, p. 152-165.
- PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2010a). Simulação hidrológica de rios com grandes planícies de inundação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, p. 31-43.
- PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; PADOVANI, C. R. (2011). Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). *Hydrological Processes*, v. 25, p. 1498-1516.
- PELLING, M. (2003). *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*. London: Earthscan, p. 256.
- PEYRET, R. (1995). *Handbook of Computational Fluid Mechanics*. Academic Press, Nice, France.
- PIÑOL, J.; BEVEN, K. J.; FREER, J. (1997). Modelling the hydrological response of Mediterranean catchments, Prades, Catalonia. The use of distributed models as aids to hypothesis formulation. *Hydrological Processes*, Chichester. v. 11, p. 1287 – 1306.
- PONTES, R. M.; COLLISCHONN, W.; FAN, M. F.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, C. D. (2015). Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 20, n. 4, p. 888 – 904.
- PREVENE. (2001). *Contribution to Natural Disaster Prevention in Venezuela*. Cooperation: Venezuela – Switzerland. PNUD.
- REFSGAARD, J. C.; STORM, B. (1995). *MIKE SHE*. In: Computer models of Watershed Hydrology, V. P. Singh (editor). Water Resources Publications. Colorado, USA. p. 809 – 846.
- ROCKWOOD, D. M., (1958). Columbia basin streamflow routing by computer. *Journal of Waterways and Harbour Division*, ASCE, 84(1), p. 1874.

- SANTOS, I.; KOBAYAMA, M. (2008). Aplicação do TOPMODEL para determinação de áreas saturadas da bacia do rio pequeno, São José dos Pinhais, PR, Brasil. *Revista Ambiente e Agua*. Taubaté, v. 3, n. 2, p. 77-89.
- SCHEIDEGGER, A. E. (1970). *Theoretical Geomorphology*. Springer Verlag, 2 ed, Berlin.
- SCHEIDEGGER, A. E. (1973). Hydrogeomorphology. *Journal of Hydrology*, v. 20, p. 193 – 215.
- SCS, (Soil Conservation Service) (1975). *Urban hydrology for Small Watersheds*. Washington: U.S. Department of Agriculture. Technical Release, 55.
- SETIAWAN, B. I.; FUKUDA, T.; NAKANO, Y. (2003). *Developing Procedures for Optimization of Tank Model's Parameters*. International Commission of Agricultural Engineering: The CIGR E-Journal. v.5, p. 1 - 13.
- SILVA, R. V.; KOBAYAMA, M. (2007). Estudo comparativo de três formulações do TOPMODEL na bacia do rio Pequeno, São Jose dos Pinhais, PR. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 12, p. 93 – 105.
- SINGH, V. P.; FREVERT, D. K. (2002). *Mathematical Models of Large Watershed Hydrology*. Water Resources Publication, LLC. p. 891.
- SOUZA, C. R. G. (1998). Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil. *Anais Academia Brasileira Ciências*, v. 70, n. 2, p. 353-366.
- STELLING, G. S.; VERWEY, A. (2005). Numerical Flood Simulation. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. John Wiley e Sons.
- STEPHENSON, D. (2002). Integrated flood plain management strategy for the Vaal. *Urban Water*, v. 4, p. 425-430.
- STEWART, M.D.; BATES, M.D.; ANDERSON, M.G.; PRICE, D.A.; BURT, T.P. (1999). Modelling Floods in Hydrologically Complex lowland River Reaches. *Journal of Hydrology*. v. 223, p. 269 – 288.
- SUGAWARA, M. (1961). On the analysis of runoff structure about several Japanese rivers. *Japanese Journal of Geophysics*. v. 2, n. 4, p. 76.

- TAVARES, A. C.; SILVA, A. C. F. (2008). Urbanização, chuvas de verão e inundações: uma análise episódica. *Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro. v. 3, n. 1.
- TSUKAMOTO, Y. (1961). An experiment on subsurface flow. *Journal of Japanese Society Forestry*, Tokio. v. 43, p. 61 – 68.
- TUCCI, C. E. M. (1978). *Hydraulic and Water Quality Model for a River Network*. PhD dissertation. Colorado State University, Fort Collins, USA.
- TUCCI, C. E. M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. UFRGS/ABRH, Porto Alegre.
- TUCCI, C. E. M. (2005). *Modelos Hidrológicos*. 2 ed: UFRGS/ABRH, Porto Alegre.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (1995). *Drenagem Urbana*. Ed. Porto Alegre: ABRH. p. 428.
- TUCKER, G. E.; BRAS, R. L. (2000). A stochastic approach to modeling the role of rainfall variability in drainage basin evolution. *Water Resources Research*. v. 36, p. 1953 – 1964.
- TUCKER, G. E.; HANCOCK, G. R. (2010). Modelling landscape evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*. v. 35, p. 28-50.
- TUCKER, G. E.; SLINGERLAND, R. L. (1994). Erosional dynamics, flexural isostasy, and long-lived escarpments; a numerical modeling study. *Journal of Geophysical Research, B, Soil Earth and Planets*. v. 99, p. 12229 – 12243.
- UNESCO, (1964). *Final Report, International Hydrological Decade, Intergovernmental Meeting of Experts*. Paris: UNESCO, p. 51.
- UNISDR. United Nations International Strategy for Disaster Reduction. (2009). *Terminology on disaster risk reduction*. Geneva: UNISDR.
- USACE. (2010). *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual, Version 4.1*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- VAN DE WIEL, M. J.; COULTHARD, T. J.; MACKLIN, M. G.; LEWIN, J. (2011). Modelling the response of river system to environmental change: Progress, problems and prospects for paleo-environmental reconstructions. *Earth - Science Review*. v. 104, p. 167-185.

- VAN DE WIEL, M. J.; COULTHARD, T. J.; MACKLIN, M. G.; LEWIN, J. (2007). Embedding reach-scale fluvial dynamics within the CAESAR cellular automaton landscape evolution model. *Geomorphology*. v 90, p. 283 – 301.
- VEIGA, K. A. L.; ZANETTI, Z. M. A.; FAGGION, P. L. (2012). *Fundamentos de Topografia*. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. UFPR. P. 187.
- VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. (2010). Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul: Programa geologia do Brasil levantamento da geodiversidade. *Serviço Geológico do Brasil*. Porto Alegre, p.17- 70.
- WELSH, K. E.; DEARING, J. A.; CHIVERRELL, R. C.; COULTHARD, T. J. (2009). Testing a cellular modelling approach to simulating late-Holocene sediment and water transfer from catchment to lake in the French Alps since. *The Holocene*. v. 19, p. 785 – 798.
- WILCOCK, P. R.; CROWE, J. C. (2003). Surface-based transport model for mixed-size sediment. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. v. 129, p. 120 – 128.
- WILLGOOSE, G. R. (2005). Mathematical modeling of whole landscape evolution. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. v. 33, p. 443-459.
- WILLGOOSE, G.; BRAS, R. L.; RODRÍGUEZ-ITURBE, I. (1991). A coupled channel network growth and hillslope evolution model. 1. Theory. *Water Resources Research*. v. 27, p. 1671-1684.
- WILLGOOSE, G.; BRAS, R. L.; RODRÍGUEZ-ITURBE, I. (1991). A physically based coupled network growth and hillslope evolution model: 1 Theory. *Water Resources Research*. v. 27
- WILLGOOSE, G.; BRAS, R. L.; RODRÍGUEZ-ITURBE, I. (1994). In: KIRKBY, M. J. *Hydrogeomorphology modelling with a physically based river basin evolution model*. Process Models and Theoretical Geomorphology. John Wiley, Chichester, UK.
- WMO. (1994). *Guide to hydrological practices*. WMO: Geneva; 735 (Publication No. 168).
- WONG, T. H. F.; LAURENSEN, E. M. (1983). Wave Speed–Discharge Relations in Natural Channels. *Water Resources Research*. v.19 (3), p. 701-706.

YANG, J.; TOWNSEND, R. D.; DANESHFAR, B. (2006). Applying the HEC-RAS model and GIS techniques in river network flood plain delineation. *Canadian Journal of Civil Engineering*. v. 33, p. 19-28.

YOUNG, G.; DEMUTH, S.; MISHRA, A.; CUDENNEC, C. (2015). Hydrological sciences and water security: An overview. Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future. *Proceedings of the 11th Kovacs Colloquium, Paris, France*. v. 366, p. 1 – 9.

ANEXOS

a) Pontos cotados medidos

Na Tabela A1 estão apresentadas as coordenadas x e y, e a altitude (z) dos pontos medidos em campo.

Tabela A1 – Dados referentes aos pontos de altitude medidos em campo.

Ponto	Coordenadas UTM (m)		Altitude (m)
	Oeste	Sul	
P1	463387.02	6751178.14	86.78
P2	463387.82	6751167.37	85.90
P3	463397.17	6751174.36	88.60
P4	463406.60	6751180.01	89.49
P5	463391.93	6751171.25	86.84
P6	463400.57	6751166.17	86.00
P7	463403.98	6751165.88	85.89
P8	463405.19	6751167.06	86.66
P9	463405.44	6751167.84	87.85
P10	463408.75	6751170.94	88.61
P11	463412.63	6751172.28	90.65
P12	463418.07	6751176.11	92.24
P13	463420.28	6751179.42	91.74
P14	463411.95	6751179.09	89.81
P15	463410.40	6751183.03	89.81
P16	463410.98	6751194.57	89.69
P17	463406.27	6751180.32	89.37
P18	463394.97	6751177.49	88.87
P19	463390.78	6751175.80	87.54
P20	463390.21	6751175.35	87.04
P21	463383.06	6751173.61	85.92
P22	463381.09	6751172.89	85.46
P23	463378.38	6751184.00	85.55
P24	463380.90	6751184.95	85.86
P25	463386.43	6751186.54	87.02
P26	463387.54	6751186.62	88.10
P27	463388.97	6751186.86	88.88
P28	463401.07	6751202.94	89.67
P29	463411.70	6751207.37	90.72
P30	463403.98	6751213.06	90.31
P31	463392.76	6751206.71	89.24
P32	463387.88	6751202.66	88.16
P33	463386.39	6751202.93	87.62

P34	463385.49	6751202.98	86.72
P35	463383.86	6751203.05	85.89
P36	463381.75	6751204.32	85.47
P37	463384.78	6751209.75	85.88
P38	463386.38	6751210.71	86.51
P39	463387.36	6751210.81	87.00
P40	463387.28	6751215.87	85.88
P41	463389.09	6751215.72	86.52
P42	463391.34	6751216.03	87.42
P43	463392.98	6751215.60	90.09
P44	463399.53	6751224.51	96.57
P45	463398.96	6751214.24	89.75
P46	463407.02	6751218.39	90.55
P47	463411.96	6751220.47	91.32
P48	463412.03	6751222.70	90.73
P49	463406.67	6751222.17	90.55
P50	463401.09	6751221.87	90.21
P51	463399.62	6751222.21	90.09
P52	463396.93	6751222.85	89.01
P53	463392.70	6751224.97	85.96
P54	463391.10	6751224.90	87.15
P55	463410.44	6751248.53	81.86
P56	463410.20	6751251.81	87.56
P57	463414.19	6751253.06	87.16
P58	463413.53	6751251.63	81.39
P59	463416.14	6751249.72	87.41
P60	463419.73	6751251.02	90.14
P61	463420.24	6751250.12	91.82
P62	463422.23	6751244.25	92.08
P63	463422.90	6751253.64	90.10
P64	463431.06	6751223.77	92.25
P65	463437.27	6751232.21	92.10
P66	463452.16	6751251.72	95.21
P67	463446.33	6751260.13	95.40
P68	463490.13	6751227.00	92.22
P69	463495.43	6751226.19	92.50
P70	463499.34	6751230.88	92.64
P71	463506.25	6751235.08	91.76
P72	463528.05	6751264.04	92.25
P73	463528.82	6751292.50	92.38
P74	463522.40	6751371.25	92.73
P75	463520.60	6751402.91	92.53
P76	463509.70	6751418.41	91.99
P77	463508.72	6751426.84	91.83
P78	463507.05	6751432.40	91.75
P79	463504.58	6751432.48	91.48
P80	463503.27	6751432.05	90.26
P81	463501.54	6751431.52	88.35
P82	463498.75	6751428.10	86.98
P83	463499.75	6751421.60	86.69

P84	463501.96	6751417.58	86.78
P85	463501.67	6751411.61	86.49
P86	463503.05	6751407.13	88.82
P87	463504.25	6751404.31	86.49
P88	463506.26	6751405.19	94.00
P89	463503.16	6751399.57	85.68
P90	463508.31	6751401.26	82.01
P91	463510.18	6751399.94	91.02
P92	463512.15	6751400.66	92.36
P93	463511.11	6751406.12	92.08
P94	463509.85	6751410.98	91.98
P95	463508.79	6751410.57	91.16
P96	463508.94	6751415.67	91.53
P97	463506.65	6751413.28	90.01
P98	463506.24	6751420.96	90.92
P99	463504.54	6751422.35	89.33
P100	463502.75	6751421.57	91.92
P101	463499.23	6751426.81	87.02
P102	463498.24	6751426.99	86.57
P103	463502.22	6751427.61	87.85
P104	463503.26	6751427.64	89.51
P105	463505.35	6751428.23	91.46
P106	463509.34	6751429.23	91.93
P107	463504.20	6751433.74	91.32
P108	463502.43	6751433.44	89.48
P109	463500.89	6751432.92	88.15
P110	463499.49	6751429.68	87.18
P111	463498.69	6751429.02	86.88
P112	463498.09	6751436.61	87.08
P113	463500.39	6751436.92	88.66
P114	463502.28	6751437.75	92.74
P115	463510.65	6751448.90	91.96
P116	463500.34	6751447.81	91.28
P117	463498.97	6751445.79	89.53
P118	463497.78	6751445.38	88.45
P119	463492.50	6751445.76	87.25
P120	463491.34	6751445.88	86.88
P121	463491.88	6751451.02	87.36
P122	463495.81	6751449.50	88.34
P123	463493.42	6751446.26	87.39
P124	463497.41	6751451.15	90.11
P125	463499.13	6751451.57	91.31
P126	463510.39	6751453.45	91.94
P127	463509.65	6751463.37	91.94
P128	463496.65	6751458.52	91.14
P129	463494.18	6751456.88	88.82
P130	463490.41	6751457.39	87.38
P131	463489.00	6751457.14	87.01
P132	463487.60	6751463.37	87.01
P133	463488.69	6751462.94	87.40

P134	463491.10	6751463.92	88.91
P135	463491.41	6751463.97	89.60
P136	463492.63	6751465.11	90.45
P137	463494.58	6751465.52	90.99
P138	463509.39	6751468.54	91.96
P139	463507.10	6751479.19	91.76
P140	463489.73	6751473.49	90.49
P141	463487.99	6751473.05	89.38
P142	463484.69	6751471.33	87.37
P143	463484.03	6751470.84	87.01
P144	463481.63	6751475.05	87.49
P145	463480.58	6751473.94	87.10
P146	463478.40	6751476.63	87.44
P147	463476.45	6751478.27	87.43
P148	463476.09	6751477.79	86.97
P149	463481.70	6751479.88	88.67
P150	463488.75	6751481.62	90.24
P151	463500.84	6751482.49	91.37
P152	463488.21	6751487.35	90.25
P153	463478.80	6751486.33	89.27
P154	463472.63	6751491.58	87.37
P155	463467.93	6751496.19	87.47
P156	463476.60	6751494.08	90.48
P157	463480.20	6751496.04	91.34
P158	463477.22	6751499.13	90.99
P159	463474.01	6751503.86	94.54
P160	463484.44	6751507.09	91.73
P161	463506.08	6751511.21	92.19
P162	463468.60	6751514.11	90.98
P163	463472.81	6751523.44	93.90
P164	463463.58	6751523.65	94.91
P165	463461.31	6751528.09	93.59
P166	463461.52	6751529.99	94.95
P167	463456.68	6751536.40	92.05
P168	463471.05	6751539.70	92.02
P169	463455.27	6751534.16	94.44
P170	463455.93	6751544.34	91.91
P171	463462.03	6751547.93	92.03
P172	463470.02	6751550.61	91.97
P173	463456.62	6751533.98	94.73
P174	463453.41	6751533.12	92.28
P175	463454.42	6751552.92	91.73
P176	463461.67	6751555.59	91.84
P177	463469.33	6751557.12	91.89
P178	463468.26	6751565.51	91.86
P179	463451.65	6751563.99	91.17
P180	463442.70	6751568.13	89.73
P181	463434.51	6751556.93	87.55
P182	463438.07	6751552.98	87.29
P183	463438.16	6751567.86	87.96

P184	463429.95	6751570.47	87.81
P185	463427.75	6751575.19	87.82
P186	463430.25	6751578.87	87.98
P187	463432.73	6751588.68	91.86
P188	463435.88	6751587.84	89.28
P189	463434.83	6751591.51	95.07
P190	463433.56	6751595.44	88.09
P191	463437.18	6751592.55	89.42
P192	463440.18	6751594.07	96.87
P193	463441.81	6751596.90	91.54
P194	463451.02	6751597.03	91.62
P195	463461.52	6751602.29	91.54
P196	463459.77	6751606.94	91.60
P197	463472.33	6751606.90	91.57
P198	463490.04	6751606.78	92.65
P199	463484.31	6751599.64	91.85
P200	463477.47	6751597.55	91.51
P201	463473.19	6751616.64	91.91
P202	463480.67	6751617.85	92.33
P203	463458.71	6751616.12	91.65
P204	463445.00	6751614.40	91.52
P205	463432.17	6751614.64	89.56
P206	463431.71	6751614.10	91.58
P207	463429.51	6751611.21	92.12
P208	463426.98	6751614.20	92.02
P209	463429.34	6751645.83	95.06
P210	463427.40	6751646.77	95.47
P211	463426.20	6751647.18	92.56
P212	463422.86	6751647.14	93.18
P213	463419.49	6751648.84	93.49
P214	463422.34	6751651.62	92.66
P215	463422.86	6751653.45	94.96
P216	463424.72	6751651.97	93.93
P217	463427.86	6751652.28	97.39
P218	463433.82	6751654.53	94.49
P219	463440.82	6751655.32	92.21
P220	463426.63	6751660.85	94.49
P221	463424.44	6751661.42	93.16
P222	463422.87	6751661.02	89.00
P223	463419.07	6751662.09	88.77
P224	463417.37	6751662.50	88.56
P225	463417.00	6751669.15	91.42
P226	463418.22	6751669.79	93.76
P227	463420.39	6751671.46	98.87
P228	463423.03	6751672.51	95.88
P229	463415.52	6751679.25	95.37
P230	463413.20	6751679.93	91.85
P231	463412.65	6751678.31	88.77
P232	463408.27	6751677.59	88.65
P233	463401.60	6751675.75	88.60

P234	463395.79	6751675.21	94.84
P235	463389.11	6751671.36	88.58
P236	463385.45	6751668.13	89.05
P237	463386.38	6751668.23	88.82
P238	463395.05	6751672.26	88.65
P239	463400.72	6751676.15	91.60
P240	463432.98	6751673.02	95.65
P241	463445.25	6751671.34	95.67
P242	463471.72	6751672.79	93.94
P243	463412.56	6751679.03	88.77
P244	463413.93	6751679.86	89.05
P245	463417.22	6751680.59	90.30
P246	463418.81	6751682.36	92.60
P247	463423.29	6751683.86	90.85
P248	463415.14	6751686.06	90.76
P249	463410.37	6751685.38	89.13
P250	463409.60	6751684.82	88.88
P251	463404.82	6751697.58	88.94
P252	463405.83	6751698.26	89.24
P253	463408.10	6751700.74	90.89
P254	463410.50	6751702.64	93.10
P255	463412.72	6751704.27	92.62
P256	463405.29	6751707.39	91.41
P257	463401.51	6751706.41	89.33
P258	463400.43	6751706.20	89.01
P259	463394.69	6751716.07	89.35
P260	463393.76	6751715.87	88.96
P261	463397.33	6751718.43	90.83
P262	463399.27	6751719.49	92.49
P263	463404.08	6751721.05	92.02
P264	463408.23	6751723.09	91.95
P265	463397.08	6751722.87	92.92
P266	463395.05	6751722.47	91.14
P267	463387.85	6751726.82	89.40
P268	463386.77	6751726.76	88.97
P269	463389.12	6751729.56	90.95
P270	463390.46	6751731.76	92.75
P271	463396.05	6751732.03	94.73
P272	463391.89	6751734.59	92.97
P273	463389.05	6751733.97	92.80
P274	463387.96	6751733.74	91.94
P275	463382.24	6751735.86	89.40
P276	463379.31	6751739.80	89.41
P277	463377.50	6751743.05	89.46
P278	463379.34	6751743.24	91.03
P279	463381.87	6751743.96	92.63
P280	463376.97	6751743.78	93.56
P281	463371.88	6751750.53	89.39
P282	463365.79	6751757.43	89.41
P283	463364.98	6751756.83	89.10

P284	463360.78	6751759.51	89.07
P285	463367.92	6751759.90	88.68
P286	463371.03	6751759.77	100.45
P287	463352.26	6751773.98	93.89
P288	463351.27	6751774.54	93.51
P289	463348.80	6751781.69	89.48
P290	463343.57	6751788.51	91.45
P291	463339.76	6751792.50	94.82
P292	463334.96	6751798.17	97.32
P293	463333.27	6751800.31	100.18
P294	463337.21	6751802.19	98.92
P295	463387.91	6751176.21	86.81
P296	463470.28	6751779.88	96.08
P297	463330.95	6751803.02	93.78
P298	463329.17	6751805.25	91.99
P299	463327.14	6751804.59	89.30
P300	463324.84	6751808.36	96.51
P301	463321.94	6751811.74	92.84
P302	463321.44	6751811.55	91.58
P303	463319.32	6751818.94	88.05
P304	463315.41	6751821.12	103.41
P305	463307.19	6751828.92	93.61
P306	463307.16	6751831.04	93.65
P307	463305.48	6751833.67	95.63
P308	463304.02	6751835.52	90.84
P309	463297.66	6751839.47	89.94
P310	463295.01	6751838.49	89.81
P311	463292.90	6751844.47	89.97
P312	463295.91	6751844.84	90.18
P313	463288.66	6751847.24	94.58
P314	463291.75	6751850.82	90.86
P315	463284.57	6751851.94	90.03
P316	463282.01	6751855.76	90.05
P317	463286.71	6751857.77	92.97
P318	463277.82	6751859.54	90.13
P319	463273.32	6751864.51	90.23
P320	463272.37	6751869.51	92.81
P321	463275.71	6751873.79	87.58
P322	463275.53	6751876.00	93.88
P323	463282.67	6751875.74	98.52
P324	463387.96	6751825.12	94.49
P325	463400.08	6751834.63	96.68
P326	463401.22	6751846.61	94.30
P327	463400.18	6751850.20	94.22
P328	463400.18	6751861.37	93.73
P329	463370.17	6751873.70	94.18
P330	463349.60	6751873.79	94.42
P331	463346.66	6751864.28	94.10
P332	463363.25	6751865.71	94.10
P333	463391.79	6751861.70	93.83

P334	463393.05	6751810.04	94.99
P335	463432.08	6751807.90	94.84
P336	463476.00	6751820.41	98.32
P337	463472.59	6751821.91	98.32
P338	463473.76	6751795.31	97.46
P339	463364.06	6751512.73	92.61
P340	463342.81	6751600.53	94.66
P341	463333.65	6751596.33	94.86
P342	463338.83	6751599.77	94.79
P343	463346.38	6751605.10	94.03
P344	463348.70	6751606.03	93.12
P345	463363.26	6751611.82	92.76
P346	463374.04	6751612.89	92.25
P347	463377.69	6751613.78	92.15
P348	463391.43	6751599.84	90.41
P349	463387.04	6751599.64	92.06
P350	463399.85	6751592.61	90.36
P351	463405.79	6751582.57	90.86
P352	463408.16	6751570.01	90.75
P353	463410.12	6751578.61	88.92
P354	463412.61	6751577.40	87.90
P355	463411.61	6751579.88	87.99
P356	463413.23	6751580.56	87.76
P357	463410.64	6751584.34	88.02
P358	463411.90	6751585.40	87.97
P359	463408.60	6751585.09	89.18
P360	463405.38	6751585.73	90.92
P361	463402.70	6751595.59	91.19
P362	463401.27	6751608.08	91.55
P363	463403.89	6751608.24	90.16
P364	463405.80	6751609.33	88.46
P365	463407.46	6751609.80	88.18
P366	463412.00	6751610.42	87.97
P367	463410.18	6751615.16	88.03
P368	463407.39	6751616.59	88.17
P369	463406.36	6751627.56	88.31
P370	463400.64	6751636.56	88.47
P371	463401.32	6751637.17	88.44
P372	463399.44	6751638.48	88.54
P373	463393.16	6751636.05	94.79
P374	463391.86	6751637.53	89.64
P375	463382.46	6751636.13	91.06
P376	463374.19	6751642.07	91.39
P377	463370.97	6751631.72	90.77
P378	463362.93	6751626.68	91.91
P379	463357.95	6751621.06	92.49
P380	463343.09	6751638.26	92.77
P381	463349.20	6751643.99	92.35
P382	463351.84	6751645.80	91.42
P383	463359.27	6751650.71	91.21

P384	463358.13	6751660.34	91.24
P385	463354.76	6751667.47	91.40
P386	463344.63	6751666.64	91.63
P387	463330.57	6751662.23	92.27
P388	463302.94	6751654.31	96.26
P389	463302.91	6751654.33	96.26
P390	463307.46	6751657.36	93.76
P391	463325.32	6751672.10	92.36
P392	463343.59	6751687.89	91.84
P393	463352.93	6751692.93	92.09
P394	463363.15	6751697.61	94.09
P395	463365.27	6751698.64	91.29
P396	463366.73	6751703.74	89.33
P397	463367.81	6751704.73	89.18
P398	463364.81	6751707.16	89.41
P399	463365.44	6751708.08	89.15
P400	463360.79	6751707.72	91.01
P401	463360.69	6751705.65	92.01
P402	463358.39	6751702.03	93.15
P403	463356.04	6751699.87	92.99
P404	463332.71	6751728.29	92.01
P405	463326.45	6751722.68	92.15
P406	463327.64	6751737.36	91.86
P407	463317.32	6751753.13	91.90
P408	463280.55	6751721.49	93.81
P409	463268.99	6751707.67	96.04
P410	463260.91	6751700.63	98.30
P411	463226.10	6751738.81	99.44
P412	463233.84	6751744.22	97.49
P413	463238.61	6751750.37	96.15
P414	463244.93	6751756.30	94.62
P415	463248.82	6751761.43	94.61
P416	463250.08	6751762.76	93.40
P417	463262.20	6751775.96	93.06
P418	463273.46	6751787.09	92.81
P419	463286.16	6751799.60	92.64
P420	463288.64	6751802.18	93.04
P421	463290.99	6751803.53	87.85
P422	463293.36	6751806.99	89.75
P423	463295.09	6751808.94	89.59
P424	463276.14	6751824.18	83.54
P425	463250.09	6751831.67	90.40
P426	463241.47	6751841.48	93.13
P427	463245.34	6751843.55	91.70
P428	463249.48	6751846.29	90.38
P429	463250.72	6751849.64	89.95
P430	463251.00	6751850.36	89.87
P431	463249.70	6751848.64	91.35
P432	463238.52	6751841.11	93.13
P433	463224.51	6751828.94	93.80

P434	463214.38	6751822.59	93.70
P435	463199.03	6751806.08	94.23
P436	463183.91	6751795.80	97.07
P437	463176.66	6751796.11	98.42
P438	463174.50	6751793.80	99.46
P439	463174.02	6751791.24	99.84
P440	463169.53	6751786.57	99.75
P441	463196.27	6751760.39	100.15
P442	463202.38	6751764.32	100.07
P443	463219.65	6751746.02	99.65
P444	463227.59	6751751.53	98.91
P445	463228.75	6751742.14	99.21
P446	463243.08	6751709.77	98.73
P447	463272.63	6751677.80	97.73
P448	463300.82	6751645.67	95.96
P449	463325.23	6751615.93	94.79
P450	463342.48	6751583.00	94.52
P451	463351.70	6751550.65	93.76
P452	463378.31	6751482.69	92.58
P453	463380.59	6751473.97	92.66
P454	463370.19	6751479.11	92.71
P455	463392.23	6751484.80	92.40
P456	463388.91	6751497.20	92.69
P457	463385.03	6751510.37	92.99
P458	463382.31	6751521.44	93.13
P459	463390.22	6751525.57	92.87
P460	463401.35	6751529.62	93.65
P461	463404.77	6751525.68	92.12
P462	463393.19	6751515.01	92.88
P463	463387.62	6751505.95	93.78
P464	463399.86	6751496.06	92.38
P465	463402.89	6751485.39	92.15
P466	463416.85	6751485.61	91.71
P467	463416.50	6751494.67	93.84
P468	463448.41	6751484.67	89.41
P469	463448.80	6751486.41	87.45
P470	463449.95	6751479.89	90.56
P471	463450.90	6751477.42	87.37
P472	463451.79	6751474.99	87.38
P473	463453.27	6751470.98	87.37
P474	463453.92	6751470.63	87.14
P475	463418.74	6751477.59	90.60
P476	463396.86	6751475.67	92.37
P477	463368.53	6751468.24	92.94
P478	463369.80	6751448.40	93.08
P479	463381.81	6751444.78	92.65
P480	463385.49	6751405.68	92.82
P481	463400.86	6751390.67	93.60
P482	463405.49	6751383.59	93.59
P483	463419.07	6751372.20	93.13

P484	463438.37	6751352.68	91.01
P485	463443.38	6751344.89	90.64
P486	463454.66	6751316.99	88.07
P487	463457.04	6751314.06	87.03
P488	463462.57	6751311.18	86.88
P489	463468.56	6751308.20	86.05
P490	463470.04	6751307.48	85.79
P491	463472.59	6751315.50	86.16
P492	463474.36	6751315.16	85.86
P493	463469.73	6751317.68	86.62
P494	463467.93	6751320.17	86.83
P495	463464.40	6751322.03	87.09
P496	463464.38	6751322.01	87.10
P497	463471.57	6751333.59	86.82
P498	463474.74	6751332.44	86.60
P499	463477.85	6751331.32	86.17
P500	463481.82	6751338.12	86.13
P501	463478.74	6751338.89	86.37
P502	463479.23	6751348.79	86.52
P503	463484.49	6751348.25	86.18
P504	463486.32	6751352.80	86.17
P505	463480.09	6751352.53	86.65
P506	463477.29	6751353.42	88.58
P507	463477.20	6751355.90	88.03
P508	463484.94	6751366.03	87.02
P509	463491.33	6751369.82	85.42
P510	463492.20	6751369.60	85.89
P511	463492.88	6751382.29	86.23
P512	463493.81	6751382.43	85.82
P513	463492.59	6751386.30	86.39
P514	463492.97	6751388.52	86.23
P515	463488.18	6751385.16	86.57
P516	463481.62	6751385.52	87.00
P517	463481.20	6751383.14	88.53
P518	463483.87	6751390.25	86.95
P519	463481.99	6751396.13	86.47
P520	463483.36	6751396.44	86.61
P521	463461.84	6751299.62	85.90
P522	463462.68	6751298.39	85.66
P523	463457.09	6751294.17	85.85
P524	463452.49	6751289.30	85.83
P525	463448.94	6751284.97	86.67
P526	463444.11	6751291.93	88.82
P527	463440.36	6751295.16	87.80
P528	463449.04	6751303.17	86.91
P529	463441.45	6751300.81	97.10
P530	463446.46	6751304.09	94.27
P531	463449.28	6751308.57	93.28
P532	463421.55	6751281.55	84.44
P533	463416.05	6751278.91	85.89

P534	463413.64	6751280.12	86.83
P535	463418.71	6751284.96	85.86
P536	463404.48	6751307.63	95.84
P537	463378.21	6751317.81	93.25
P538	463362.22	6751330.34	93.50
P539	463346.05	6751313.08	93.44
P540	463329.72	6751285.49	93.82
P541	463335.74	6751279.10	93.91
P542	463392.68	6751277.49	90.89
P543	463369.02	6751253.00	91.35
P544	463373.69	6751250.87	86.51
P545	463350.79	6751252.61	94.11
P546	463332.03	6751250.90	94.16
P547	463321.33	6751246.47	94.36
P548	463328.43	6751207.47	93.68
P549	463339.73	6751207.44	93.44
P550	463352.74	6751208.86	90.53
P551	463353.96	6751193.19	90.02
P552	463357.58	6751179.11	89.14
P553	463360.49	6751167.68	89.01
P554	463369.32	6751153.34	88.60
P555	463374.39	6751147.13	88.41
P556	463372.12	6751153.77	87.53
P557	463374.25	6751150.96	87.26
P558	463374.41	6751154.67	85.80
P559	463378.25	6751148.91	85.92
P560	463379.29	6751147.61	85.80
P561	463389.47	6751131.36	88.73
P562	463388.55	6751129.23	89.80
P563	463392.76	6751131.97	86.46
P564	463395.92	6751134.18	85.54
P565	463395.77	6751134.64	85.07
P566	463395.19	6751132.15	85.45
P567	463391.40	6751129.95	87.98
P568	463390.21	6751128.88	89.64
P569	463391.18	6751120.58	91.01
P570	463397.20	6751124.61	89.49
P571	463402.36	6751125.54	84.30
P572	463402.47	6751128.65	83.58
P573	463405.82	6751127.07	82.63
P574	463404.06	6751124.93	83.96
P575	463401.85	6751123.10	88.72
P576	463402.80	6751121.64	86.67
P577	463420.13	6751116.69	89.91
P578	463417.96	6751110.14	90.41
P579	463434.11	6751105.44	89.16
P580	463439.18	6751107.12	88.74
P581	463441.78	6751111.17	90.22
P582	463440.59	6751113.19	86.59
P583	463438.48	6751115.28	85.72

P584	463436.32	6751117.25	85.13
P585	463436.75	6751118.21	84.81
P586	463435.13	6751117.36	85.11
P587	463435.21	6751118.22	84.90
P588	463442.04	6751116.25	85.12
P589	463443.51	6751112.83	86.40
P590	463449.37	6751110.29	86.24
P591	463452.50	6751112.40	85.04
P592	463477.65	6751099.39	84.54
P593	463478.01	6751086.21	87.20
P594	463503.53	6751075.16	89.71
P595	463500.38	6751068.45	88.52
P596	463494.85	6751064.06	88.66
P597	463500.21	6751054.30	88.48
P598	463513.54	6751070.70	96.43
P599	463515.04	6751075.95	88.11
P600	463517.42	6751074.44	79.45
P601	463520.35	6751069.33	85.88
P602	463525.92	6751067.66	84.64
P603	463529.50	6751065.21	84.28
P604	463530.95	6751064.04	84.10
P605	463532.30	6751062.63	84.14
P606	463534.50	6751061.35	83.86
P607	463534.71	6751062.20	81.65
P608	463532.97	6751058.60	87.31
P609	463536.58	6751019.19	87.63
P610	463541.24	6751010.74	87.67
P611	463552.52	6751012.98	87.68
P612	463558.24	6751010.47	91.81
P613	463547.30	6750999.93	87.50
P614	463535.65	6750993.50	89.28
P615	463535.46	6750984.23	89.33
P616	463544.10	6750982.56	89.15
P617	463547.12	6750983.98	87.72
P618	463557.76	6750991.70	87.27
P619	463570.56	6750998.50	85.90
P620	463571.89	6751001.68	84.86
P621	463573.00	6751004.74	84.05
P622	463573.73	6751005.07	83.77
P623	463575.77	6751000.23	84.05
P624	463577.31	6750996.82	84.03
P625	463574.60	6750996.82	84.79
P626	463580.53	6750989.51	84.29
P627	463581.82	6750986.74	84.09
P628	463560.97	6750977.96	87.32
P629	463557.58	6750970.97	87.64
P630	463571.14	6750968.93	88.34
P631	463579.12	6750958.56	87.01
P632	463582.26	6750961.99	87.00
P633	463584.73	6750964.56	86.57

P634	463574.81	6750950.78	86.79
P635	463569.94	6750947.95	86.86
P636	463575.48	6750937.62	86.80
P637	463591.05	6750936.99	86.93
P638	463594.77	6750937.10	86.56
P639	463581.79	6750927.38	86.81
P640	463575.51	6750927.53	88.02
P641	463566.94	6750929.92	89.28
P642	463576.27	6750920.74	89.46
P643	463560.91	6750911.16	89.80
P644	463548.98	6750926.12	89.60
P645	463537.50	6750926.02	90.22
P646	463538.00	6750896.66	91.02
P647	463513.54	6750891.89	93.08
P648	463483.39	6750889.46	96.44
P649	463455.30	6750914.90	95.77
P650	463436.59	6750936.31	95.01
P651	463422.19	6750976.15	94.31
P652	463407.69	6751013.25	93.74
P653	463395.45	6751041.03	93.22
P654	463385.92	6751062.90	95.03
P655	463365.93	6751111.10	92.81
P656	463352.20	6751149.27	92.99
P657	463341.19	6751147.02	93.03
P658	463340.31	6751138.95	93.48
P659	463371.10	6751139.45	92.53
P660	463422.14	6751173.04	92.06
P661	463388.59	6751175.92	86.81
P662	463388.55	6751175.89	86.83
P663	463740.55	6750625.09	105.80
P664	463744.78	6750633.00	105.84
P665	463741.23	6750636.01	105.78
P666	463699.01	6750674.98	105.00
P667	463665.14	6750741.39	102.68
P668	463613.18	6750791.06	100.67
P669	463558.54	6750829.43	98.88
P670	463507.62	6750868.71	96.99
P671	463506.13	6750882.17	95.85
P672	463517.08	6750879.05	95.66
P673	463521.84	6750867.64	96.42
P674	463528.47	6750861.82	96.41
P675	463532.18	6750857.06	96.67
P676	463527.97	6750851.20	97.82
P677	463522.23	6750844.27	98.04
P678	463520.78	6750842.11	98.16
P679	463498.29	6750858.57	97.52
P680	463500.60	6750862.39	97.33
P681	463504.62	6750870.24	96.95
P682	463491.63	6750881.63	96.75
P683	463493.80	6750887.72	95.59

P684	463476.76	6750896.79	96.31
P685	463466.81	6750906.57	96.07
P686	463442.45	6750931.93	95.16
P687	463452.28	6750936.82	93.59
P688	463464.38	6750940.29	92.30
P689	463476.33	6750927.49	93.27
P690	463484.62	6750918.70	93.73
P691	463503.18	6750897.33	94.17
P692	463515.49	6750897.38	92.82
P693	463514.76	6750916.23	92.10
P694	463515.03	6750927.10	91.39
P695	463513.63	6750936.83	90.75
P696	463518.49	6750930.60	90.90
P697	463534.20	6750931.11	89.90
P698	463549.40	6750931.42	89.62
P699	463564.44	6750930.95	89.28
P700	463564.14	6750914.95	89.50
P701	463563.21	6750896.00	89.82
P702	463532.01	6750882.75	91.11
P703	463536.10	6750867.39	91.64
P704	463547.40	6750858.43	90.75
P705	463548.43	6750883.64	90.29
P706	463566.82	6750883.83	89.80
P707	463567.96	6750869.52	90.02
P708	463568.63	6750854.28	90.31
P709	463577.76	6750851.80	90.05
P710	463601.67	6750849.01	89.72
P711	463606.34	6750854.16	89.57
P712	463594.57	6750865.37	89.83
P713	463582.40	6750867.28	89.71
P714	463577.40	6750887.71	89.62
P715	463590.37	6750892.24	89.19
P716	463590.20	6750895.40	89.04
P717	463596.02	6750895.25	87.06
P718	463594.28	6750894.43	86.75
P719	463594.91	6750911.17	88.35
P720	463597.07	6750915.79	86.47
P721	463589.33	6750920.80	86.57
P722	463585.04	6750919.73	86.79
P723	463604.94	6750921.57	86.18
P724	463603.82	6750924.88	85.95
P725	463608.96	6750915.13	85.95
P726	463610.58	6750916.37	84.84
P727	463605.94	6750926.43	84.76
P728	463604.65	6750930.42	83.90
P729	463600.97	6750936.27	83.91
P730	463601.56	6750936.61	83.48
P731	463605.17	6750929.51	83.94
P732	463605.70	6750930.04	83.61
P733	463608.28	6750921.28	84.70

P734	463608.74	6750921.68	83.87
P735	463609.31	6750922.39	83.58
P736	463611.63	6750915.21	84.75
P737	463615.47	6750908.44	84.41
P738	463616.14	6750908.62	83.65
P739	463614.96	6750905.09	85.36
P740	463613.61	6750899.06	86.19
P741	463609.76	6750878.73	87.34
P742	463606.10	6750876.35	86.36
P743	463604.84	6750874.54	87.59
P744	463608.19	6750870.02	87.57
P745	463609.92	6750871.02	86.35
P746	463609.78	6750865.87	87.44
P747	463616.72	6750872.49	85.64
P748	463619.97	6750865.82	89.10
P749	463630.14	6750846.28	84.84
P750	463631.26	6750848.83	85.35
P751	463631.06	6750851.36	86.34
P752	463627.46	6750854.47	85.01
P753	463630.72	6750863.75	84.90
P754	463631.87	6750870.17	84.35
P755	463629.38	6750877.36	83.78
P756	463629.66	6750879.44	83.47
P757	463628.85	6750882.65	83.30
P758	463626.61	6750883.63	83.48
P759	463627.76	6750884.80	83.20
P760	463630.24	6750880.21	83.42
P761	463636.23	6750877.00	83.29
P762	463637.62	6750877.03	83.08
P763	463633.51	6750873.06	83.40
P764	463632.78	6750872.88	84.28
P765	463634.18	6750868.73	84.17
P766	463634.60	6750868.99	83.45
P767	463635.48	6750865.12	84.28
P768	463636.08	6750865.39	83.52
P769	463643.26	6750868.88	83.00
P770	463644.25	6750869.00	82.86
P771	463645.90	6750859.64	82.97
P772	463647.16	6750860.13	82.62
P773	463642.36	6750856.66	83.26
P774	463639.21	6750856.01	83.48
P775	463637.52	6750855.25	85.51
P776	463638.62	6750851.69	85.65
P777	463640.92	6750850.25	83.77
P778	463643.75	6750846.88	83.56
P779	463648.00	6750848.79	82.80
P780	463650.01	6750847.77	82.64
P781	463647.49	6750845.92	82.61
P782	463647.38	6750845.93	82.89
P783	463644.05	6750844.67	84.31

P784	463641.87	6750843.02	86.28
P785	463638.84	6750842.94	86.45
P786	463639.38	6750841.31	88.10
P787	463647.22	6750818.64	85.00
P788	463649.85	6750825.03	87.28
P789	463651.66	6750826.00	84.77
P790	463653.19	6750827.73	82.76
P791	463652.87	6750827.25	83.57
P792	463650.40	6750811.70	84.45
P793	463660.54	6750797.86	86.62
P794	463659.84	6750759.16	99.45
P795	463655.86	6750752.27	103.75
P796	463676.62	6750723.91	103.53
P797	463665.93	6750717.55	103.47
P798	463776.89	6750653.18	98.48
P799	463765.42	6750641.08	101.80
P800	463781.70	6750638.75	100.20
P801	463808.91	6750631.51	97.28
P802	463834.17	6750624.00	94.87
P803	463954.58	6750574.03	85.75
P804	463954.32	6750570.68	85.72
P805	463964.90	6750594.61	83.94
P806	463958.47	6750600.42	88.39
P807	463954.29	6750599.59	84.25
P808	463968.93	6750584.59	82.73
P809	463970.69	6750586.52	82.00
P810	463972.90	6750585.45	74.05
P811	463972.94	6750588.80	73.48
P812	463972.89	6750590.15	73.57
P813	463978.35	6750586.70	75.45
P814	463976.88	6750585.88	88.05
P815	463981.95	6750577.43	69.88
P816	463986.07	6750581.45	74.30
P817	463982.96	6750577.89	75.93
P818	463981.87	6750577.64	81.25
P819	463977.58	6750574.97	75.17
P820	463972.04	6750573.17	81.80
P821	463976.23	6750573.95	82.48
P822	463980.20	6750567.06	80.16
P823	463986.20	6750562.55	78.30
P824	463990.84	6750562.38	77.82
P825	464003.96	6750559.49	75.84
P826	464000.95	6750556.86	76.59
P827	464002.58	6750551.61	69.03
P828	464013.41	6750545.58	73.89
P829	464016.25	6750546.73	75.18
P830	464019.00	6750539.61	76.57
P831	464020.48	6750539.73	76.04
P832	464015.22	6750538.07	75.29
P833	464008.07	6750540.45	76.92

P834	464007.79	6750538.86	79.57
P835	464004.52	6750539.40	77.71
P836	464005.47	6750536.74	84.29
P837	464002.81	6750529.87	84.27
P838	464015.42	6750518.06	82.39
P839	464023.45	6750515.22	74.65
P840	464023.97	6750512.73	70.38
P841	464025.80	6750513.87	74.70
P842	464020.91	6750501.62	65.64
P843	464022.42	6750500.85	71.59
P844	464022.88	6750498.11	75.90
P845	464019.72	6750496.67	74.66
P846	464018.14	6750488.01	69.40
P847	464021.57	6750487.22	69.12
P848	464014.18	6750485.51	69.44
P849	464013.06	6750485.48	70.05
P850	464009.96	6750485.18	71.44
P851	463980.80	6750482.47	80.55
P852	463975.04	6750481.30	84.37
P853	463958.96	6750475.51	84.60
P854	463959.44	6750466.80	84.35
P855	463930.42	6750463.75	91.17
P856	463924.50	6750474.80	92.59
P857	463886.29	6750475.62	97.47
P858	463883.02	6750459.49	97.42
P859	463861.01	6750457.34	101.99
P860	463855.01	6750474.49	102.96
P861	463829.60	6750471.48	106.70
P862	463835.88	6750448.57	105.73
P863	463826.89	6750446.47	105.83
P864	463819.05	6750473.36	106.75
P865	463909.87	6750474.05	94.51
P866	463950.95	6750481.31	89.67
P867	463945.50	6750492.65	90.45
P868	463944.83	6750501.50	90.45
P869	463941.20	6750515.05	91.12
P870	463948.24	6750518.93	89.92
P871	463953.26	6750521.50	89.09
P872	463950.89	6750511.48	89.76
P873	463955.36	6750503.06	89.36
P874	463958.69	6750497.04	88.84
P875	463964.78	6750484.65	88.05
P876	463968.00	6750478.12	85.18
P877	464001.37	6750439.49	72.58
P878	464003.28	6750438.23	71.41
P879	463996.92	6750439.02	69.65
P880	463855.71	6750382.64	103.53
P881	463887.65	6750294.33	104.49
P882	463909.68	6750265.55	104.85
P883	463959.96	6750220.75	104.57

P884	464058.95	6750167.38	103.19
P885	464119.63	6750026.88	99.52
P886	464146.08	6750022.64	94.46
P887	464170.32	6750021.03	91.34
P888	464210.22	6750019.86	87.36
P889	464261.28	6750026.37	83.87
P890	464327.41	6750035.74	83.13
P891	464357.14	6750051.25	82.31
P892	464347.24	6750120.58	78.58
P893	464353.34	6750137.49	82.88
P894	464388.94	6750137.01	82.74
P895	464406.68	6750146.96	81.41
P896	464403.86	6750164.13	77.75
P897	464397.74	6750181.11	79.11
P898	464396.17	6750190.01	78.55
P899	464384.58	6750191.47	78.78
P900	464383.07	6750198.96	77.29
P901	464386.26	6750202.14	77.21
P902	464393.78	6750200.54	77.05
P903	464399.38	6750198.28	77.02
P904	464400.79	6750198.82	76.84
P905	464394.89	6750191.51	77.79
P906	464396.42	6750189.60	78.64
P907	464409.24	6750151.27	79.71
P908	464402.28	6750141.58	82.66
P909	464418.72	6750141.05	86.48
P910	464432.69	6750121.84	82.66
P911	464432.70	6750121.84	82.69
P912	464435.46	6750127.85	81.18
P913	464440.13	6750129.16	80.83
P914	464449.32	6750112.18	85.44
P915	464455.53	6750094.36	81.83
P916	464452.84	6750079.13	81.85
P917	464450.38	6750065.73	82.91
P918	464450.45	6750036.97	80.73
P919	464460.61	6750019.62	81.73
P920	464472.69	6750007.06	85.77
P921	464436.72	6749986.25	85.15
P922	464435.86	6749986.19	86.25
P923	464439.03	6749961.08	82.13
P924	464449.73	6749956.86	81.98
P925	464464.77	6749956.18	82.00
P926	464480.86	6749956.10	81.91
P927	464481.66	6749946.90	84.88
P928	464484.66	6749948.21	81.55
P929	464486.86	6749944.22	79.78
P930	464489.18	6749944.53	78.83
P931	464488.42	6749932.04	78.71
P932	464488.77	6749927.05	78.81
P933	464489.48	6749926.80	77.94

P934	464494.29	6749922.17	78.87
P935	464501.95	6749922.69	77.11
P936	464504.03	6749927.20	76.59
P937	464505.82	6749926.67	75.62
P938	464508.85	6749927.97	76.39
P939	464509.07	6749930.50	75.39
P940	464510.41	6749927.75	75.39
P941	464508.51	6749904.59	77.84
P942	464509.82	6749904.05	76.64
P943	464510.13	6749891.49	75.43
P944	464511.85	6749891.77	75.17
P945	464509.41	6749888.92	80.01
P946	464507.21	6749888.92	79.52
P947	464500.61	6749889.21	78.34
P948	464493.46	6749884.04	79.24
P949	464488.81	6749885.86	81.36
P950	464483.62	6749884.30	81.43
P951	464470.74	6749883.48	81.26
P952	464457.64	6749883.41	81.03
P953	464440.32	6749885.39	81.04
P954	464440.94	6749838.32	80.66
P955	464459.55	6749839.53	81.01
P956	464481.11	6749843.28	81.36
P957	464489.04	6749846.44	81.47
P958	464469.46	6749781.03	79.57
P959	464451.98	6749783.68	79.87
P960	464453.29	6749794.31	81.01
P961	464434.12	6749797.99	80.75
P962	464430.54	6749778.37	78.81
P963	464423.71	6749780.21	78.61
P964	464415.24	6749789.28	77.77
P965	464411.62	6749786.35	77.24
P966	464416.60	6749774.17	75.15
P967	464413.76	6749769.29	75.77
P968	464411.60	6749772.48	75.75
P969	464403.48	6749771.71	73.68
P970	464403.67	6749764.58	72.87
P971	464402.10	6749764.54	75.05
P972	464408.02	6749759.53	109.30
P973	464417.09	6749755.25	73.91
P974	464415.22	6749753.54	73.75
P975	464420.29	6749756.00	76.05
P976	464421.28	6749749.96	73.73
P977	464423.19	6749745.70	73.24
P978	464427.40	6749746.46	73.91
P979	464434.82	6749745.55	74.44
P980	464442.90	6749744.60	76.35
P981	464443.42	6749749.26	74.71
P982	464438.76	6749750.60	74.35
P983	464437.45	6749747.39	74.81

P984	464429.45	6749748.76	74.59
P985	464428.75	6749751.53	74.14
P986	464424.98	6749751.79	74.12
P987	464416.04	6749756.23	74.08
P988	464408.23	6749793.81	74.95
P989	464413.18	6749803.15	79.86
P990	464414.24	6749829.50	79.87
P991	464401.33	6749832.49	79.31
P992	464384.60	6749842.06	78.19
P993	464386.03	6749855.59	80.87
P994	464386.94	6749874.06	81.52
P995	464373.03	6749879.95	80.60
P996	464355.67	6749870.32	79.13
P997	464344.51	6749875.97	77.63
P998	464335.05	6749879.81	78.47
P999	464324.90	6749884.11	79.24
P1000	464320.96	6749877.56	78.45
P1001	464307.33	6749878.22	75.99
P1002	464298.64	6749878.82	74.72
P1003	464296.70	6749876.01	70.57
P1004	464296.86	6749873.67	72.02
P1005	464299.54	6749872.78	73.65
P1006	464297.54	6749870.75	74.51
P1007	464293.41	6749874.12	72.64
P1008	464293.26	6749876.66	76.33
P1009	464294.44	6749875.99	80.34
P1010	464296.36	6749879.94	79.22
P1011	464293.78	6749885.29	78.78
P1012	464293.13	6749887.92	79.52
P1013	464293.86	6749890.48	78.50
P1014	464280.23	6749892.83	79.84
P1015	464281.99	6749890.06	77.02
P1016	464275.15	6749888.19	78.21
P1017	464254.54	6749891.99	76.80
P1018	464234.58	6749899.38	76.09
P1019	464233.02	6749896.83	74.30
P1020	464232.38	6749892.96	73.12
P1021	464235.75	6749891.25	73.18
P1022	464240.49	6749890.08	73.09
P1023	464235.59	6749889.62	72.87
P1024	464229.69	6749892.23	73.20
P1025	464221.30	6749892.83	71.63
P1026	464219.93	6749892.85	73.00
P1027	464223.70	6749896.08	74.53
P1028	464229.23	6749896.83	76.80
P1029	464242.19	6749910.87	78.01
P1030	464256.69	6749918.60	79.30
P1031	464261.27	6749939.94	80.40
P1032	464270.17	6749951.64	80.86
P1033	464270.39	6749965.56	82.59

P1034	464255.46	6750005.20	90.11
P1035	463388.25	6751174.77	86.56
P1036	464202.23	6749516.68	74.53
P1037	464202.73	6749509.79	74.61
P1038	464195.95	6749517.74	74.88
P1039	464191.28	6749517.64	73.52
P1040	464185.85	6749516.46	76.39
P1041	464183.88	6749517.49	71.35
P1042	464157.58	6749516.22	71.14
P1043	464156.23	6749516.07	72.13
P1044	464152.49	6749514.93	73.76
P1045	464147.04	6749520.47	75.12
P1046	464149.46	6749521.88	73.66
P1047	464153.68	6749520.47	66.85
P1048	464154.41	6749524.21	68.41
P1049	464157.85	6749525.38	73.93
P1050	464151.56	6749529.97	70.98
P1051	464151.86	6749530.02	71.09
P1052	464150.11	6749528.77	71.67
P1053	464148.30	6749527.92	73.12
P1054	464145.77	6749525.28	74.70
P1055	464141.63	6749525.21	75.77
P1056	464139.41	6749531.14	76.32
P1057	464123.31	6749550.81	78.58
P1058	464105.03	6749579.80	79.53
P1059	464074.84	6749624.19	81.14
P1060	464056.05	6749664.83	82.81
P1061	464041.24	6749705.48	84.40
P1062	464033.90	6749751.44	86.19
P1063	464031.88	6749812.18	89.03
P1064	464044.95	6749844.58	86.40
P1065	464087.02	6749861.52	82.64
P1066	464116.95	6749897.54	84.62
P1067	464090.45	6749917.97	89.58
P1068	464068.09	6749928.89	95.10
P1069	464058.56	6749931.70	95.32
P1070	464030.43	6749859.67	93.45
P1071	464021.33	6749816.53	89.38
P1072	464026.58	6749735.01	89.27
P1073	464050.94	6749645.98	81.58
P1074	464106.64	6749557.52	81.37
P1075	464121.99	6749515.94	78.21
P1076	464122.31	6749503.67	84.94
P1077	464134.22	6749506.41	78.01
P1078	464155.05	6749510.16	73.58
P1079	464157.49	6749509.97	72.85
P1080	464159.22	6749510.53	71.43
P1081	464182.99	6749511.49	71.39
P1082	464180.72	6749510.76	71.04
P1083	464190.35	6749511.28	72.09

P1084	464190.76	6749511.28	72.95
P1085	464196.07	6749511.39	73.79
P1086	464205.55	6749509.26	74.94
P1087	464217.75	6749506.77	76.17
P1088	464216.28	6749517.89	76.02
P1089	464192.33	6749517.60	79.28
P1090	464187.23	6749516.94	78.02
P1091	464182.08	6749519.95	71.39
P1092	464173.12	6749530.21	71.64
P1093	464177.54	6749536.03	71.24
P1094	464163.51	6749549.23	71.19
P1095	464160.33	6749548.66	73.48
P1096	464159.34	6749548.10	71.03
P1097	464148.73	6749568.58	71.34
P1098	464153.52	6749572.74	74.44
P1099	464154.68	6749577.57	72.79
P1100	464146.08	6749583.72	71.69
P1101	464136.90	6749603.60	78.51
P1102	464134.13	6749615.41	74.23
P1103	464123.28	6749624.49	71.96
P1104	464116.85	6749633.00	72.01
P1105	464110.13	6749645.52	72.40
P1106	464106.42	6749649.83	71.59
P1107	464097.71	6749662.85	72.31
P1108	464092.70	6749678.24	72.39
P1109	464090.12	6749688.18	72.34
P1110	464088.71	6749690.43	72.13
P1111	464092.76	6749691.01	72.19
P1112	464091.76	6749705.19	70.22
P1113	464091.45	6749719.34	76.53
P1114	464074.03	6749758.67	76.06
P1115	464077.88	6749759.26	73.06
P1116	464082.99	6749761.89	73.51
P1117	464086.45	6749760.91	76.18
P1118	464094.75	6749760.16	76.05
P1119	464096.04	6749776.37	76.08
P1120	464110.24	6749777.67	76.59
P1121	464118.51	6749776.29	77.98
P1122	464152.02	6749776.47	79.31
P1123	464153.05	6749759.35	80.01
P1124	464114.20	6749761.16	78.14
P1125	464111.97	6749735.06	78.38
P1126	464111.26	6749714.78	78.53
P1127	464114.80	6749700.72	78.82
P1128	464145.22	6749701.94	79.79
P1129	464178.17	6749700.74	80.25
P1130	464202.43	6749704.41	80.21
P1131	464211.54	6749739.98	80.58
P1132	464223.36	6749737.79	80.83
P1133	464223.23	6749751.99	81.40

P1134	464224.91	6749772.47	82.84
P1135	464227.40	6749790.48	81.91
P1136	464216.50	6749800.79	80.13
P1137	464216.50	6749800.81	80.14
P1138	464218.50	6749814.58	79.50
P1139	464215.61	6749847.86	77.63
P1140	464182.07	6749848.82	77.31
P1141	464157.68	6749839.97	77.16
P1142	464147.53	6749831.08	77.27
P1143	464139.31	6749835.08	76.07
P1144	464125.65	6749823.08	77.82
P1145	464144.53	6749842.69	76.21
P1146	464144.42	6749844.89	75.24
P1147	464142.44	6749846.30	74.37
P1148	464142.58	6749848.32	74.50
P1149	464189.12	6749852.93	77.23
P1150	464204.92	6749855.54	77.88
P1151	464271.79	6749833.29	78.75
P1152	464278.70	6749831.62	82.30
P1153	464272.40	6749827.45	79.23
P1154	464242.66	6749809.39	80.52
P1155	464228.12	6749748.19	81.97
P1156	464247.58	6749734.73	82.94
P1157	464249.56	6749688.48	81.32
P1158	464247.82	6749652.80	79.72
P1159	464244.26	6749597.87	78.36
P1160	464241.49	6749519.09	77.06
P1161	464238.55	6749521.67	77.18
P1162	464326.54	6749517.71	77.33
P1163	464326.34	6749505.79	83.20
P1164	464329.40	6749641.58	80.83
P1165	464329.53	6749653.11	80.93
P1166	463432.55	6751168.49	91.84
P1167	463439.84	6751158.06	90.21
P1168	463439.17	6751155.51	89.37
P1169	463440.39	6751146.33	88.31
P1170	463439.72	6751145.08	86.38
P1171	463433.29	6751147.97	86.71
P1172	463426.37	6751151.85	89.24
P1173	463420.07	6751154.74	87.91
P1174	463413.15	6751153.24	85.42
P1175	463421.25	6751145.83	85.32
P1176	463424.71	6751146.04	90.39
P1177	463431.14	6751144.65	87.01
P1178	463439.89	6751139.57	86.00
P1179	463438.58	6751136.05	84.95
P1180	463442.62	6751133.83	85.05
P1181	463445.42	6751136.47	85.81
P1182	463450.59	6751138.56	86.32
P1183	463451.86	6751142.94	88.53

P1184	463453.75	6751148.24	96.39
P1185	463455.24	6751149.83	91.85
P1186	463469.27	6751142.27	94.42
P1187	463467.58	6751137.11	87.64
P1188	463467.14	6751133.65	84.28
P1189	463467.29	6751129.02	86.25
P1190	463470.19	6751122.48	84.92
P1191	463470.08	6751121.59	84.64
P1192	463478.59	6751118.05	84.87
P1193	463486.85	6751113.64	84.83
P1194	463490.07	6751115.97	85.72
P1195	463493.87	6751121.57	87.53
P1196	463504.60	6751129.03	89.10
P1197	463530.71	6751118.49	89.86
P1198	463570.22	6751083.24	90.05
P1199	463599.09	6751025.45	89.17
P1200	463593.20	6751017.01	89.67
P1201	463591.79	6751015.14	85.97
P1202	463590.60	6751009.85	83.99
P1203	463616.42	6750989.33	89.41
P1204	463621.21	6750956.70	88.66
P1205	463620.39	6750954.67	87.28
P1206	463618.51	6750951.27	84.79
P1207	463620.51	6750947.26	85.06
P1208	463614.62	6750951.41	83.95
P1209	463617.83	6750953.60	85.26
P1210	463645.49	6750914.26	88.88
P1211	463654.00	6750899.92	89.04
P1212	463658.66	6750901.99	88.81
P1213	463666.58	6750905.08	89.07
P1214	463672.89	6750905.45	90.57
P1215	463651.45	6750898.08	88.71
P1216	463649.44	6750897.21	87.29
P1217	463646.15	6750895.06	83.42
P1218	463647.22	6750889.34	85.50
P1219	463647.07	6750895.52	83.86
P1220	463645.06	6750894.04	83.11
P1221	463659.61	6750881.41	88.86
P1222	463684.89	6750881.08	88.36
P1223	463708.17	6750866.78	87.96
P1224	463731.06	6750844.53	87.82
P1225	463698.90	6750819.04	88.21
P1226	463739.03	6750795.24	87.44
P1227	463742.57	6750781.74	87.21
P1228	463815.63	6750730.82	85.88
P1229	463845.54	6750705.18	85.30
P1230	463842.87	6750702.17	84.48
P1231	463843.25	6750697.72	83.14
P1232	463844.22	6750693.39	81.72
P1233	463924.60	6750659.46	85.06

P1234	463917.91	6750655.38	85.91
P1235	463916.10	6750652.04	84.26
P1236	463915.41	6750648.41	82.65
P1237	463915.14	6750647.41	77.88
P1238	463939.61	6750681.36	84.83
P1239	463935.90	6750701.24	84.73
P1240	463906.86	6750723.83	85.04
P1241	463908.82	6750728.10	85.89
P1242	463948.13	6750713.14	87.98
P1243	463977.07	6750685.51	93.36
P1244	464010.02	6750647.92	95.22
P1245	464026.75	6750633.81	94.65
P1246	464040.32	6750596.57	93.26
P1247	464038.74	6750594.91	93.09
P1248	464030.91	6750588.91	90.95
P1249	464024.67	6750585.25	89.19
P1250	464014.11	6750580.52	83.90
P1251	464009.86	6750576.11	80.66
P1252	464007.72	6750574.37	84.96
P1253	464007.23	6750570.54	84.53
P1254	464006.66	6750576.87	81.40
P1255	464050.36	6750565.84	92.99
P1256	464074.15	6750516.41	94.01
P1257	464080.52	6750497.66	94.90
P1258	464066.34	6750494.82	92.95
P1259	464050.58	6750490.39	93.90
P1260	464101.77	6750446.19	97.05
P1261	464102.90	6750443.47	97.00
P1262	464107.68	6750391.43	93.30
P1263	464070.06	6750384.09	92.03
P1264	464065.82	6750312.11	87.31
P1265	464064.50	6750296.22	86.29
P1266	464051.04	6750294.07	88.83
P1267	464051.14	6750267.57	87.83
P1268	464041.78	6750264.42	85.96
P1269	464035.71	6750274.62	88.84
P1270	464024.69	6750266.73	86.83
P1271	464014.91	6750262.80	81.20
P1272	464005.88	6750259.87	80.69
P1273	464005.30	6750259.68	76.99
P1274	464004.68	6750271.32	83.60
P1275	463982.53	6750283.90	82.96
P1276	463975.28	6750281.47	81.60
P1277	463974.18	6750281.21	80.96
P1278	463969.77	6750278.71	80.32
P1279	463964.58	6750276.84	79.80
P1280	463960.93	6750287.55	79.78
P1281	463964.02	6750294.97	80.42
P1282	463961.46	6750298.74	79.77
P1283	463968.84	6750303.39	80.88

P1284	463970.58	6750313.28	82.61
P1285	463967.49	6750314.27	84.86
P1286	463979.73	6750327.46	82.04
P1287	463982.80	6750325.59	81.47
P1288	463985.44	6750313.38	79.55
P1289	463993.28	6750318.41	82.36
P1290	463992.80	6750318.05	83.16
P1291	463992.57	6750317.74	84.00
P1292	463992.58	6750317.51	83.95
P1293	464137.99	6750312.63	88.20
P1294	464135.41	6750307.17	88.12
P1295	464134.82	6750296.42	86.78
P1296	464136.60	6750272.99	86.32
P1297	464139.84	6750251.74	83.52
P1298	464137.38	6750245.65	85.55
P1299	464137.48	6750237.63	81.08
P1300	464142.34	6750256.51	84.71
P1301	464145.09	6750281.89	86.42
P1302	464191.62	6750308.50	89.76
P1303	464273.63	6750307.62	90.67
P1304	464286.34	6750466.24	118.99
P1305	464528.93	6750154.28	122.13
P1306	464603.15	6749963.28	114.97
P1307	464602.51	6749956.95	114.64
P1308	464609.06	6749956.81	114.81
P1309	463610.10	6751126.63	91.99
P1310	463611.09	6751344.82	92.26
P1311	463606.81	6751523.73	94.02
P1312	463604.04	6751671.87	97.83
P1313	463483.88	6751670.02	92.07
P1314	463459.37	6751933.35	100.11
P1315	463514.06	6751522.16	92.11
P1316	463513.33	6751529.69	92.19
P1317	463526.57	6751345.68	92.58
P1318	463527.73	6751207.67	91.98
P1319	463512.11	6751201.60	94.26
P1320	463529.89	6751181.57	94.09
P1321	463554.02	6751153.71	93.97
P1322	463601.51	6751110.84	93.87
P1323	463605.48	6751118.34	92.15
P1324	463599.88	6751101.69	94.45
P1325	463597.29	6751083.27	94.24
P1326	463612.82	6751056.27	93.54
P1327	463653.10	6751002.20	93.52
P1328	463483.86	6751195.46	94.47
P1329	463468.34	6751195.31	93.38