

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DA ENERGIA**

**ELABORAÇÃO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO PARA  
DELIMITAÇÃO DE APPS DE CURSOS D'ÁGUA NO MUNICÍPIO DE  
POUSO ALEGRE-MG**

**Valquíria de Noronha Lima**

**Itajubá, outubro de 2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DA ENERGIA**

**Valquíria de Noronha Lima**

**ELABORAÇÃO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO PARA  
DELIMITAÇÃO DE APPS DE CURSOS D'ÁGUA NO MUNICÍPIO DE  
POUSO ALEGRE-MG**

**Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação  
em Engenharia da Energia como parte dos requisitos  
para obtenção do Título de Mestre em Ciências em  
Engenharia da Energia.**

**Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio  
Ambiente – ESMA**

**Orientador: Alexandre Augusto Barbosa**

**Outubro de 2011  
Itajubá – MG**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Cristiane Carpinteiro-CRB\_6/1702

L732e

Lima, Valquíria de Noronha

Elaboração de manchas de inundação para delimitação de APPs de cursos d'água no município de Pouso Alegre - MG / por Valquíria de Noronha Lima. --Itajubá (MG) : [s.n.], 2011.

87 p. : il.

Orientador : Prof. Dr. Alexandre Augusto Barbosa.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Mancha de inundação. 2. APP. 3. Código florestal. 4. Pouso Alegre.  
I. Barbosa, Alexandre Augusto, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DA ENERGIA**

**Valquíria de Noronha Lima**

**ELABORAÇÃO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO PARA  
DELIMITAÇÃO DE APPS DE CURSOS D'ÁGUA NO MUNICÍPIO DE  
POUSO ALEGRE- MG**

**Dissertação aprovada por banca examinadora em  
07/10/2011, conferindo à autora o título de Mestre em  
Ciências em Engenharia da Energia.**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Alexandre Augusto Barbosa (Orientador)  
Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu (Unifei)  
Prof. Dra. Lilians Lazzari Albertin (Unesp-IS)**

**Outubro de 2011  
Itajubá – MG**

## **Dedicatória**

*Aos meus pais Elisa e Fernando*

## **Agradecimentos**

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Alexandre Augusto Barbosa, pela competência e paciência.

À Prof<sup>a</sup>. Ana Paula Moni Silva, pela colaboração e amizade.

Aos companheiros Adriano Campos, Thales Leandro, Osvaldo Rodrigues, Vinícius Scartezini, Rafael Colucci e Adam Douglas pela colaboração frequente nos trabalhos de campo. Aos tantos outros que participaram em algum momento para que esse trabalho fosse realizado.

Ao Laboratório de Informações Hidrológicas da UNIFEI, pelo apoio técnico e maquinário, essenciais à elaboração desse trabalho.

Ao meu tio Francisco Régis, que contribuiu com a revisão deste trabalho.

À CAPES, através do Programa de bolsas, pelo apoio financeiro.

Aos meus pais, Fernando e Elisa, que me mostraram a importância da educação e sempre me apoiaram.

## **Resumo**

**LIMA, V.N. (2011)**, *Elaboração de manchas de inundação para delimitação de APPs de cursos d'água no município de Pouso Alegre-MG*. Itajubá, 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) Universidade Federal de Itajubá.

Apresenta-se a metodologia para elaboração de manchas de inundação com o programa SPRING, utilizando como estudo de caso a área urbana de Pouso Alegre-MG. São mostradas manchas com diferentes tempos de retorno realizadas a partir do Rio Mandu, do Rio Sapucaí-Mirim e do Rio Sapucaí. A partir da mancha de tempo de retorno de 2 anos e do disposto na Legislação Brasileira, traça-se a área de APP. Esta é comparada com outras manchas de inundação.

### ***Palavras-chave***

Mancha de Inundação, APP, Código Florestal, Pouso Alegre.

## Sumário

1.	Introdução .	1
1.1	Objetivo	1
1.2	Justificativa	2
1.3	Limitações	2
1.4	Organização do trabalho	3
2	Revisão Bibliográfica	4
2.1	Escoamento Superficial	4
2.2	Enchentes	5
2.3	Mapeamento de áreas inundáveis	7
2.4	Legislação Ambiental	8
2.5	Dados hidrometeorológicos	12
2.6	Geoprocessamento	17
2.7	Estudos de Caso Mundiais	19
2.8	Estudos de Caso Brasileiros	28
3	Materiais e Métodos	37
3.1	Caracterização da área	37
3.2	Dados hidrometeorológicos	41
3.3	Elaboração de uma mancha de inundação	55
3.4	Delimitação de APP	56



4	Resultados e Discussões -----	59
4.1	Manchas de Inundação -----	59
4.2	Área de Preservação Permanente -----	72
5	Conclusões -----	78
6	Referências Bibliográficas -----	80
Anexo 1	-----	83
Anexo 2	-----	86

## Lista de Figuras

Figura 2.1: Hidrogramas (Adaptado de TUCCI, 2002.)-----	5
Figura 2.2: Modificações ocorridas em uma área pré e pós urbanização (Adaptado de SCHUELER 1995(a) e SCHUELER 1987) -----	6
Figura 2.3: Macrozoneamento Municipal (POUSO ALEGRE, 2008) -----	10
Figura 2.4: Elementos geométricos de uma seção. (Adaptado de PORTO, 2004) -----	13
Figura 2.5: Representação da Curva-chave (Adaptado de TUCCI, 2002)-----	15
Figura 2.6: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. (CÂMARA et. al., 1996a) --	18
Figura 2.7: Quadro geral do Sistema de Alerta de inundação Europeia. (THIELEN et al., 2009)-----	20
Figura 2.8: As bacias hidrográficas para as quais um sistema de parceria com o EFAS existe ou está em negociação. Data de referência: 06/12/2010 (Fonte: <a href="http://floods.jrc.ec.europa.eu/efas-documents/efas-partners.html">http://floods.jrc.ec.europa.eu/efas-documents/efas-partners.html</a> ) -----	21
Figura 2.9: Descargas simuladas (linhas cinza) e observadas (linhas pretas) em m <sup>3</sup> /s para as bacias hidrográficas e em diferentes períodos de dois anos. (Modificado de THIELEN et al., 2009) -----	22
Figura 2.10: Mapa da cidade de Hanói e das RUA. (HUNG et al., 2007) -----	23
Figura 2.11: Nível de satisfação dos entrevistados sobre as condições de vida nas RUA. (HUNG et al., 2007)-----	25
Figura 2.12: Resultado do modelo de extensão e profundidade de inundação para a província de Phu Tho. (CHIESA et. al, 2008) -----	27
Figura 2.13: Atlas de Riscos e Vulnerabilidade do Vietnã. (CHIESA et al., 2008) -----	28

Figura 2.14: Cenário da área a ser licenciada e a faixa da APP de 50 metros a partir da margem definida pela cheia sazonal (esquerda) e pela maior cheia local (direita). (Modificado de SCARTAZZINI, KAUTZMANN E FISCHER, 2008) -----	29
Figura 2.15: Simulação da faixa de proteção ciliar com Tempo de Retorno de 3, 10 e 15 anos, respectivamente. (Modificado de SCARTAZZINI, KAUTZMANN E FISCHER, 2008) -----	30
Figura 2.16: Esquema básico de um sistema de transmissão de dados hídricos (MATTOS, 2004) -----	31
Figura 2.17: Localização das estações de monitoramento (Modificado de MATTOS, 2004)	31
Figura 2.18: Curva-chave da seção da COPASA, no bairro Santa Rosa, Itajubá-MG. (BARBOSA e MATOS, 2004)-----	32
Figura 2.19: Distribuição anual dos níveis máximos de cheia observados e calculados para a Estação-base. (PINHEIRO, 2005) -----	33
Figura 2.20: Curva-chave (nível x vazão) para a estação-base. (PINHEIRO, 2005) -----	33
Figura 2.21: Fluxograma para elaboração de Mancha de Inundação (MONI SILVA, 2006)-	34
Figura 2.22: Mancha de Inundação para TR=10 anos. Cota de inundação=845,27. (MONI SILVA, 2006) -----	35
Figura 2.23: Mancha de Inundação para TR=10 anos. (BERTI SARLAS, 2010) -----	36
Figura 3.1: Estradas de acesso a Pouso Alegre. (Fonte: <a href="http://www.br381.com.br/cidades/pousoalegre/mapa.htm">http://www.br381.com.br/cidades/pousoalegre/mapa.htm</a> ) -----	37
Figura 3.2: Sub-bacia do Rio Sapucaí – trecho de interesse para o estudo. -----	38
Figura 3.3: Bacia do Rio Sapucaí e suas subdivisões. (Fonte: CBH Sapucaí ) -----	39
Figura 3.4: Posicionamento georreferenciado das estações de controle. -----	40
Figura 3.5: Áreas de influência das estações pluviométricas no contexto da bacia hidrográfica do Rio Sapucaí. -----	42
Figura 3.6: Precipitações mensais para o período de 1998 a 2009 na sub-bacia do Rio Sapucaí. -----	43
Figura 3.7: Média mensal de precipitação para a sub-bacia do Rio Sapucaí. -----	43

Figura 3.8: Declividade do Rio Mandu – 2009 .....	44
Figura 3.9: Declividade do Rio Sapucaí-Mirim - 2009 .....	45
Figura 3.10: Declividade do Rio Sapucaí - 2009 .....	45
Figura 3.11: Pontos obtidos com DGPS para o cálculo da declividade dos rios Mandu, Sapucaí-Mirim e Sapucaí - 2009 .....	46
Figura 3.12: Seção Topobatimétrica Mandu, medida em 28/07/2009. ....	47
Figura 3.13: Seção Topobatimétrica Chapadão, medida em 28/07/2009. ....	48
Figura 3.14: Seção Topobatimétrica Confluência, medida em 22/08/2009. ....	48
Figura 3.15: Características hidráulicas obtidas com o Qliner para a estação de controle do Rio Mandu. ....	49
Figura 3.16: Características hidráulicas obtidas com o Qliner para a estação de controle do Rio Sapucaí-Mirim – Chapadão. ....	49
Figura 3.17: Características hidráulicas obtidas com o Qliner para a estação de controle do Rio Sapucaí – Confluência. ....	50
Figura 3.18: Curva-chave do Rio Mandu na seção Mandu. ....	51
Figura 3.19: Curva-chave do Rio Sapucaí-Mirim na seção Chapadão. ....	51
Figura 3.20: Curva-chave do Rio Sapucaí na seção Confluência. ....	52
Figura 3.21: Tempos de retorno, em função da vazão volumétrica, para a estação de monitoramento no Bairro Santa Rosa, Itajubá-MG. (UNIFEI, 2010) .....	53
Figura 3.22: Tempos de retorno para as estações de monitoramento. (Modificado de UNIFEI, 2010) .....	54
Figura 3.23: Esquema de dados necessários para geração de manchas de inundação. ....	55
Figura 3.24: Principais procedimentos para a elaboração de uma mancha de inundação com o programa SPRING. ....	56
Figura 3.25: Exemplificação de procedimento empregado para delimitação de APP. ....	57
Figura 4.1: Mancha de inundação para TR 2 e 100 anos do Rio Mandu. ....	60
Figura 4.2: Mancha de inundação para TR 5 e 50 anos do Rio Mandu. ....	61
Figura 4.3: Mancha de inundação para TR 10 e 1000 anos do Rio Mandu. ....	62

Figura 4.4: Mancha de inundação para TR 25 e 500 anos do Rio Mandu. -----	63
Figura 4.5: Mancha de inundação para TR 2 e 100 anos do Rio Sapucaí-Mirim. -----	64
Figura 4.6: Mancha de inundação para TR 5 e 50 anos do Rio Sapucaí-Mirim. -----	65
Figura 4.7: Mancha de inundação para TR 10 e 1000 anos do Rio Sapucaí-Mirim. -----	66
Figura 4.8: Mancha de inundação para TR 25 e 500 anos do Rio Sapucaí-Mirim. -----	67
Figura 4.9: Mancha de inundação para TR 2 e 100 anos do Rio Sapucaí. -----	68
Figura 4.10: Mancha de inundação para TR 5 e 50 anos do Rio Sapucaí. -----	69
Figura 4.11: Mancha de inundação para TR 10 e 1000 anos do Rio Sapucaí. -----	70
Figura 4.12: Mancha de inundação para TR 25 e 500 anos do Rio Sapucaí. -----	71
Figura 4.13: Área de Preservação Permanente simples – a partir da margem do leito menor do rio. -----	73
Figura 4.14: Área de Preservação Permanente a partir da margem do leito sazonal – TR de 2 anos para o Rio Sapucaí-Mirim. -----	74
Figura 4.15: Comparativo entre a Área de Preservação Permanente a partir da margem do leito sazonal – TR de 2 anos e a mancha de inundação de TR 100 anos, ambas do Rio Sapucaí-Mirim. -----	75
Figura 4.16: Detalhes da APP de TR 2 anos e Mancha de inundação de TR 100 anos. -----	76
Figura 4.17: Detalhes da APP de TR 2 anos e Mancha de inundação de TR 10 anos. -----	77
Figura A1: Correlação das precipitações médias mensais de cada estação pluviométrica utilizada para o Método de Thiessen na Sub-Bacia do Rio Sapucaí. -----	85
Figura A2: Mosaico de fotos do trabalho de campo em Pouso Alegre, medições de topografia, em 2009. -----	86
Figura A3: Mosaico de fotos do trabalho de campo em Pouso Alegre, medições de topobatimetria e vazão das seções de controle, em 2009. -----	87

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Coeficiente de Manning para canais Naturais – Planícies de Inundação (CHOW, 1959)-----	17
Tabela 3.1: Resumo das estações de controle. -----	41
Tabela 3.2: Estações Pluviométricas utilizadas e suas áreas de influência sobre a Sub-Bacia do Rio Sapucaí, de acordo com o Método de Thiessen. -----	42
Tabela 3.3: Valores médios das declividades e desníveis dos rios. -----	44
Tabela 3.4: Valores médios das grandezas hidráulicas nas seções (período de vazante). -----	50
Tabela 3.5: Relação entre Tempo de Retorno, vazão e cota das seções de estudo -----	54
Tabela 4.1: Áreas em km <sup>2</sup> de cada mancha de inundação. -----	59
Tabela 4.2: Área total das APPs de margem de rio de forma simples – a partir do leito menor. -----	72
Tabela 5.1: Vantagens e desvantagens das diferentes metodologias de delimitação de APPs. -----	79
Tabela A.1: Histórico Pluviométrico para a Estação de Itajubá – MG -----	83
Tabela A.2: Histórico Pluviométrico para a Estação de Campos do Jordão – SP -----	83
Tabela A.3: Histórico Pluviométrico para a Estação de Monteiro Lobato – SP -----	84
Tabela A.4: Histórico Pluviométrico para a Estação de Guaratinguetá – SP -----	84

# 1 Introdução

O desenvolvimento urbano dá-se ao longo de rios devido ao abastecimento de água, descarte de rejeitos e possibilidade de transporte. Porém, se por um lado existem essas vantagens, também há as desvantagens, como poluição das águas e enchentes. Neste contexto, cria-se um paradoxo: desenvolvimento versus conservação. A legislação ambiental brasileira, uma das mais avançadas do mundo, dispõe sobre diferentes formas de conservação e dá diretrizes sobre o desenvolvimento urbano. Ainda existem, porém, algumas lacunas que devem ser discutidas de modo a preservar o meio ambiente e permitir que haja um desenvolvimento socioeconômico do local.

A enchente é o principal problema relacionado à água no meio urbano. Todos os anos, o Brasil presencia episódios de cheias que muitas vezes causam grandes prejuízos materiais e perda de vidas. Alguns dos fatores relacionados são de origem natural: hidrografia, relevo e pluviosidade da região, mas existem fatores antrópicos: retirada da mata nativa, impermeabilização do solo e alteração da rede de drenagem. Independente da origem do problema, existem ferramentas que podem simular situações de cheias e com isso criar políticas de desenvolvimento personalizadas, de acordo com as características locais.

## 1.1 Objetivo

A presente dissertação tem o objetivo de elaborar manchas de inundação para o município de Pouso Alegre, traçar Áreas de Preservação Permanente (APP) e fazer a comparação dos resultados obtidos.

Os objetivos específicos incluem:

- Mapeamento da cidade de Pouso Alegre através de levantamento topográfico;
- Levantamento hidrológico dos rios Mandu, Sapucaí-Mirim e Sapucaí;

- Elaboração de manchas de inundação através do SPRING para diferentes períodos de retorno;
- Discussão da legislação relacionada a Áreas de Preservação Permanente.

## **1.2 Justificativa**

As enchentes são eventos naturais que podem ser agravados por ações antrópicas. Elas causam grande impacto na vida das pessoas, pois são forças com grande capacidade destrutiva. As enchentes podem destruir propriedades, acabar com vidas e são um ambiente propício à propagação de doenças. Dados esses fatores, os prejuízos socioeconômicos relacionados às enchentes são inúmeros.

As enchentes que assolam Pouso Alegre ocorrem porque o município foi construído na baixada, no encontro dos rios Mandu, Sapucaí-Mirim e Sapucaí. Todos esses três são rios de planície, cuja inundação sazonal é uma característica intrínseca. Ao se construir em suas margens, assume-se o risco de sofrer as consequências de suas cheias.

A Legislação, de uma forma geral, tem por objetivo manter a integridade física das pessoas e proteger os seus bens. Cabe ao setor público prover meios para que isso ocorra. A delimitação de áreas inundáveis é uma ferramenta que possibilita a elaboração de um plano que pode prevenir os incidentes ou criar medidas que minimizem os prejuízos.

Deve-se fazer um planejamento urbano unificado, integrando as áreas propensas a riscos e as que devem ser preservadas para manutenção do equilíbrio ecológico. Um planejamento focado não somente na legislação em si, mas nas singularidades ambientais que o local possui.

## **1.3 Limitações**

A realização deste trabalho encontrou uma limitação com relação à disponibilidade de dados topográficos, que são a base para a elaboração dos modelos de manchas de inundação. A prefeitura de Pouso Alegre forneceu o de que ela dispunha, mas os demais dados necessários foram levantados juntamente com o processo de licenciamento ambiental dos diques a serem construídos.



Com relação aos dados hidrológicos, não havia um histórico confiável da área para que se pudesse basear as modelagens. Por essa razão, foram levantados dados locais e, a partir destes, fizeram-se projeções estatísticas e extrapolações para se chegar aos valores necessários ao trabalho.

As limitações citadas acima não representaram uma barreira à elaboração do trabalho, mas sim uma oportunidade de se obter novos dados e também de utilizar técnicas, já consolidadas, de tratamentos de dados.

## **1.4 Organização do trabalho**

O segundo capítulo desta dissertação apresenta a revisão bibliográfica. Esta se inicia com a descrição de escoamento, enchentes e zoneamento. Depois, são abordadas as legislações relacionadas à área de preservação permanente e zoneamento ambiental e feitas algumas considerações sobre dados hidrológicos e geoprocessamento. Finalmente, são apresentados alguns estudos de casos mundiais e nacionais.

O capítulo 3 trata dos materiais e métodos utilizados. Faz-se uma caracterização da área de estudo de maneira geral, depois aprofundada, mediante estudos hidrometeorológicos e uma descrição da metodologia de obtenção das manchas de inundação pelo programa SPRING. O capítulo é finalizado com a descrição do procedimento de delimitação das Áreas de Preservação Permanente.

O Capítulo 4 mostra os resultados obtidos, discutindo-se sobre eles. Primeiramente, são mostradas as diversas manchas de inundação delimitadas para os diferentes tempos de retornos; depois, traçadas as Áreas de Preservação Permanente de acordo com duas interpretações da lei. Por fim, foram realizadas comparações dos resultados obtidos e críticas e sugestões a respeito desses resultados.

O quinto capítulo traz as conclusões, as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. A dissertação é finalizada com as revisões bibliográficas e alguns anexos.

## 2 Revisão Bibliográfica

“A principal fonte de águas doces no planeta localiza-se no escoamento de águas da superfície” (TUNDISI *et.al.*, 2006). Neste aspecto, o Brasil é um país privilegiado, detentor de uma das maiores reservas de águas interiores do planeta. Mas esse privilégio vem acompanhado de uma consequência: as enchentes são as principais catástrofes naturais brasileiras e ocorrem a cada período chuvoso. Apesar de suas origens serem preferencialmente de ordem natural, elas são agravadas pela ação antrópica.

### 2.1 Escoamento Superficial

A água é reciclada no meio ambiente por meio do ciclo hidrológico. Uma de suas etapas é a precipitação, a partir daí a água irá seguir seu caminho pela superfície e concentrar-se. Para que a água forme um curso d'água, ela irá seguir três caminhos:

- Escoamento superficial – possui alta velocidade e é responsável pela rápida elevação do nível dos rios.
- Escoamento subsuperficial – é o escoamento de água no subsolo, possui velocidade mais lenta, é responsável pela manutenção do rio dias após as chuvas.
- Infiltração no subsolo – a infiltração é responsável por alimentar o lençol freático, possui velocidade lenta e é responsável pela manutenção do rio no tempo de estiagem.

Segundo Gribbin (2009), o escoamento constante que ocorre nos cursos d'água é chamado de escoamento de base e é devido ao fornecimento de água do subsolo. A elevação rápida e momentânea do curso d'água é chamada de escoamento superficial. O planejamento

urbano deve ser pautado no escoamento superficial, que é o fator limitante das redes de drenagem e o responsável pelas inundações.

Fatores como coeficiente de rugosidade do canal, declividade do rio, vazão e forma da seção transversal influenciam na velocidade do escoamento. Essa influência ocorre na seção transversal e também ao longo do rio, caracterizando a não uniformidade comumente encontrada em canais naturais.

A relação do escoamento no tempo é dada pelo hidrograma, gráfico que relaciona diversos componentes do ciclo hidrológico. A forma do hidrograma dependerá das variáveis relacionadas à bacia, como, por exemplo: relevo, solo, cobertura, modificações no rio e precipitação. Essas influências podem ser vistas na Figura 2.1.

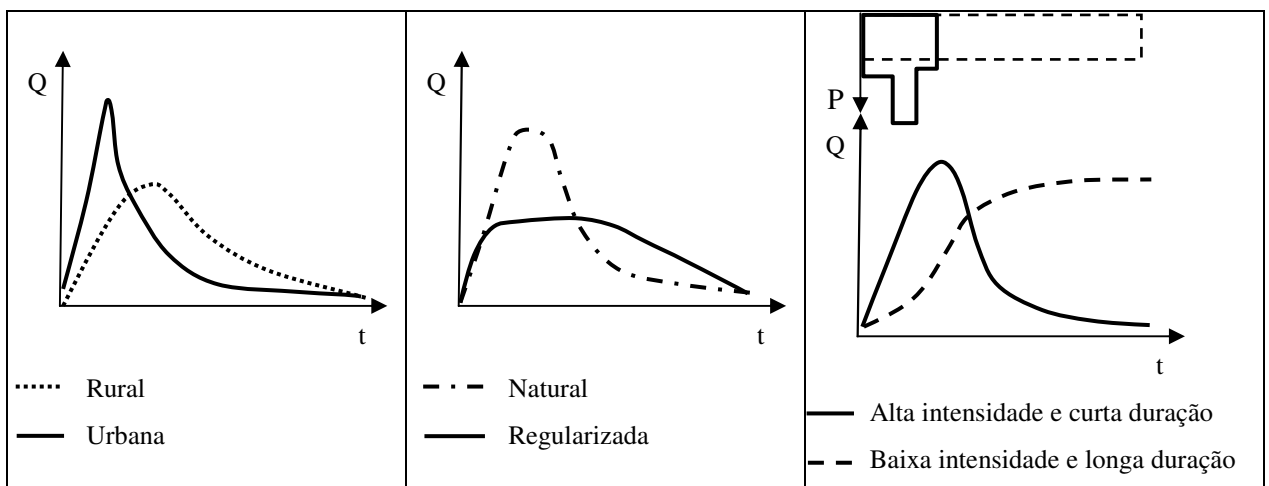


Figura 2.1: Hidrogramas (Adaptado de TUCCI, 2002.)

Conforme visto na Figura 2.1, a bacia urbana possui um maior pico de vazão, isso é consequência de diversas intervenções humanas, como a impermeabilização do solo, que reduz a capacidade de percolação da água e aumenta a velocidade do escoamento superficial, e a supressão de vegetação, que diminui a interceptação da chuva.

## 2.2 Enchentes

Segundo Tucci (2002), quando a precipitação é intensa, a quantidade de água que chega simultaneamente ao rio pode ser superior à sua capacidade de drenagem, ou seja, a da sua calha principal, resultando na inundação das áreas ribeirinhas. Os problemas resultantes

da inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com que ocorrem inundações.

O desenvolvimento urbano ao longo dos rios pode ser explicado pela utilização destes como vias de transporte, porém as populações antigas preocupavam-se com o ciclo de cheias e construam suas casas em locais seguros. Atualmente, com o aumento das áreas urbanas e a pressão imobiliária para a liberação de loteamentos, a construção nas áreas de várzea tem aumentado. Observa-se um aumento na confiança por parte da população, principalmente quando o tempo de retorno é longo.

As perdas relacionadas a ocupações de áreas inundáveis podem ser materiais: casas, carros e móveis; humanas: afogamento e doenças causadas pela inundação; ou de biodiversidade: supressão de ecossistema. Além de perdas, a ocupação desordenada pode modificar as áreas suscetíveis a inundações, aumentando os níveis das cheias, como visto na Figura 2.2. Esse aumento dá-se principalmente pela obstrução do leito do rio e pela impermeabilização do solo.

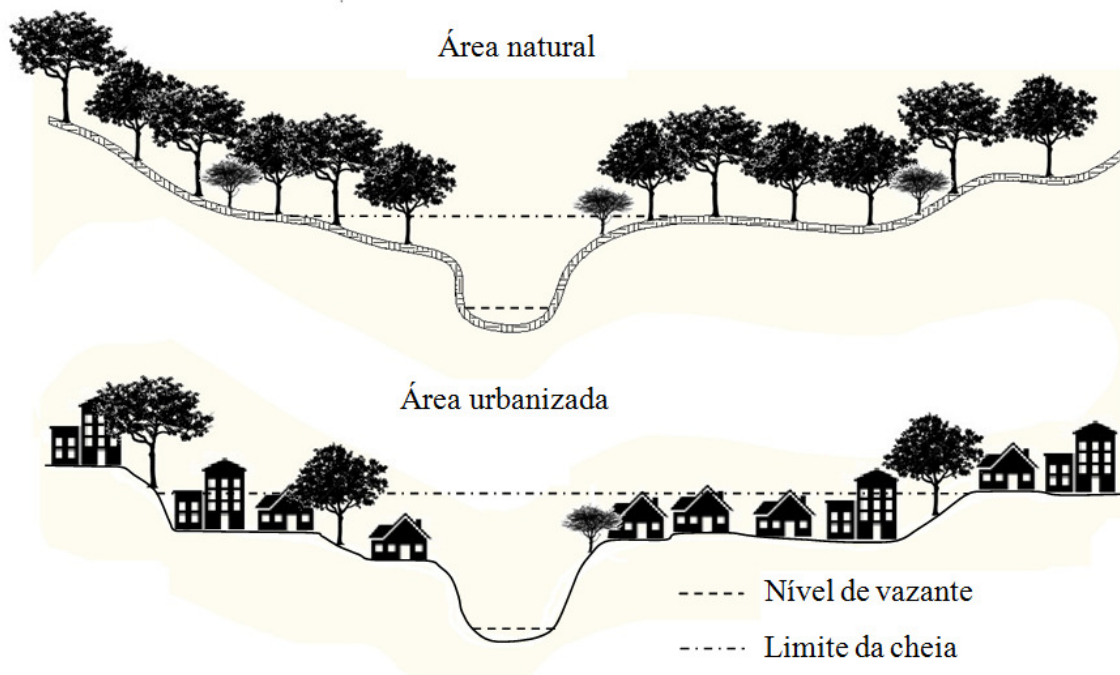


Figura 2.2: Modificações ocorridas em uma área pré e pós urbanização (Adaptado de SCHUELER 1995(a) e SCHUELER 1987)

As medidas de controle de inundações visam minimizar as consequências, mas de maneira alguma resolvem o problema por completo. Existem dois tipos de medidas para controle de inundações: estruturais e não estruturais.

As medidas estruturais são obras de engenharia que podem ser realizadas na bacia, de modo a retardar os picos de enchente e diminuir a erosão, ou em regiões pontuais, com a finalidade de proteger um local, acelerar, retardar ou desviar um escoamento. As medidas não estruturais, como regulamentação do uso da terra, construções a prova de enchentes, seguro, previsão e alerta de inundação, visam minimizar as perdas com as enchentes.

## **2.3 Mapeamento de áreas inundáveis**

Tucci (2002) sugere alguns passos para o mapeamento de áreas inundáveis. Primeiro, deve-se fazer o nivelamento da régua a um zero absoluto; assim, o indicado é que se use o nível do mar e se trabalhe com as altitudes. Depois, proceder a um levantamento da topografia local no mesmo referencial absoluto: quanto mais pontos, ou menor a distância entre as curvas de nível, melhor será o resultado final. Adiante, elaborar um estudo de probabilidade de níveis altos, ou vazões máximas, para uma seção de referência. Um levantamento de marcas de enchente, ou níveis d'água, é interessante para definir a linha d'água e calibrar as medidas. Dois passos finais, e opcionais, são o levantamento de seções batimétricas e o cadastramento de obstruções ao longo do curso d'água. Esses passos não precisam ser realizados, caso a declividade da linha d'água seja pequena ao longo do trecho de estudo.

Esses mapas possuem duas finalidades principais: planejamento e alerta. O mapa de planejamento delimita as áreas que podem ser atingidas por enchentes em diferentes tempos de retorno escolhidos, com isso delimitam-se as áreas que não devem ser ocupadas e as que podem ser ocupadas com restrições. O mapa de alerta informa a evolução de uma inundação de acordo com um ponto referencial, nele pode-se prever quais áreas serão atingidas dado certo nível. Esses dados, associados a um plano emergencial, permitem que as perdas devido às inundações sejam minimizadas. Uma forma de elaborar esses mapas é por meio de um Sistema de Informações Geográficas – SIG (veja item 2.6).

O zoneamento urbano é um conjunto de regras que visam à ocupação das áreas de inundação de modo a minimizar as perdas humanas e materiais nos episódios de cheias. A ferramenta base para a sua elaboração é o mapa de planejamento. O zoneamento urbano deve ser regulamentado e incorporado à legislação municipal, assim a demarcação das áreas com diferentes riscos terão ocupações condizentes com as suas características.

## 2.4 Legislação Ambiental

### 2.4.1 Legislação Federal

O Código Florestal, instituído pela Lei Nº 4.771/65 de 15 de setembro de 1965, apresenta em seu artigo 1 a seguinte definição.

*“... Área de preservação permanente - área protegida nos termos dos arts. 2 e 3 desta Lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas...”*

O artigo 2 dessa lei destaca.

*“... Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:*

*a) Ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:*

- 1) de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;*
- 2) de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) metros a 50 (cinquenta) metros de largura;*
- 3) de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;*
- 4) de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;*
- 5) de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros; [...]*

*Parágrafo único. No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo.”*

A Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002, dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Em seu artigo 2, discorre:

*“I - nível mais alto: nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d`água perene ou intermitente; [...]*

*XIII - Área Urbana Consolidada: aquela que atende aos seguintes critérios:*

*a) definição legal pelo poder público;*

*b) existência de, no mínimo, quatro dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana: 1. malha viária com canalização de águas pluviais; 2. rede de abastecimento de água; 3. rede de esgoto; 4. distribuição de energia elétrica e iluminação pública; 5. recolhimento de resíduos sólidos urbanos; 6. tratamento de resíduos sólidos urbanos; e*

*c) densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por km<sup>2</sup>....”*

#### **2.4.2 Legislação Estadual**

A Política Estadual de Recursos Hídricos do estado de Minas Gerais dispõe em sua Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, sobre convênios para a elaboração de zoneamento de áreas inundáveis, como pode ser visto no fragmento a seguir:

*“Art. 7º - O Estado celebrará convênios de cooperação mútua e de assistência técnica e econômico-financeira com os municípios, para a implantação de programas que tenham como objetivo: [...]*

*III - o controle e a prevenção de inundações e de erosão, especialmente em áreas urbanas; [...]*

*V - o zoneamento e a definição de restrições de uso de áreas inundáveis; [...]*

*VII - a implantação de sistemas de alerta e de defesa civil para garantir a segurança e a saúde públicas em eventos hidrológicos adversos;”*

#### **2.4.3 Legislação Municipal**

A Lei Ordinária nº 4707/2008 de 30 de junho de 2008 dispõe sobre o plano diretor do município de Pouso Alegre. A seguir, alguns trechos de interesse:

*“Art. 7º - O macrozoneamento municipal, [Figura 2.3], compreende as seguintes zonas:*

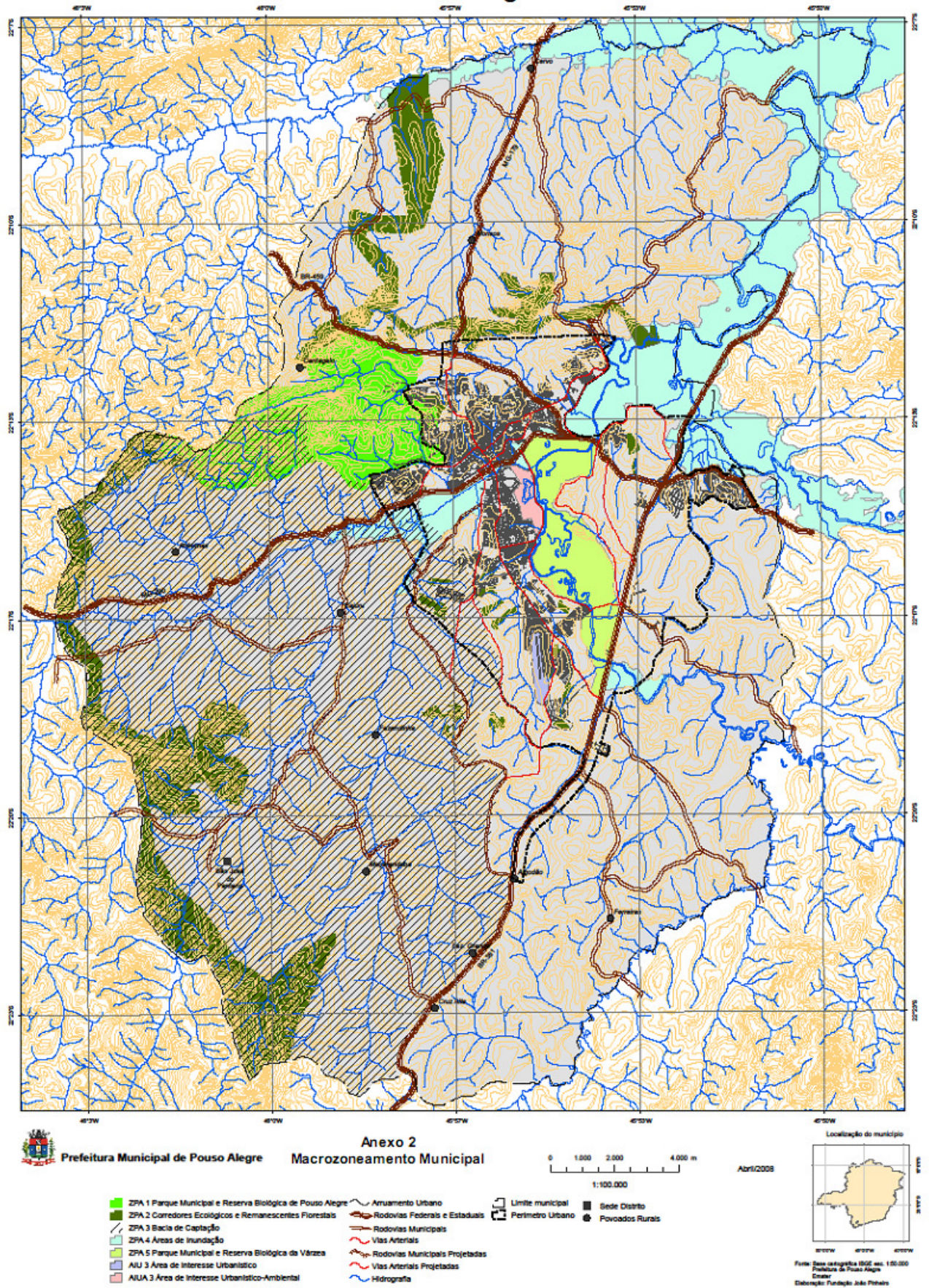


Figura 2.3: Macrozoneamento Municipal (POUSO ALEGRE, 2008)



[...] *Zona de Proteção Ambiental (ZPA) - além daquelas já protegidas pela legislação federal e estadual, corresponde às áreas que o Município considera de relevância para a preservação ambiental, as quais deverão ser objeto de projeto e tratamento específicos visando o controle de sua ocupação e/ou a instituição de Unidades de Conservação, compreendendo as seguintes categorias:*

*ZPA 1 - Parque Municipal de Pouso Alegre e Reserva Biológica de Pouso Alegre;*

*ZPA 2 - remanescentes florestais próximos às áreas urbanas, isolados e/ou que compõem áreas propícias à criação de corredores ecológicos para proteção e conservação de fauna e flora;*

*ZPA 3 - bacia de captação do Município;*

*ZPA 4 - áreas de inundação;*

*ZPA 5 - Parque Municipal da Várzea e Reserva Biológica da Várzea; [...]*

*Art. 9 - O macrozoneamento da Zona Urbana indica os usos permitidos nos diversos espaços já ocupados pelos usos urbanos e nas áreas a serem ocupadas por esses usos, compreendendo o uso residencial e os usos diversificados compatíveis com o uso residencial, desde que:*

- *não causem impactos negativos urbanísticos ou ambientais;*
- *não causem riscos à segurança da população;*
- *os impactos potenciais sobre a estrutura urbana ou sobre o meio ambiente sejam pouco significativos e controláveis através de medidas mitigadoras de fácil aplicação.”*

A Lei Ordinária nº 4872/2009 de 07 de dezembro de 2009, que dispõe sobre o zoneamento e regulamenta o uso e ocupação do solo urbano do município de Pouso Alegre, dispõe sobre o Parque Municipal da Várzea e Reserva Biológica da Várzea:

*“Art. 9º - Na ZPA 5 ficam vedados o uso e a ocupação do solo abaixo da cota 816,5 (oitocentos e dezesseis metros e meio), exceto para atividades relacionadas à preservação ambiental e ao esporte e lazer, neste caso desde que não exijam instalações edificadas.”*

#### **2.4.4 Cheia sazonal**

Um dos principais pontos destacados na legislação ambiental referente às Áreas de Preservação Permanente é a definição do nível mais alto da margem. Este é definido pela

resolução do CONAMA como o nível alcançado pela cheia sazonal. Em nenhuma legislação, federal, estadual ou municipal, há a definição específica do critério para delimitação da cheia sazonal.

Christofoletti (1974) define diferentes leitos fluviais existentes, sendo o leito sazonal aquele ocupado pelas cheias e enchentes e separado do leito menor por diques marginais. Christofoletti (1981) diz que o tempo de recorrência para que os rios de planície extravasem o canal menor é de 1,58 anos. Ele também afirma que a planície de inundação não deve ser confundida nem caracterizada pelos processos e formas desenvolvidas no canal fluvial.

## **2.5 Dados hidrometeorológicos**

### **2.5.1 Pluviometria**

Pluviometria é o ramo da Meteorologia que estuda a quantidade de chuva caída. Dependendo de sua intensidade, pode acarretar inundações, erosões e desmoronamentos, que possuem grande impacto sobre a sociedade. A precipitação é medida em mm de chuva, que corresponde a um litro de água contido em 1 metro quadrado.

O estudo de precipitação em bacias hidrográficas baseia-se na altura média de precipitação em uma área específica. Ele pode ser feito com base em um evento isolado de chuva ou com totais em um período preestabelecido. Existem três métodos para o cálculo da precipitação média sobre uma bacia: média aritmética, Thiessen e Isoetas.

### **2.5.2 Seções de canais e declividade**

Os cursos d'água existentes na natureza são escoamentos de superfície livre, cuja principal característica é a presença da pressão atmosférica atuando sobre a superfície do líquido. Esses canais são classificados como não prismáticos por não possuírem seção reta e declividade de fundo constante ao longo do comprimento. Outra característica presente nos canais naturais é a dificuldade de determinação da rugosidade e dos parâmetros geométricos da seção devido a suas variações no tempo e no espaço.

Porto (2004) descreve uma série de parâmetros necessários para caracterizar geometricamente a seção e a declividade de um canal. Esses parâmetros são mostrados na Figura 2.4 e descritos a seguir.

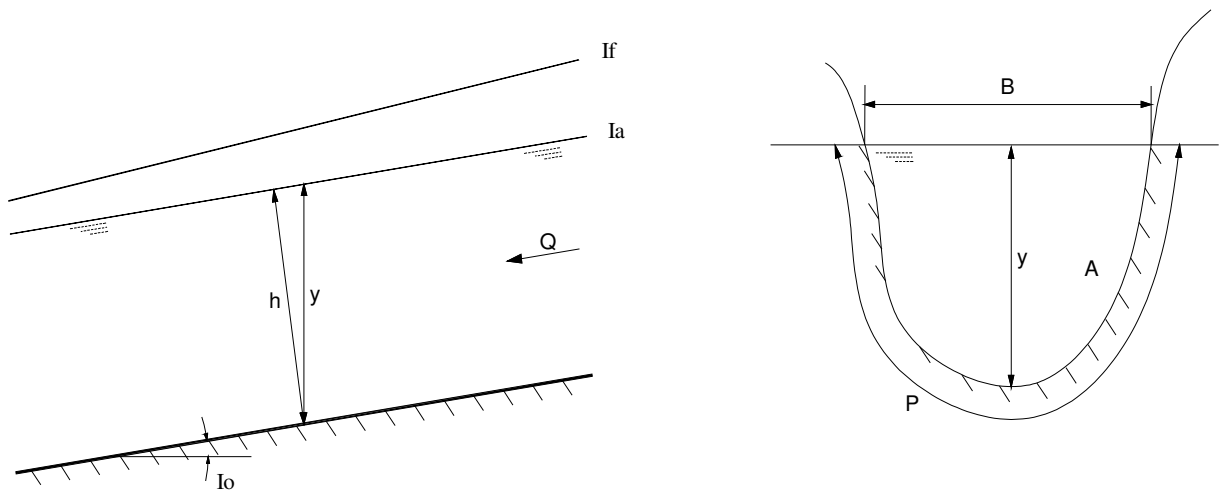


Figura 2.4: Elementos geométricos de uma seção. (Adaptado de PORTO, 2004)

Área molhada (A) – área da seção perpendicular ao escoamento;

Perímetro molhado (P) – comprimento do canal, laterais e fundo, que fazem fronteira com o líquido;

Raio hidráulico ( $R_h$ ) – relação entre a área molhada e o perímetro molhado;

Altura d'água (y) – altura do talvegue até a superfície da água;

Largura de topo (B) – distância entre margens na superfície d'água;

Declividade de fundo ( $I_o$ ) – declividade longitudinal do canal;

Declividade piezométrica ( $I_a$ ) – declividade da linha d'água;

Declividade da linha de energia ( $I_f$ ) – variação da energia corrente no sentido do escoamento.

Chow (1959) diz que os escoamentos uniformes são raros em canais naturais, mas apesar disso esta condição é frequentemente assumida para os cálculos. Os resultados obtidos da suposição de uniformidade oferecem uma solução simples e satisfatória para muitos problemas práticos. No escoamento uniforme, não há variação da profundidade, as velocidades locais são paralelas entre si e constantes ao longo de uma mesma trajetória, portanto  $I_o=I_a=I_f$ .

### 2.5.3 Vazão Máxima

A vazão máxima de um rio está relacionada ao risco de um determinado valor ser igualado ou ultrapassado. Essa medida é utilizada na projeção de obras hidráulicas e na previsão de enchentes. Cada projeto deve ter um risco associado, que se relaciona com o dano em potencial da obra envolvida. Segundo Tucci (2002), o risco é a probabilidade que um valor seja ultrapassado e é obtido pelo ajuste de uma distribuição de probabilidade aos valores anuais da variável em estudo (nível ou vazão).

Segundo Tucci (2002), a vazão máxima pode ser estimada das seguintes maneiras:

- a) ajuste de uma distribuição estatística – quando existem dados históricos de vazão no local de interesse e as condições da bacia hidrográfica não se modificaram;
- b) regionalização de vazões – no caso de não existirem dados ou a série é pequena, neste caso, usam-se dados de postos da região;
- c) precipitação – quando a bacia sofre modificações, as precipitações máximas são transformadas em vazões por meio de modelos matemáticos.

### 2.5.4 Curva-Chave

As equações de escoamento levam em consideração a força de pressão, a gravidade e a força de cisalhamento com o canal condutor. Considerando-se o escoamento em superfície livre como sendo permanente e uniforme e aplicando a segunda Lei de Newton, pode-se chegar a uma expressão genérica onde a velocidade é igual à multiplicação do raio hidráulico, da declividade e de um fator de resistência ao escoamento.

Segundo Chow (1959), foram desenvolvidas e publicadas inúmeras fórmulas para escoamento uniforme, mas as mais conhecidas e mais usadas são as de Chézy (2.1) e Manning (2.2).

$$V = C\sqrt{R_h I_o} \quad (2.1)$$

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I_o^{1/2} \quad (2.2)$$

Onde:

V – Velocidade média de escoamento;

C – Coeficiente de resistência de Chézy;

$R_h$  – Raio hidráulico;

$I_o$  – Declividade de fundo;

$n$  – Coeficiente de Manning.

A obtenção dos valores de vazão em um rio é um processo complexo e oneroso, mas, por outro lado, a obtenção do nível d'água é simples e direta. Uma forma de facilitar a obtenção de dados de vazão é construção de uma curva que relacione cota e vazão. Essa representação gráfica é chamada de curva-chave e pode ser representada pelo padrão internacional (Figura 2.5 - esquerda) ou pela forma adotada pelos hidrólogos franceses (Figura 2.5 - direita).

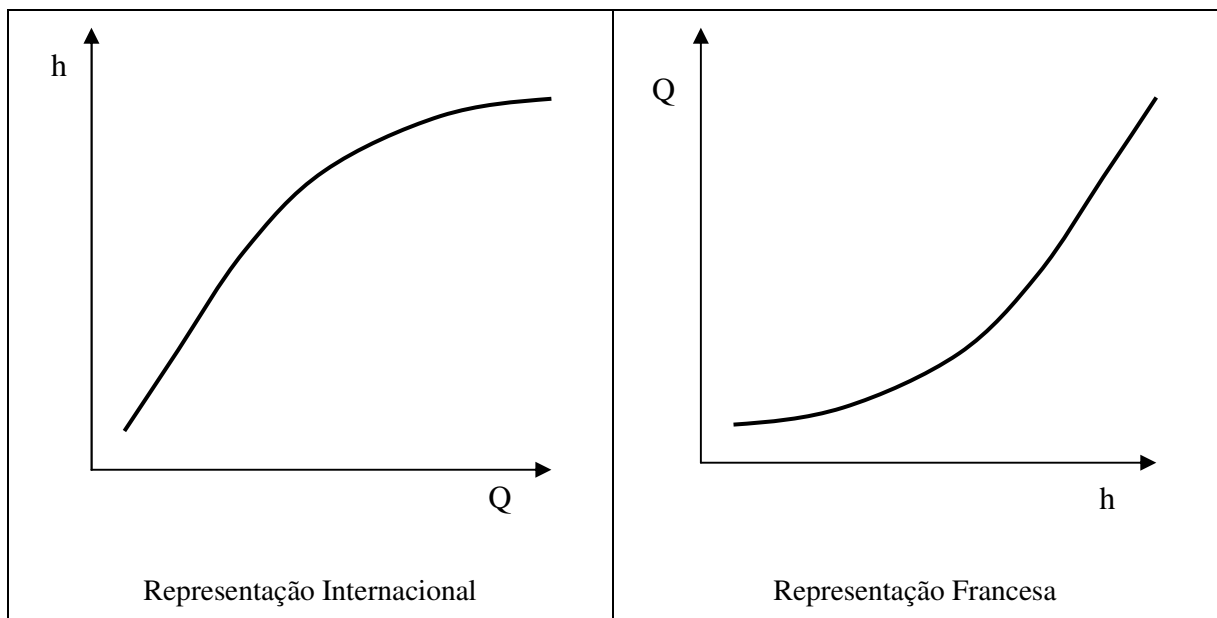


Figura 2.5: Representação da Curva-chave (Adaptado de TUCCI, 2002)

Uma das formas de se obter essa curva-chave é através da Equação de Manning. Para isso são necessários alguns dados dos elementos geométricos da seção e do coeficiente de Manning. Esse valor é difícil de ser calculado, ou obtido, principalmente para canais naturais. Por essa razão, Porto (2004) sugere que sejam usados valores retirados de tabelas e que o projetista tenha critério e bom-senso na escolha dos mesmos. Um exemplo de valores de coeficiente de Manning é mostrado na Tabela 2.1, retirada de Chow (1959).

Tabela 2.1: Coeficiente de Manning para canais Naturais – Planícies de Inundação (CHOW, 1959)

<b>Planícies de Inundação</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>
Pastagem - grama baixa	0,025	0,030	0,035
Pastagem - grama alta	0,030	0,035	0,050
Áreas de cultivo - sem cultura	0,020	0,030	0,040
Áreas de cultivo - cultura madura em linha	0,025	0,035	0,045
Áreas de cultivo - cultura madura em campos	0,030	0,040	0,050
Arbustos - moitas dispersas, ervas daninhas densas	0,035	0,050	0,070
Arbustos - poucas moitas e árvores, no inverno	0,035	0,050	0,060
Arbustos - poucas moitas e árvores, no verão	0,040	0,060	0,080
Arbustos - média densidade de moitas, no inverno	0,045	0,070	0,110
Arbustos - média densidade de moitas, no verão	0,070	0,100	0,160
Árvores - salgueiros densos, verão, em linha	0,110	0,150	0,200
Árvores - terreno limpo com tocos de árvores, sem brotos	0,030	0,040	0,050
Árvores - mesmo que anterior, com grande crescimento de brotos	0,050	0,060	0,080
Árvores - grande densidade de madeira, poucas árvores abaixo, pouca vegetação rasteira, nível de enchente abaixo dos ramos	0,080	0,100	0,120
Árvores - mesmo que acima, mas com nível de enchente alcançando os ramos	0,100	0,120	0,160

### 2.5.5 Tempo de recorrência

Tempo de recorrência: definido como o inverso da probabilidade de um evento ser igualado ou superado, conforme a Equação 2.3.

$$TR = \frac{1}{P} \quad (2.3)$$

Onde:

TR – tempo de recorrência (anos);

P – probabilidade de um evento ocorrer.

Para se analisar a probabilidade de ocorrência de um evento, deve-se fazer um levantamento histórico de seus dados. Dentro de análises pluviométricas e fluviométricas, o tempo de recorrência é interpretado como o número médio de anos nos quais o dado analisado pode ser igualado ou superado.

As principais distribuições estatísticas utilizadas em hidrologia para ajuste de vazões máximas são: Empírica, Log-normal, Gumbel e Log-Pearson III. (TUCCI, 2002)

A distribuição de Gumbel é de valores extremos, sendo um caso particular da distribuição de Fisher-Tippett. A aplicabilidade potencial da distribuição de Gumbel para representar a distribuição dos máximos, refere-se à teoria de valores extremos, que indica que o uso é apropriado se a distribuição da amostra de dados subjacente é do tipo normal ou exponencial.

A função da distribuição de Gumbel é dada pela Equação 2.4:

$$P(Q \geq Q_o) = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (2.4)$$

Onde:

$P(Q \geq Q_o)$  – probabilidade da vazão Q ser maior ou igual a  $Q_o$ ;

$$y = \frac{(Q - \mu)}{\alpha};$$

$$\alpha = 0,78\sigma;$$

$$\mu = \bar{x} - 0,5772\alpha;$$

$\bar{x}$  – média das vazões;

$\sigma$  – desvio padrão das vazões.

## 2.6 Geoprocessamento

O Geoprocessamento é a utilização de programas de computador para a manipulação de dados que estejam associados a uma coordenada geográfica. As ferramentas computacionais utilizadas para essa finalidade são chamadas de SIGs – Sistemas de Informação Geográfica. Segundo Aronoff (1989) e Bull (1994), SIGs são sistemas

automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la.

Câmara *et.al.* (1996a) diz que, de uma maneira abrangente, um SIG tem os seguintes componentes: interface com o usuário; entrada e integração de dados; funções de processamento; visualização e plotagem; e armazenamento e recuperação de dados. O relacionamento entre esses componentes pode ser visto na Figura 2.6.

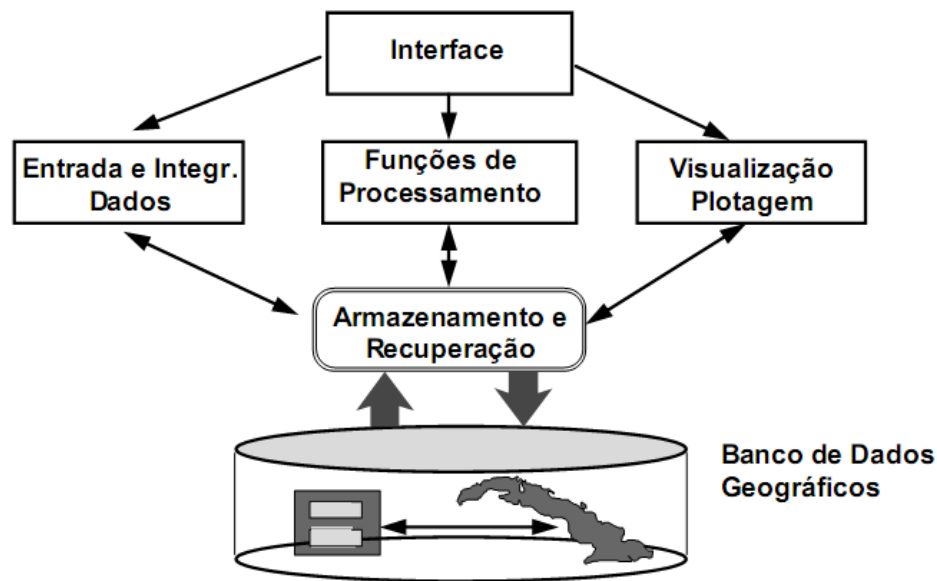


Figura 2.6: Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. (CÂMARA *et. al.*, 1996a)

As principais classes de dados geográficos em Geoprocessamento são: mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, modelos numéricos de terreno e imagens. Essas classes, de maneiras isoladas ou combinadas, possibilitam a geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), que consiste no cálculo do relevo local; a geração de uma grade triangular (TIN - Triangular Irregular Network), que é uma representação tridimensional do terreno; possibilitam também descrever a rede hidrográfica; e gerar manchas de inundação, dentre muitas outras funções.

### 2.6.1 SPRING

O SPRING é um SIG (Sistema de Informações Geográficas) no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e



consulta a bancos de dados espaciais. O SPRING foi desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), em cooperação com a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e com o Centro Científico do IBM Brasil. O sistema funciona em plataformas UNIX e Windows e foi desenvolvido em linguagem C++.

Segundo Câmara *et.al.* (1996b) o projeto SPRING iniciou-se em 1991 e a primeira versão foi entregue em abril de 1994. As principais vantagens atribuídas ao software são:

- É de domínio público;
- Possui versões em inglês, espanhol, francês e português (língua de origem);
- A interface é simples e amigável;
- O banco de dados geográficos não possui fronteira nem limitação de escala;
- A base de dados é única, independente do computador que se utilize;
- Contém algoritmos inovadores, que garantem o desempenho adequado às mais variadas aplicações.

## **2.7 Estudos de Caso Mundiais**

### **2.7.1 European Flood Alert System**

A Agência Ambiental Europeia estima que as enchentes na Europa entre 1998 e 2002 causaram cerca de 700 mortes, o deslocamento de cerca de meio milhão de pessoas e uma perda econômica de pelo menos 25 bilhões de euros (EEA,2003). Diante desta situação, iniciou-se em 2003 o projeto de pesquisa European Flood Alert System (EFAS) com o desenvolvimento de um protótipo no Joint Research Centre (JRC) da Comissão Europeia, em estreita colaboração com os serviços nacionais de hidrologia e meteorologia.

O EFAS é parte de uma estratégia de melhoria no gerenciamento de desastres na Europa para reduzir o impacto de inundações transnacionais por meio de aviso prévio de 2 a 10 dias de antecedência. Ele fornece informações hidrológicas nacionais aos Estados-Membros, possibilitando atividades de prevenção de enchentes e uma ação de gerenciamento conjunta em casos de grandes eventos de inundação transnacionais.

Durante a fase de desenvolvimento, o EFAS apresentou informações adicionais aos serviços hidrológicos nacionais. Como ilustrado na Figura 2.7, o EFAS foi dividido em 5 fases.

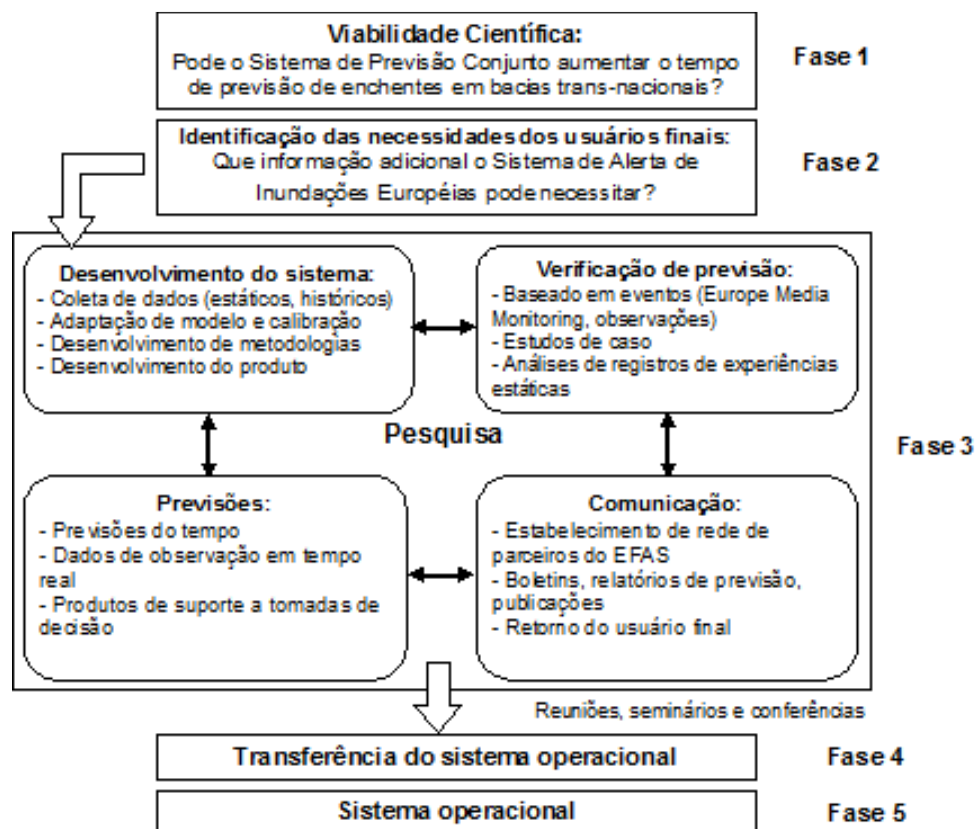


Figura 2.7: Quadro geral do Sistema de Alerta de inundação Europeia. (THIELEN *et al.*, 2009)

O modelo hidrológico usado pelo EFAS é o LISFLOOD. A essência do EFAS consiste em um modelo hidrológico distribuído de chuva-vazão com um componente de fluxo que é capaz de simular os processos hidrológicos em grandes bacias hidrográficas. O LISFLOOD simula os processos de copa, de superfície, do solo, de águas subterrâneas e de fluxo no canal do rio. Este modelo é alimentado com várias previsões meteorológicas de médio alcance, incluindo conjuntos completos de Sistema de Predição Conjunta. (THIELEN *et al.*, 2009)

As vazões de saída são analisadas e visualizadas por meio de produtos concisos e de fácil compreensão desenvolvidos em conjunto com os usuários para complementar as informações já produzidas pelas autoridades locais de recursos hídricos. Uma plataforma de comunicação permite a troca interativa com diferentes parceiros EFAS e atores nacionais, incluindo os fornecedores de informações meteorológicas e as autoridades nacionais de recursos hídricos. Os atuais parceiros, e os que estão em estado de negociação, podem ser visualizados na Figura 2.8.

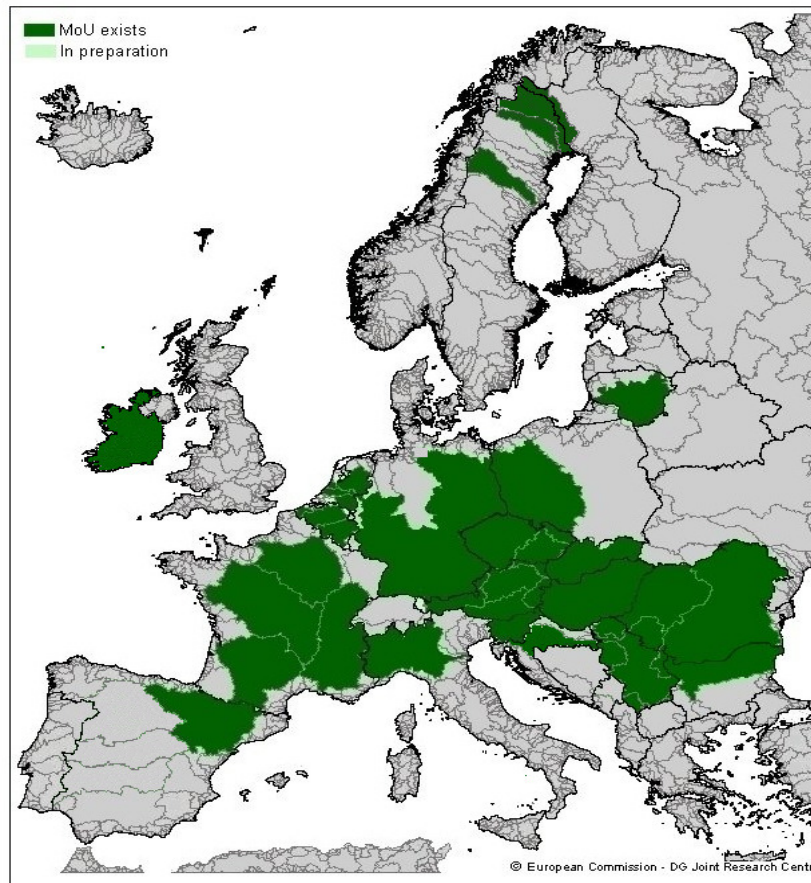


Figura 2.8: As bacias hidrográficas para as quais um sistema de parceria com o EFAS existe ou está em negociação. Data de referência: 06/12/2010 (Fonte: <http://floods.jrc.ec.europa.eu/efas-documents/efas-partners.html>)

Uma visão geral sobre o desempenho do modelo hidrológico pode ser observada na Figura 2.9 que mostra simulações e observações de 4 estações hidrográficas da Europa para diferentes períodos de 2 anos. Os hidrogramas mostram que o modelo funciona bem, principalmente para os rios das latitudes médias da Europa, como o Loire e o Elba, que apresentam bons resultados tanto em termos de dinâmica e quantidade. Por outro lado, as descargas simuladas para o rio Danúbio são muito baixas comparativamente às descargas observadas. Thielen *et al.* (2009) atribuem isso à baixa densidade de estações pluviométricas nos Alpes. Os resultados das simulações são satisfatórios em relação à dinâmica de inundação, porém não são satisfatórios em termos de volume de fluxo, que será corrigido por futuras calibrações do modelo. Eu acredito que parte dessa diferença pode estar relacionada à contribuição da neve para o aumento das vazões dos rios, apesar de não haver uma mudança sazonal explícita nos gráficos.

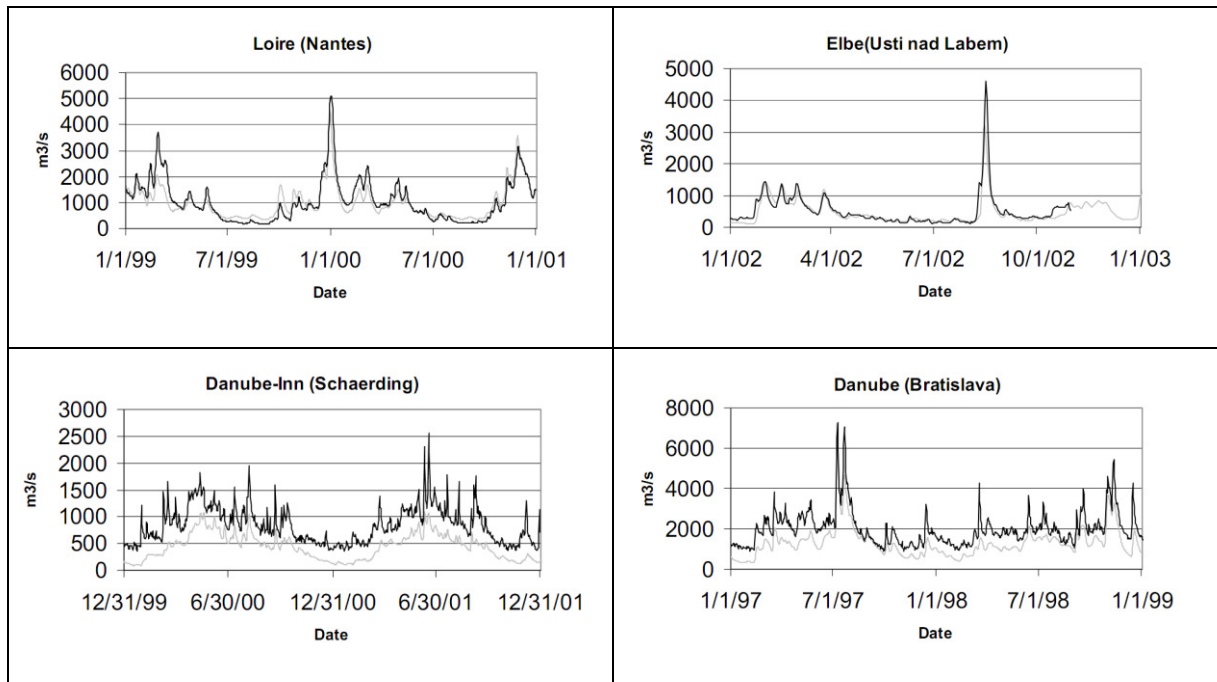


Figura 2.9: Descargas simuladas (linhas cinza) e observadas (linhas pretas) em  $m^3/s$  para as bacias hidrográficas e em diferentes períodos de dois anos. (Modificado de THIELEN *et al.*, 2009)

O primeiro protótipo EFAS foi executado pré-operacionalmente desde 2005 e seus resultados foram analisados a fim de avaliar o desempenho potencial médio e os recursos do sistema na detecção de eventos de inundação para complementar as ações dos Estados-Membros. No futuro, o sistema irá incorporar novos dados meteorológicos de previsão, particularmente previsões conjuntas com altas resoluções e longos prazos (ver, por exemplo, Tibaldi *et al.*, 2006 e Buizza *et al.*, 2007). O objetivo é testar continuamente, em conjunto com os parceiros do EFAS, o valor adicional desses produtos meteorológicos para previsão operacional de inundação.

Uma vez plenamente desenvolvido e testado, o EFAS não fornecerá apenas as informações antecipadas de inundação aos serviços nacionais de previsão hidrológica, mas também irá representar uma poderosa ferramenta para as autoridades da Comissão Europeia e os Estados-Membros. Ele poderá ser usado no monitoramento das condições hidrológicas da Europa, análises climatológicas e tendências ao longo dos últimos anos, com base em uma plataforma consistente e homogênea, bem como para a previsão de tendências futuras juntamente com modelos de previsões sazonais e de mudança climáticas. (THIELEN *et al.*, 2009)

EFAS é atualmente um dos poucos sistemas operacionais de alerta de inundação no mundo fazendo uso de sistemas de previsão conjunto para aumentar a previsibilidade das inundações. De acordo com o Institute for Environment and Sustainability<sup>1</sup> (IES), o EFAS está previsto para ser executado de um modo totalmente operacional no início de 2012.

## 2.7.2 Vietnã

### 2.7.2.1 Hanói

Hanói, capital do Vietnã, é localizada no centro do delta do Rio Vermelho. A cidade está sujeita ao regime de monções e sofre anualmente com as enchentes na época das chuvas. Para minimizar as consequências das cheias, foram construídos diques ao longo da cidade, melhorados com o passar das décadas. As áreas contidas entre os rios e os diques são chamadas de Riverside Urban Areas (RUA). A Figura 2.10 mostra um mapa da cidade de Hanói e um esquema das RUA.

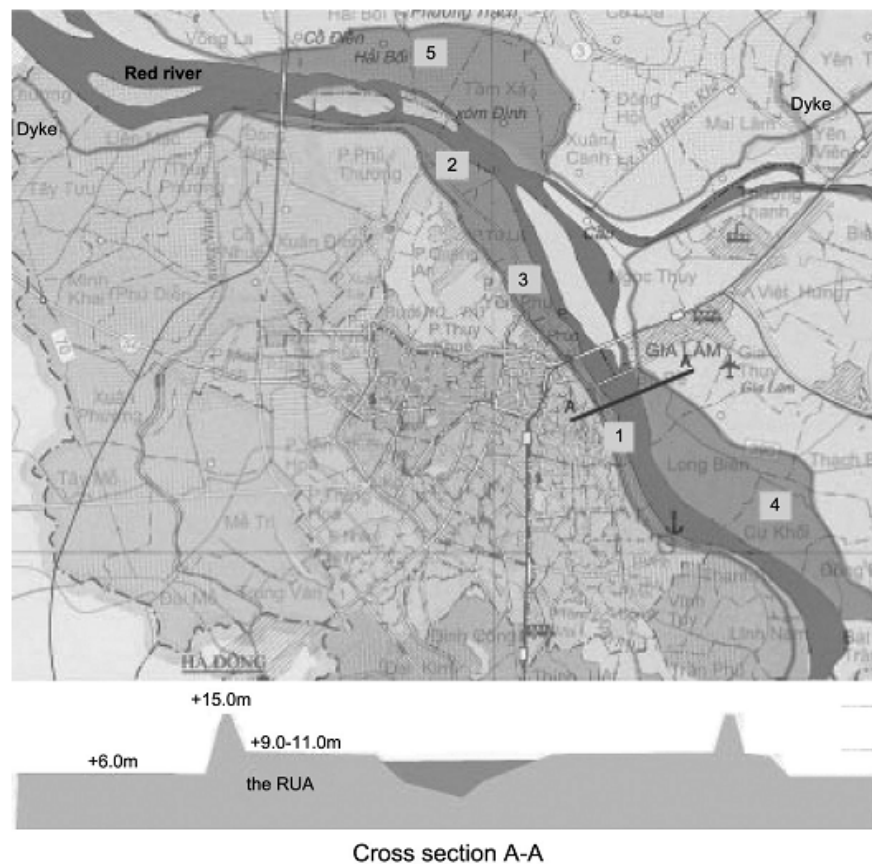


Figura 2.10: Mapa da cidade de Hanói e das RUA. (HUNG *et al.*, 2007)

<sup>1</sup> IES. Fonte: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/european-flood-alert-system>. Consultado em: 10/10/2011.

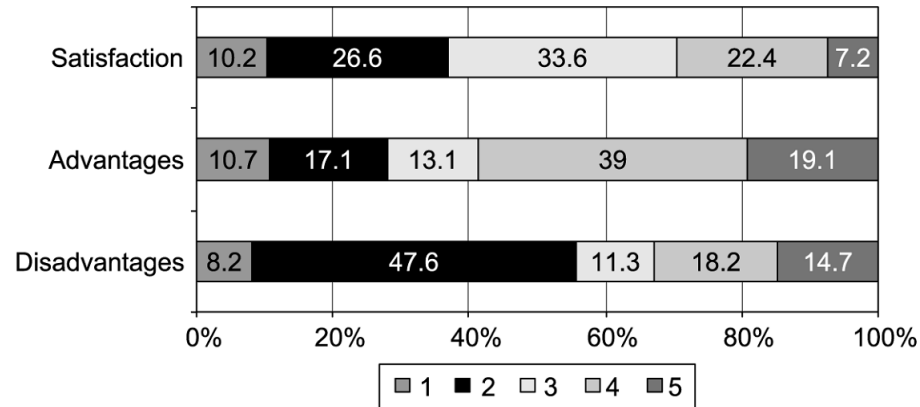
Na década de 1920, as RUA eram áreas de cultivo mas, segundo Hung e Thong (1995), elas se transformaram em áreas habitacionais após a criação do governo vietnamita, em 1954. Essa mudança ocorreu para acomodar as pessoas do governo e os novos moradores da cidade em áreas próximas ao centro. Porém, após a enchente de 1971, nenhum programa formal de habitação foi incentivado nas RUA pelo governo.

Hung *et al.* (2010) afirmam que as construções ilegais têm sido um problema persistente em Hanói desde a década de 1990, especialmente nas RUA. Vários regulamentos foram emitidos a fim de frear a expansão das construções ilegais, no entanto, estes não puderam resolver o problema, devido às seguintes razões:

- A primeira atitude foi a criação, em 1978, de uma campanha publicitária que incentivava os moradores a cumprirem a lei de forma voluntária. As habitações ilegais eram tratadas como atividades cotidianas que afetam a ordem urbana.
- Uma série de regulamentações emitidas a partir de 1987 regulamentava algumas residências ilegais já estabelecidas, gerando uma falsa interpretação da população, que passou a acreditar que todas as construções seriam regulamentadas.
- O complicado sistema de licenciamento de construção, que exige autorizações de várias esferas do poder, contribuiu ainda mais para as construções ilegais.

Hung *et al.* (2007) tratam em seu artigo do superdesenvolvimento de áreas de várzea. Para tal, eles fazem uma pesquisa nas cinco regiões indicadas na Figura 2.10 para levantarem o grau de percepção da população do risco de enchentes catastróficas. Os questionários foram respondidos entre outubro e novembro de 2004, por 588 habitantes. Um resumo com o grau de satisfação dos moradores e vantagens e desvantagens apontadas por eles pode ser visto na Figura 2.11.

Segundo Hung *et al.* (2007), a baixa percepção do risco de enchentes catastróficas pela população é um fator importante para o desenvolvimento nas RUA e conduz a uma confiança em suas casas como uma solução de proteção proeminente. Grande parte dos moradores presenciou enchentes e julga possuir conhecimento de como lidar com elas, por isso eles acreditam que as cheias futuras serão iguais às já presenciadas e não representarão risco a suas vidas e de seus familiares. Poucos moradores acreditam que uma cheia igual à de 1971 (a maior já registrada na região) possa repetir-se.



**Satisfação** – 1: Muito boa, 2: Boa, 3:Regular, 4: Insatisfatória; 5:Péssima; **Vantagens** – 1: Proximidade com o distrito comercial central, 2: Ar fresco, 3: Meio de vida apropriado, 4: Baixo preço da terra, 5: Não sabem; **Desvantagens** – 1: Enchente como perigo, 2: Enchente como inconveniente, 3: Ausência de facilidades públicas, 4: Infraestrutura insatisfatória, 5: Não sabem.

Figura 2.11: Nível de satisfação dos entrevistados sobre as condições de vida nas RUA.

(HUNG *et al.*, 2007)

No artigo de Hung *et al.* (2010), é mostrado um histórico dos documentos legais da gestão de desastres e desenvolvimento urbano de Hanói, indicando as regulamentações referentes às RUA. De maneira geral, não há uma proibição à construção nas RUA, exceto se as habitações apresentarem algum tipo de risco aos diques. A falta de proibição explícita, aliada com a redução de ameaça de inundação (devido à operação de um reservatório), juntamente com planos diretores equivocados (que não foram aprovados em todas as esferas do poder), fazem com que a população considere as RUA áreas vantajosas (como foi visto na Figura 2.11), e por essas razões a ocupação não para de crescer.

A fim de regular o desenvolvimento excessivo nas RUA, Hung *et al.* (2007 e 2010) concluem que é necessário estabelecer medidas políticas baseadas no planejamento do uso do solo englobando as preocupações de desenvolvimento urbano. Enquanto isso, as autoridades da cidade devem:

- Construir e compartilhar uma base de conhecimentos sobre o risco de inundações catastróficas e formas sustentáveis de lidar com as enchentes;
- Aumentar a percepção da comunidade às inundações, especialmente do risco de enchentes catastróficas e envolver autoridades locais e líderes comunitários na condução de programas de educação;

- Serem responsáveis e desenvolverem o comprometimento de gerir as áreas propensas às inundações; e
- Desenvolverem uma melhor coordenação entre o desenvolvimento urbano e a gestão das inundações.

### 2.7.2.2 *Phu Tho*

Um projeto piloto foi desenvolvido para vigilância de inundações e alertas antecipados na província de Phu Tho, a nordeste e a montante de Hanói, ao longo do Rio Vermelho. Esse projeto piloto faz parte de um programa para o desenvolvimento das capacidades de gestão de desastres no Vietnã, que conta com o apoio do Centro de Desastres do Pacífico (PDC), do Comitê Central para Controle de Inundações e Tempestades (CCFSC) e do Ministério de Desenvolvimento Rural e de Gerenciamento de Desastres (DMC).

Segundo Chiesa *et al.* (2008), o objetivo do projeto é automatizar o suprimento de informações relacionadas com as cheias e incorporá-las em uma solução flexível de fácil aplicação. O escopo técnico do projeto incluiu: avaliação das capacidades e das necessidades das Tecnologias de Informação e Comunicação, revisão e aprimoramento dos dados de perigo do Sistema de Informação Geográfica, desenvolvimento de aplicações de produtos de risco e o compartilhamento dos resultados e conclusões em um seminário.

Para se definir o produto de avaliação de risco, as equipes do PCD e do DMC trabalharam em conjunto para documentar o volume e o fluxo de inundação com o objetivo de criar um modelo de simulação de enchentes usando um software de modelagem estatística e ferramentas analíticas de geoprocessamento. A simulação para a província de Phu Tho pode ser vista na Figura 2.12.

A área de estudo, entre o Rio Vermelho e o Rio Negro, é inundada intencionalmente quando o nível da água ultrapassa um determinado limite, de modo a proteger a capital Hanói das inundações. O PCD e o DMC colaboraram no desenvolvimento de mapas e tabelas que avaliam os impactos potenciais causados pela liberação da água na área de retenção de cheias, calculando quais instalações seriam afetadas e em quanto tempo. Chiesa *et al.* (2008) afirmam que essas informações são valiosas para o planejamento de evacuação e para os esforços de mitigação, incluindo o deslocamento de serviços críticos para as zonas não propensas a



inundações. Estes produtos também são úteis para aumentar a consciência pública dos riscos de inundações, um passo importante no processo de redução de risco.

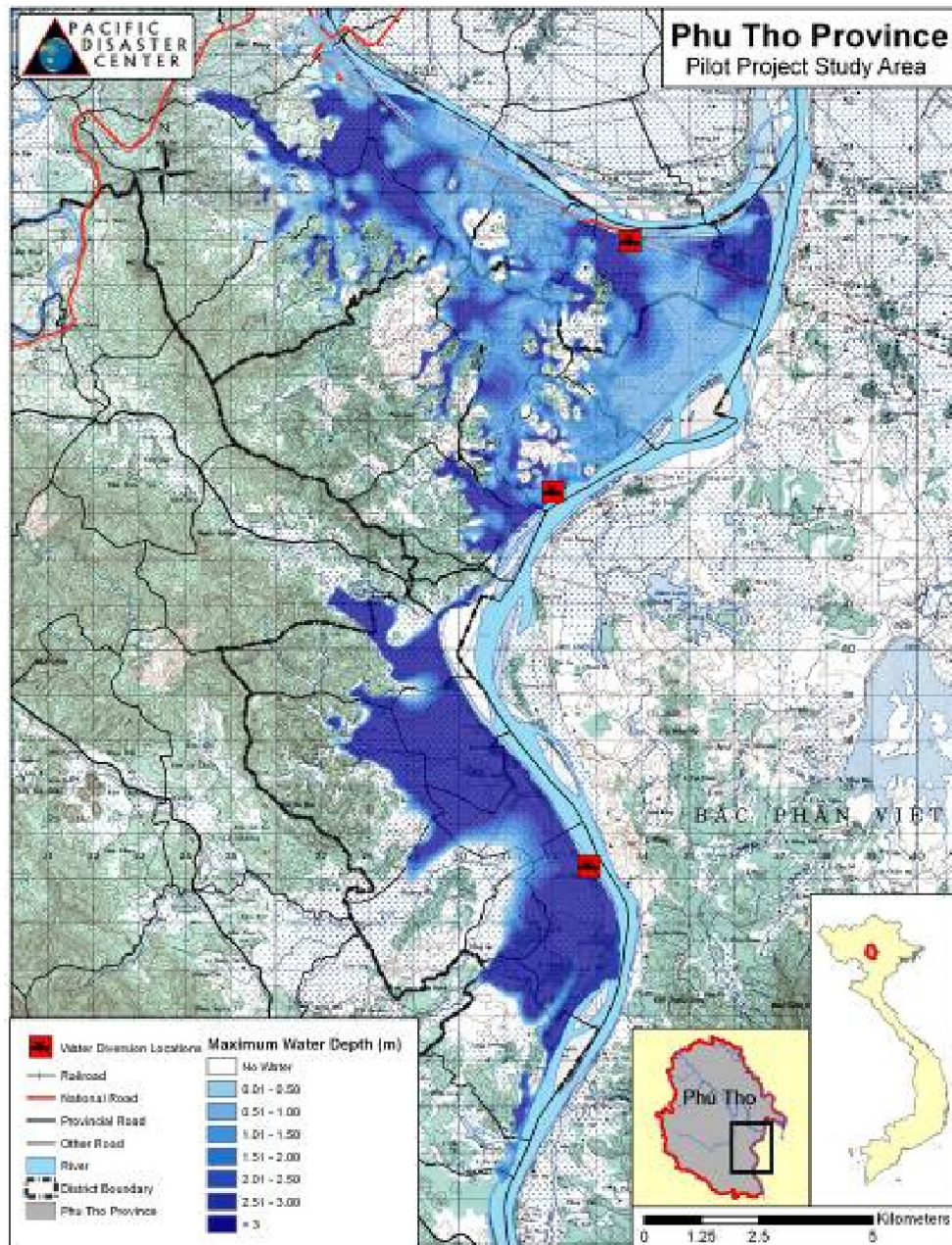


Figura 2.12: Resultado do modelo de extensão e profundidade de inundação para a província de Phu Tho. (CHIESA *et. al*, 2008)

Uma melhoria na capacidade de vigilância e alerta foi conseguida pelo PCD, trabalhando em conjunto com o DMC, através da projeção e implementação de um software que captura e analisa automaticamente os dados de chuvas e níveis do rio e emite alertas/avisos com base em níveis predeterminados. Os dados são recuperados, processados e

inseridos no Banco de dados Geoespacial do PCD em intervalos regulares. O resultado é um “Atlas de Riscos e Vulnerabilidade do Vietnã”, que pode ser visto na Figura 2.13.

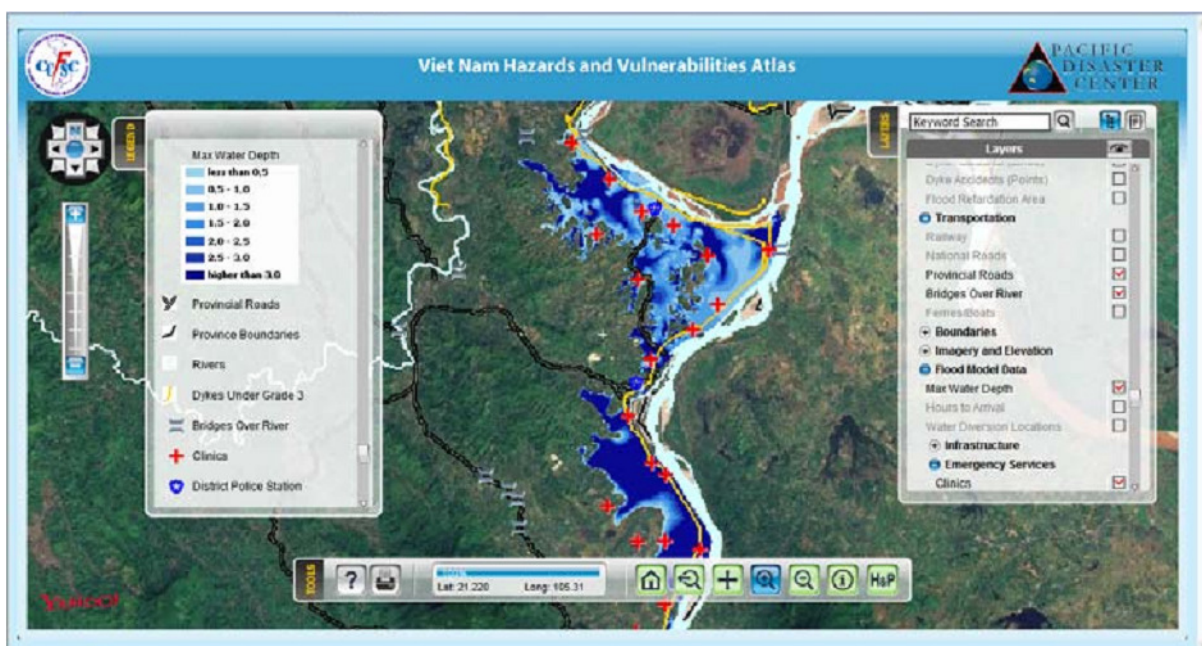


Figura 2.13: Atlas de Riscos e Vulnerabilidade do Vietnam. (CHIESA *et al.*, 2008)

Chiesa *et al.* (2008) concluem o artigo dizendo que o PDC preparou um esboço de uma proposta de expansão do projeto piloto para incluir o monitoramento de enchente no centro do Vietnã e desenvolver um sistema nacional de gerenciamento de todos os tipos de desastres. O PDC aguarda, com expectativa, um compromisso longo e produtivo com o Vietnã, trabalhando em parceria para fortalecer a capacidade do país na gestão de desastres.

## 2.8 Estudos de Caso Brasileiros

### 2.8.1 Critérios para Delimitar Áreas de Preservação Permanente em Rios de Planície de Inundação

Scartazzini, Kautzmann e Fischer (2008) propõem, em seu trabalho, uma nova metodologia de delimitação da Área de Preservação Permanente, visto que a legislação pertinente deixa muitas lacunas. Os autores utilizam o licenciamento ambiental de uma área de extração de argila como exemplo do estudo de caso. A propriedade possui 4 ha e está situada na margem direita do Rio Caí, no Rio Grande do Sul.

A Área de Preservação Permanente consiste em uma faixa de largura variável (dependente da largura do rio) que é traçada a partir da margem e estabelecida pelo nível mais alto do rio. Dito isso, são mostrados dois pontos de vista. O primeiro é o do proprietário que considera a margem como sendo o topo do barranco que delimita o curso natural sazonal do mesmo, sendo considerada a cota de 13,5m, Figura 2.14, lado esquerdo. O outro ponto de vista é o dos responsáveis técnicos de órgãos licenciadores e de decisões jurídicas que estabelecem a margem a partir da maior cheia ocorrida no local, considerando assim a cota de 15m, Figura 2.14, lado direito.

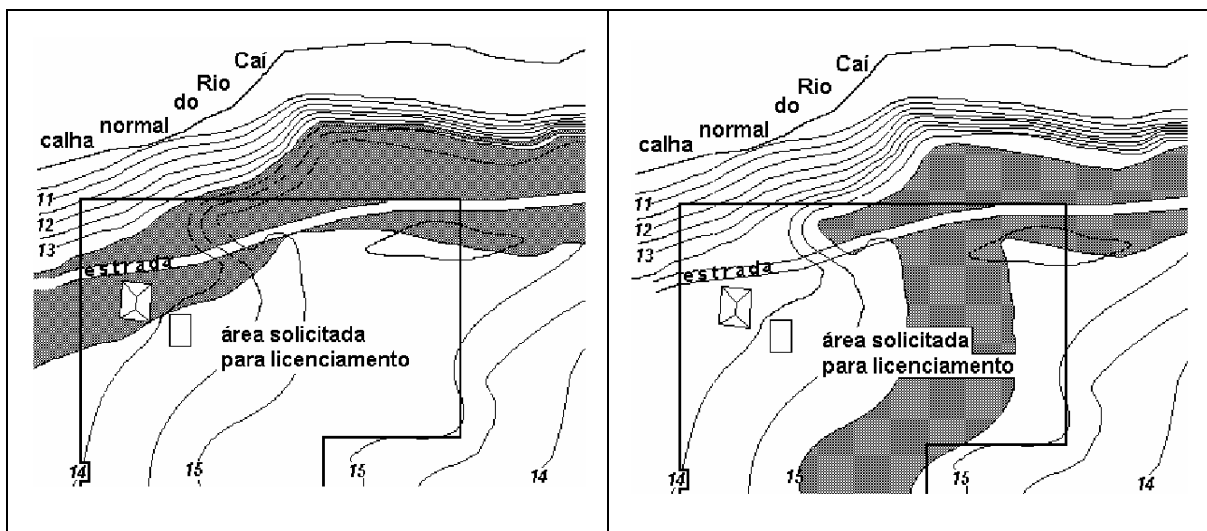


Figura 2.14: Cenário da área a ser licenciada e a faixa da APP de 50 metros a partir da margem definida pela cheia sazonal (esquerda) e pela maior cheia local (direita). (Modificado de SCARTAZZINI, KAUTZMANN E FISCHER, 2008)

Na figura 2.14 observamos que existe uma grande faixa entre a margem do leito menor do rio e a APP, a qual, segundo a interpretação dos autores, não necessita ser preservada, pois não é contemplada na lei. Mas, a meu ver, essa faixa é considerada leito do rio e, portanto, deveria ser preservada mesmo que a legislação não trate explicitamente do assunto, pois essa é uma área necessária à preservação da biodiversidade e da estabilidade geológica do local.

O trabalho de Scartazzini, Kautzmann e Fischer (2008) propõe uma alteração na legislação referente a APPs nas regiões com baixa declividade de terreno – as regiões de planície. A delimitação das APPs seriam feitas com base nas cotas máximas de cheias anuais, com largura variando de acordo com o tempo solicitado para operação da obra a ser licenciada, cuja medida é sistematizada por intermédio da distribuição de Gumbel. Por

exemplo, um empreendimento a ser licenciado por 10 anos, seria delimitado a partir da margem do leito menor até a cota de inundação de uma cheia de tempo de retorno de 10 anos, desde que essa largura do rio não seja menor que o atualmente proposto na legislação<sup>2</sup>.

A Figura 2.15 mostra a delimitação da área de APP, segundo o proposto no trabalho. Nela, são observadas três situações caracterizadas pela escolha de três diferentes tempos de licenciamento para a atividade de mineração. Há um aumento proporcional da área de proteção, de acordo com o tempo requerido para a atividade impactante. Em todas as simulações o rio estará protegido, desde a margem do leito menor, com uma faixa de mata ciliar que será tanto maior quanto maior for o tempo de licenciamento da atividade.

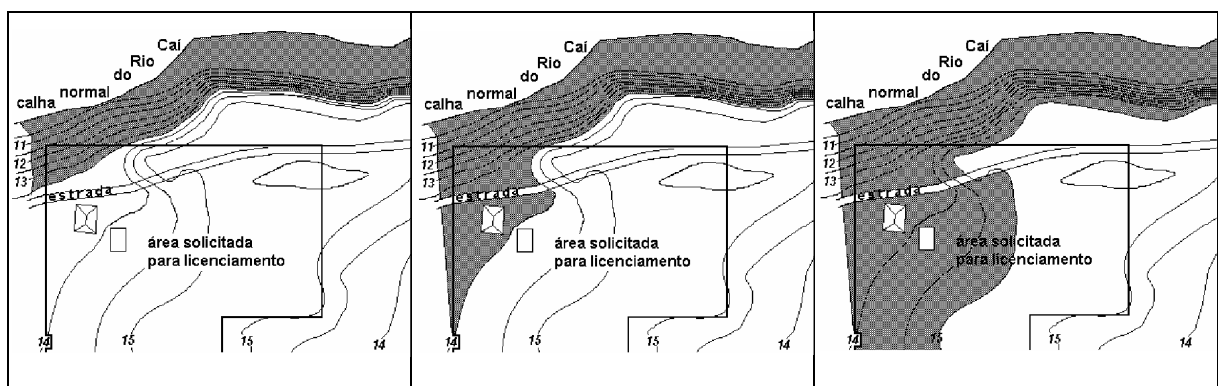


Figura 2.15: Simulação da faixa de proteção ciliar com Tempo de Retorno de 3, 10 e 15 anos respectivamente. (Modificado de SCARTAZZINI, KAUTZMANN E FISCHER, 2008)

A sugestão de reformulação da Legislação Ambiental mostra que a delimitação proposta no trabalho permite proteger a área sensível a impactos de erosão e assoreamento, sem impedir o uso atual e projetado de atividades antrópicas.

## 2.8.2 Sul de Minas Gerais

Nos últimos anos, vários estudos foram realizados na bacia do Rio Sapucaí, um dos afluentes do Rio Grande. Estudos nessa região são de suma importância, devido ao regime de inundações anuais.

Mattos (2004) apresenta, em sua dissertação de mestrado, uma metodologia para auxílio à previsão de cheias. A previsão é feita mediante a aquisição de dados pluviométricos em estações localizadas na bacia do Alto Sapucaí com a utilização de um

<sup>2</sup> Neste estudo de caso, a largura do Rio Cai é menor que 50m, sendo a largura mínima necessária à APP uma faixa de 50m.

sensor de nível ultrassônico e um sistema de transmissão de dados via telefone celular, conforme Figura 2.16 a seguir.

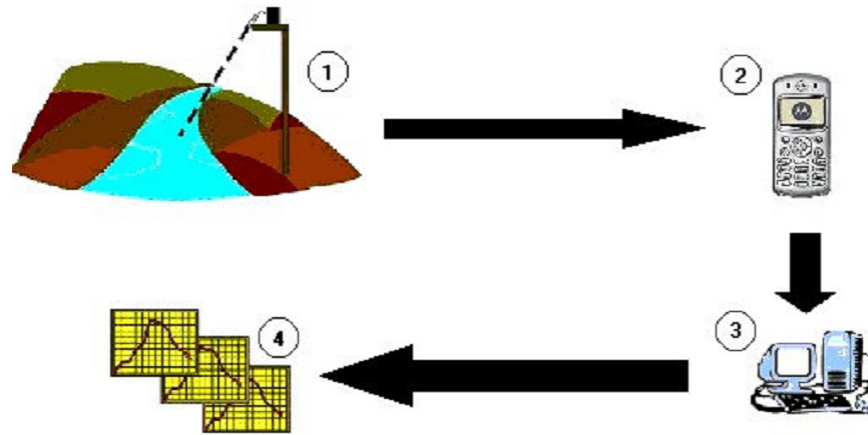


Figura 2.16: Esquema básico de um sistema de transmissão de dados hídricos (MATTOS, 2004)

A utilização de métodos não intrusivos de medição dos níveis batimétricos, em cada seção hidráulica de estudo, visa principalmente evitar que venham a ser levados pela correnteza, ou até mesmo obstruídos, quando da propagação de ondas de cheias.

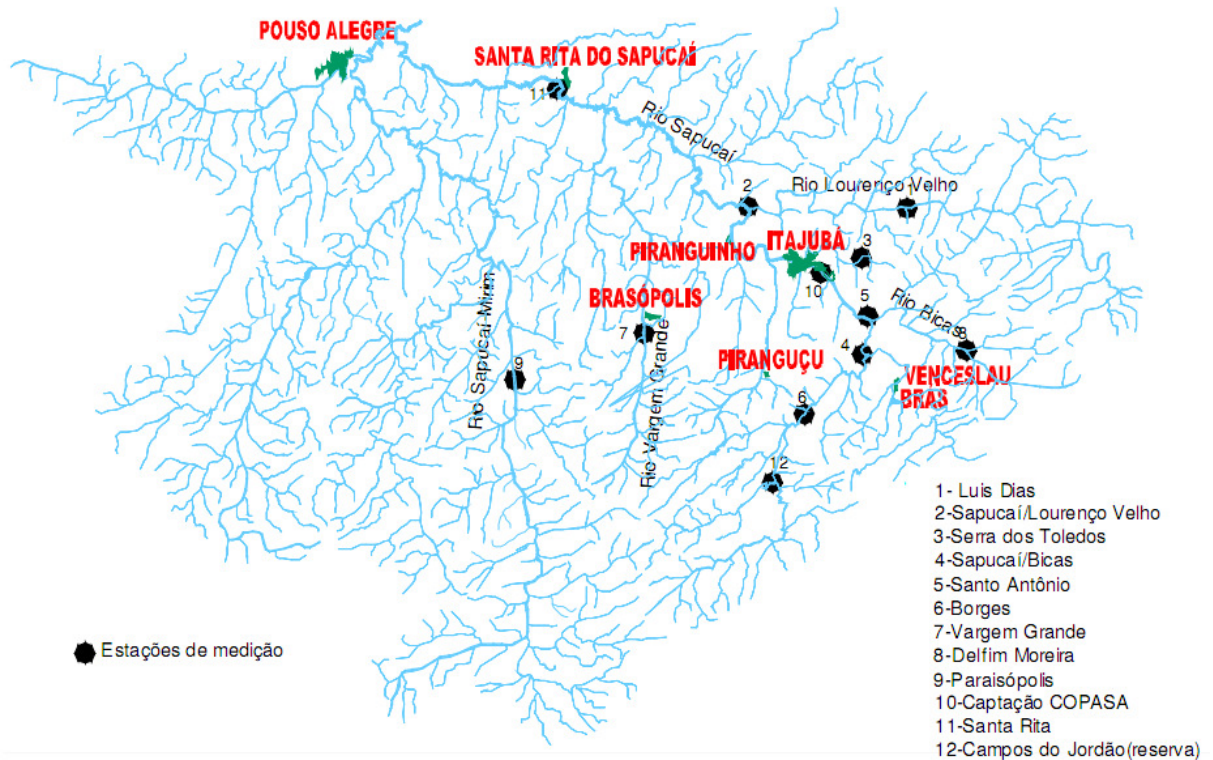


Figura 2.17: Localização das estações de monitoramento (Modificado de MATTOS, 2004)

A proposta do sistema é abranger todos os cursos d'água representativos presentes ao longo da bacia, podendo assim emitir alertas e evacuar as pessoas em eventos de cheias nas cidades banhadas pelo Rio Sapucaí. As localizações das estações estão apresentadas na Figura 2.17.

Barbosa e Matos (2004) desenvolveram um software para facilitar a obtenção das curvas-chaves em canais naturais. O programa foi desenvolvido em ambiente Visual Basic do Microsoft Excel®, utilizando como equação base a fórmula de Manning. Foi feito um estudo de caso de duas estações de monitoramento de cheias na bacia do alto Sapucaí, sendo uma em um trecho do Bairro Cantagalo e outra na captação de água da COPASA (Figura 2.18), localizadas no rio Sapucaí, no município de Itajubá-MG.

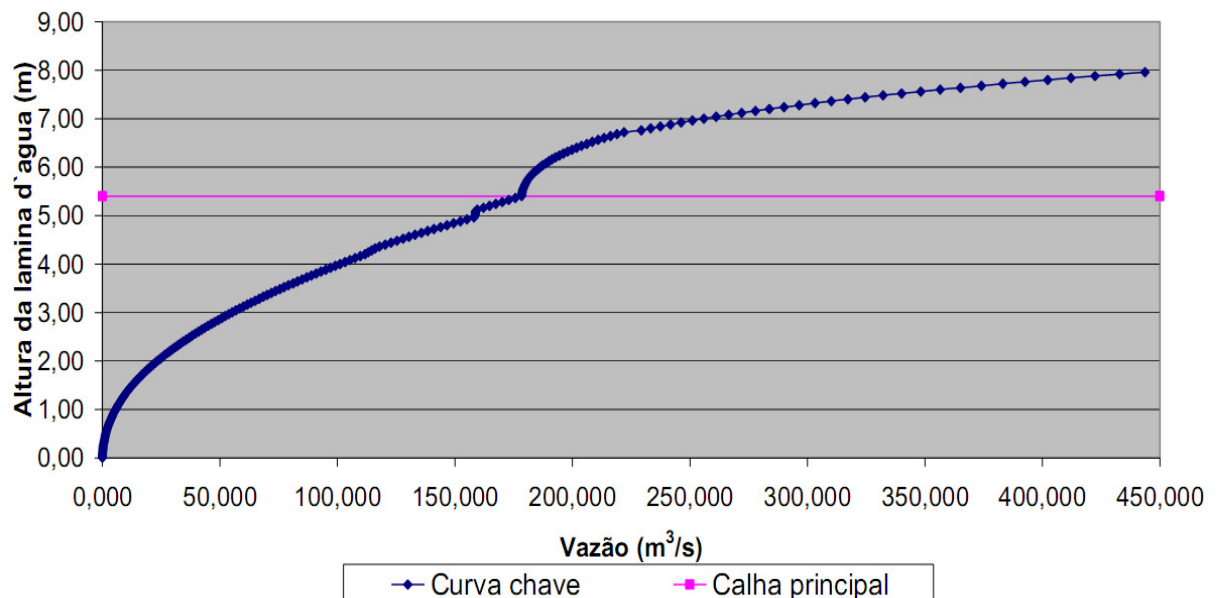


Figura 2.18: Curva-chave da seção da COPASA, no bairro Santa Rosa, Itajubá-MG.  
(BARBOSA e MATOS, 2004)

Pinheiro (2005) fez um trabalho de análise histórica das inundações e de dados hidráulicos para o município de Itajubá-MG. Esse autor estabeleceu uma estação-base no Rio Sapucaí, na captação de água da COPASA, para registro de informações ocorridas e também para registro de informações futuras. Um gráfico mostrando a distribuição anual dos níveis máximos de cheia pode ser visto na Figura 2.19.

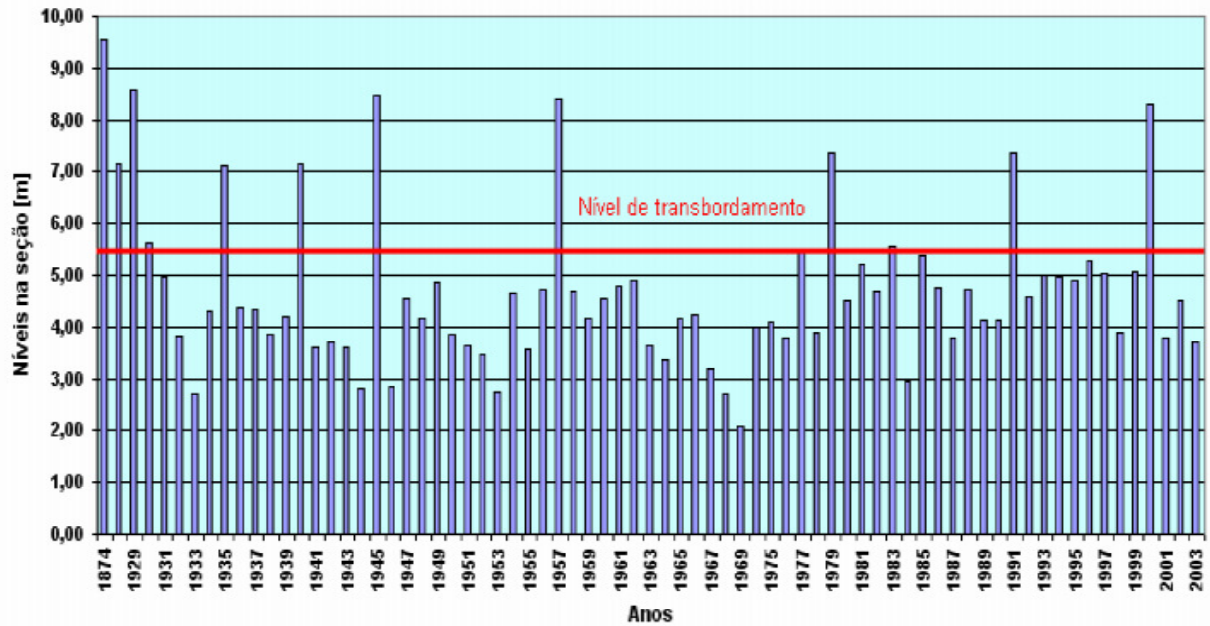


Figura 2.19: Distribuição anual dos níveis máximos de cheia observados e calculados para a estação-base. (PINHEIRO, 2005)

Em função dos dados coletados, por meio de fotografias e estações fluviométricas, Pinheiro (2005) estabeleceu tempos de retorno para as cheias, identificando a frequência das mesmas. A geração da curva-chave foi feita com o auxílio do programa computacional proposto por Barbosa e Matos (2004). O resultado pode ser visto na Figura 2.20.

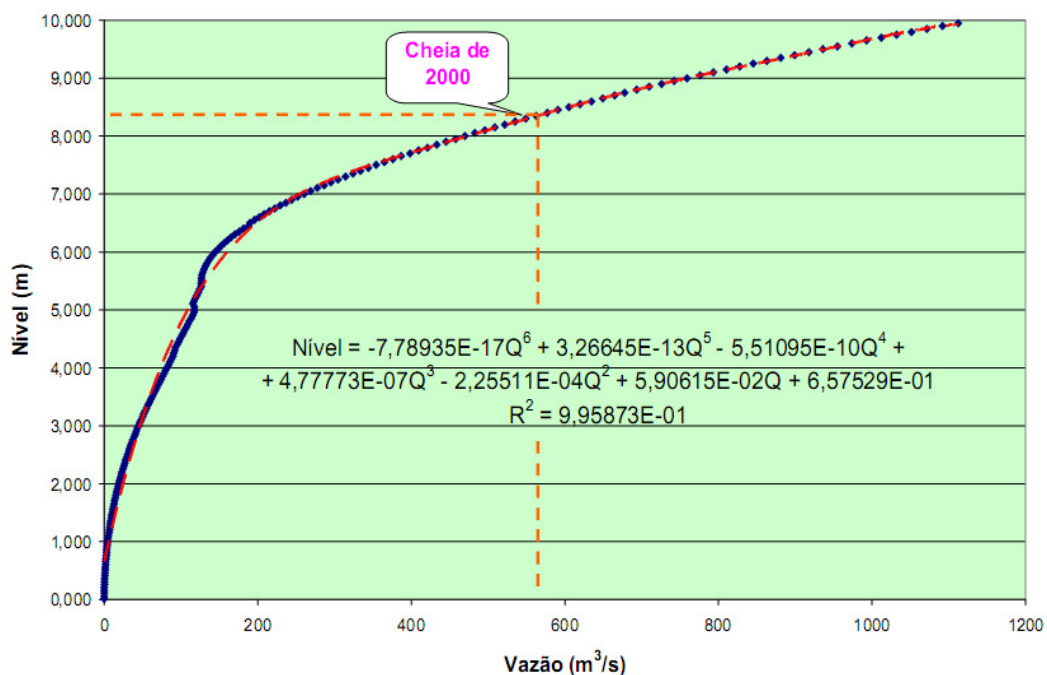


Figura 2.20: Curva-chave (nível x vazão) para a estação-base. (PINHEIRO, 2005)

Moni Silva (2006), em sua dissertação de mestrado, mapeou a cidade de Itajubá-MG a partir de fotos aéreas e de levantamentos topográficos, elaborou um tutorial para geração de manchas de inundação com o programa SPRING e simulou manchas de inundação para vários Tempos de Retorno.

A autora comparou uma mancha de inundação simulada com a cheia ocorrida no ano 2000 e concluiu que o programa SPRING fornece resultados muito próximos da realidade. Moni Silva (2006) também comparou os resultados obtidos mediante a função do SPRING e do programa LEGAL e sugeriu que a mancha gerada pela função apresenta como resultado linhas mais suaves, adequando-se melhor às curvas de nível, o que não ocorre com a mancha gerada com o programa, que se utiliza de operações matemáticas.

A Figura 2.21 mostra o fluxograma elaborado por Moni Silva (2006) para a simulação de uma mancha de inundação por meio do SPRING. O AutoCad foi utilizado como programa auxiliar, pois, apesar de o SPRING realizar todas as tarefas necessárias, o primeiro possui maior funcionabilidade.

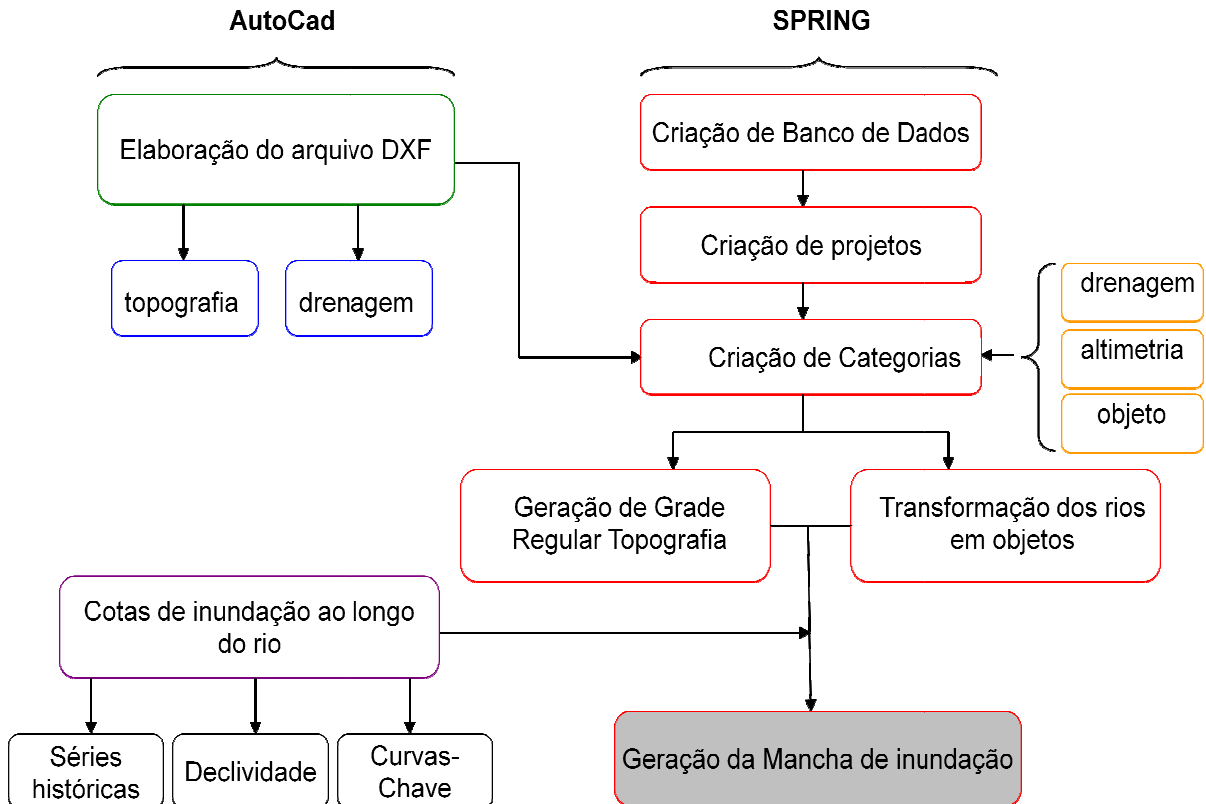


Figura 2.21: Fluxograma para elaboração de Mancha de Inundação (MONI SILVA, 2006)



A Figura 2.22 mostra um exemplo de simulação obtido por meio do programa para a área urbana de Itajubá-MG.

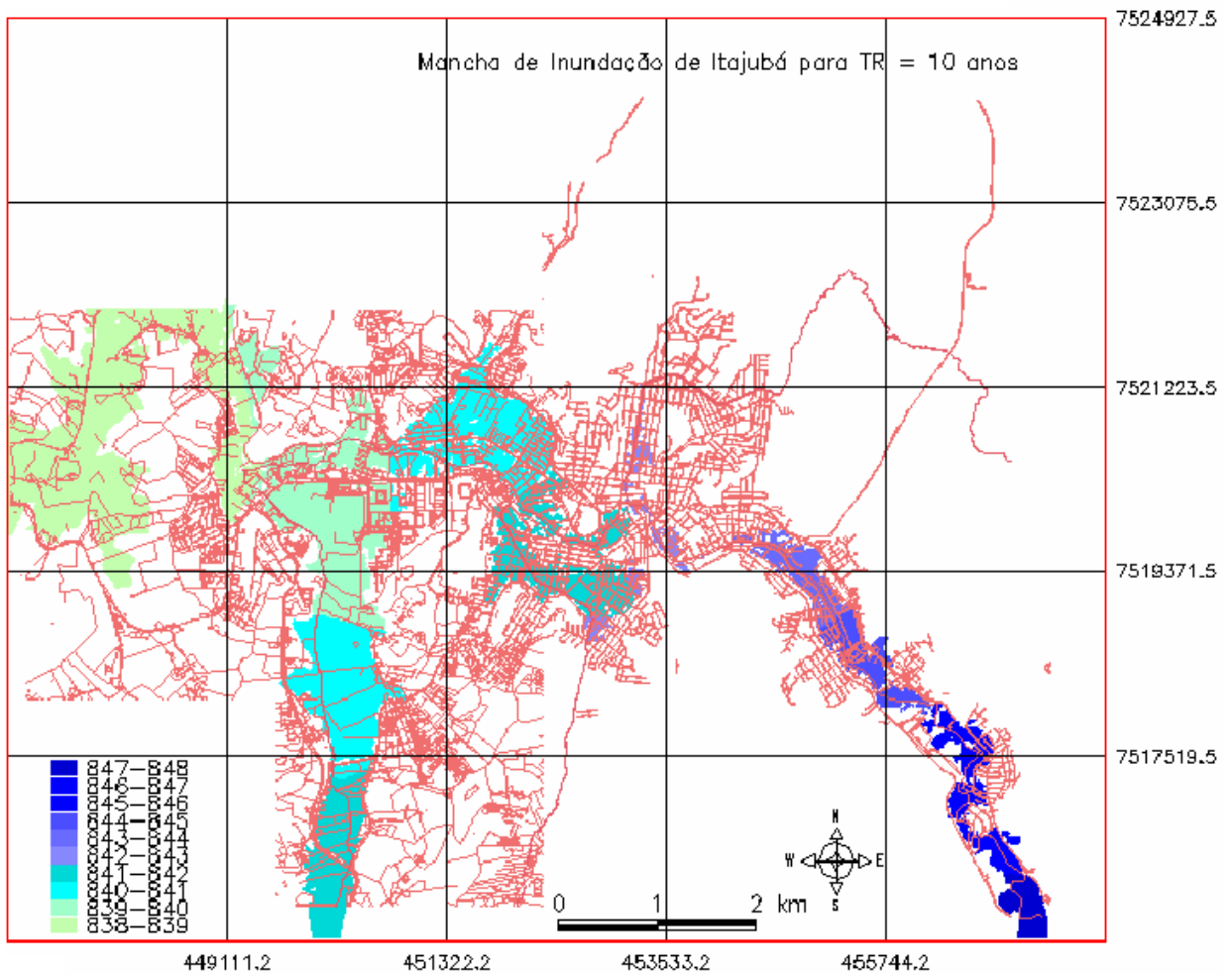


Figura 2.22: Mancha de Inundação para TR=10 anos. Cota de inundação=845,27. (MONI SILVA, 2006)

Um trabalho semelhante foi feito para a cidade de Santa Rita do Sapucaí-MG. Em sua dissertação de mestrado, Berti Sarlas (2010) fez um levantamento topográfico da cidade e estudos hidrológicos e, a partir destes, simulou manchas de inundações, com o programa SPRING, para diversos tempos de retorno. Um de seus resultados é mostrado na Figura 2.23.

O diferencial do trabalho de Berti Sarlas (2010) é o tutorial para elaboração de manchas de inundação, que ele apresenta em seu Anexo 04. Nele são mostradas todas as etapas de maneira minuciosa e com muitas figuras, assim qualquer usuário com pouco conhecimento nos softwares consegue reproduzir a metodologia.

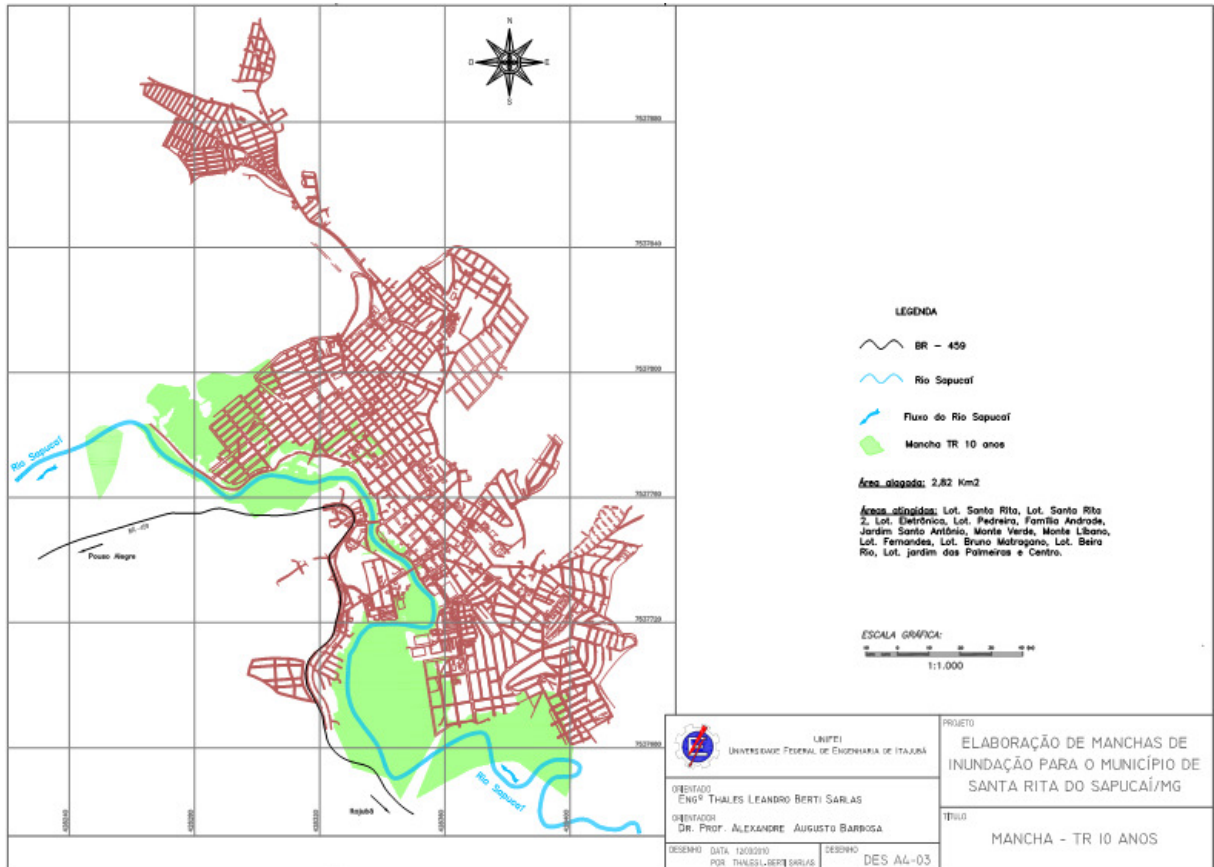


Figura 2.23: Mancha de Inundação para TR=10 anos. (BERTI SARLAS, 2010)

### 3 Materiais e Métodos

#### 3.1 Caracterização da área

A área de estudo é o município de Pouso Alegre, no estado de Minas Gerais. Segundo dados do IBGE, possui atualmente 130.586 habitantes<sup>1</sup> e a área total do município é de 543km<sup>2</sup>. As principais vias de acesso são: MG-179 – Rodovia Deputado Sebastião Navarro Vieira – Pouso Alegre a Alfenas; MG-290 – Pouso Alegre a Jacutinga; BR-381 – Rodovia Fernão Dias – Belo Horizonte-MG a São Paulo-SP; BR-459 – Rodovia Juscelino Kubitschek de Oliveira – Poços de Caldas-MG a Paraty-RJ. A Figura 3.1 mostra as principais vias de acesso.



Figura 3.1: Estradas de acesso a Pouso Alegre. (Fonte: <http://www.br381.com.br/cidades/pousoalegre/mapa.htm>)

<sup>1</sup> IBGE 2010. Fonte: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>

### 3.1.1 Hidrografia

Os principais rios que cortam o município de Pouso Alegre são: Rio Mandu, Rio Sapucaí-Mirim e Rio Sapucaí. Eles fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, cujo rio principal nasce na Serra da Mantiqueira, na cidade de Campos do Jordão – SP, a uma altitude de 1620 metros, desaguando no Lago de Furnas a 780 metros de altitude, percorrendo, aproximadamente, 248 km. O rio Mandu nasce em Ouro Fino e deságua no Sapucaí-Mirim. O Rio Sapucaí-Mirim nasce na serra da Mantiqueira e deságua no Rio Sapucaí, seus principais afluentes são o Rio Capivari, Itaim, Mandu e o Ribeirão dos Ouros.

A área de interesse para essa monografia contempla as nascentes dos principais rios que cortam Pouso Alegre, até o ponto de confluência dos Rios Sapucaí e Sapucaí-Mirim. Esse trecho poder ser visualizado na Figura 3.2. De acordo com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e com o Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH Sapucaí), a Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí é dividida nos trechos alto, médio e baixo Sapucaí, conforme a Figura 3.3, sendo a sub-bacia pertencente ao Alto Sapucaí e parte do Médio Sapucaí.

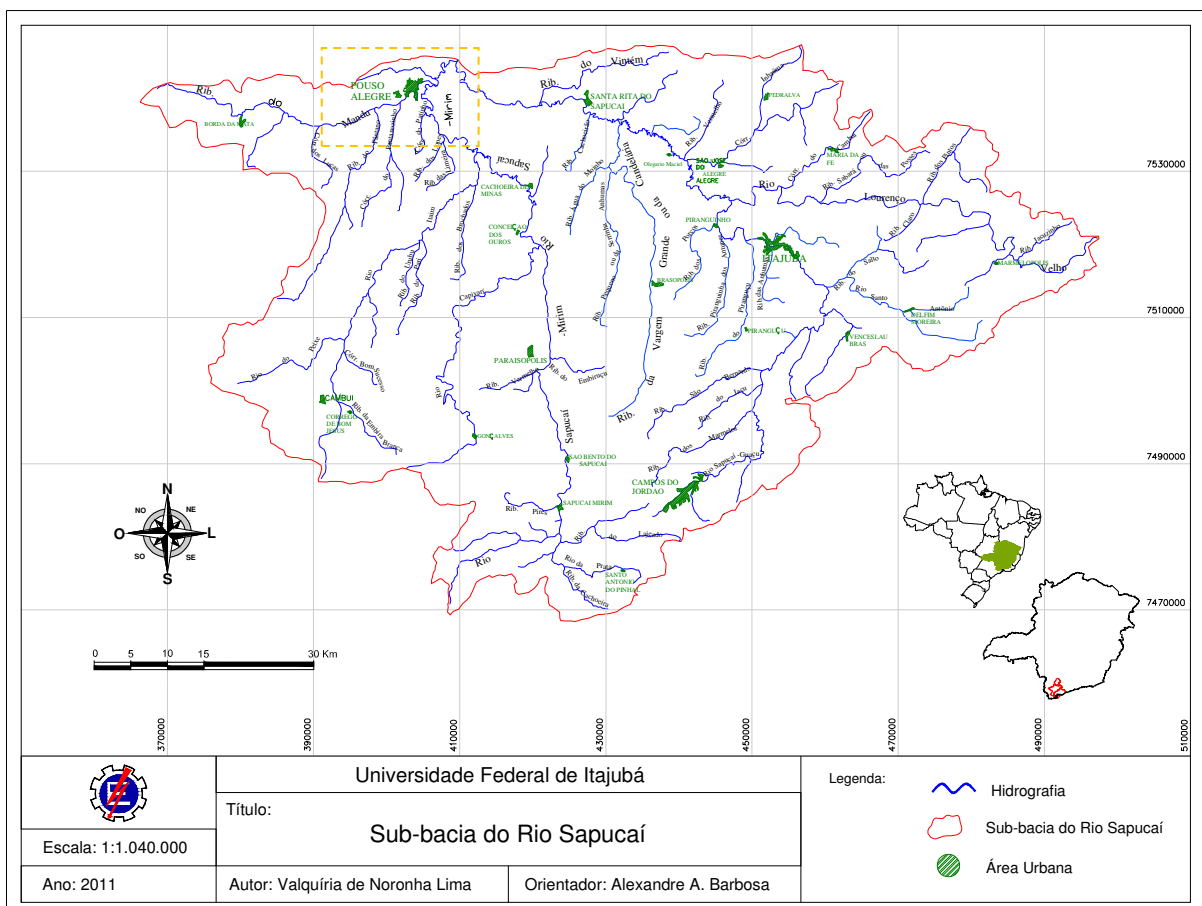


Figura 3.2: Sub-bacia do Rio Sapucaí – trecho de interesse para o estudo.

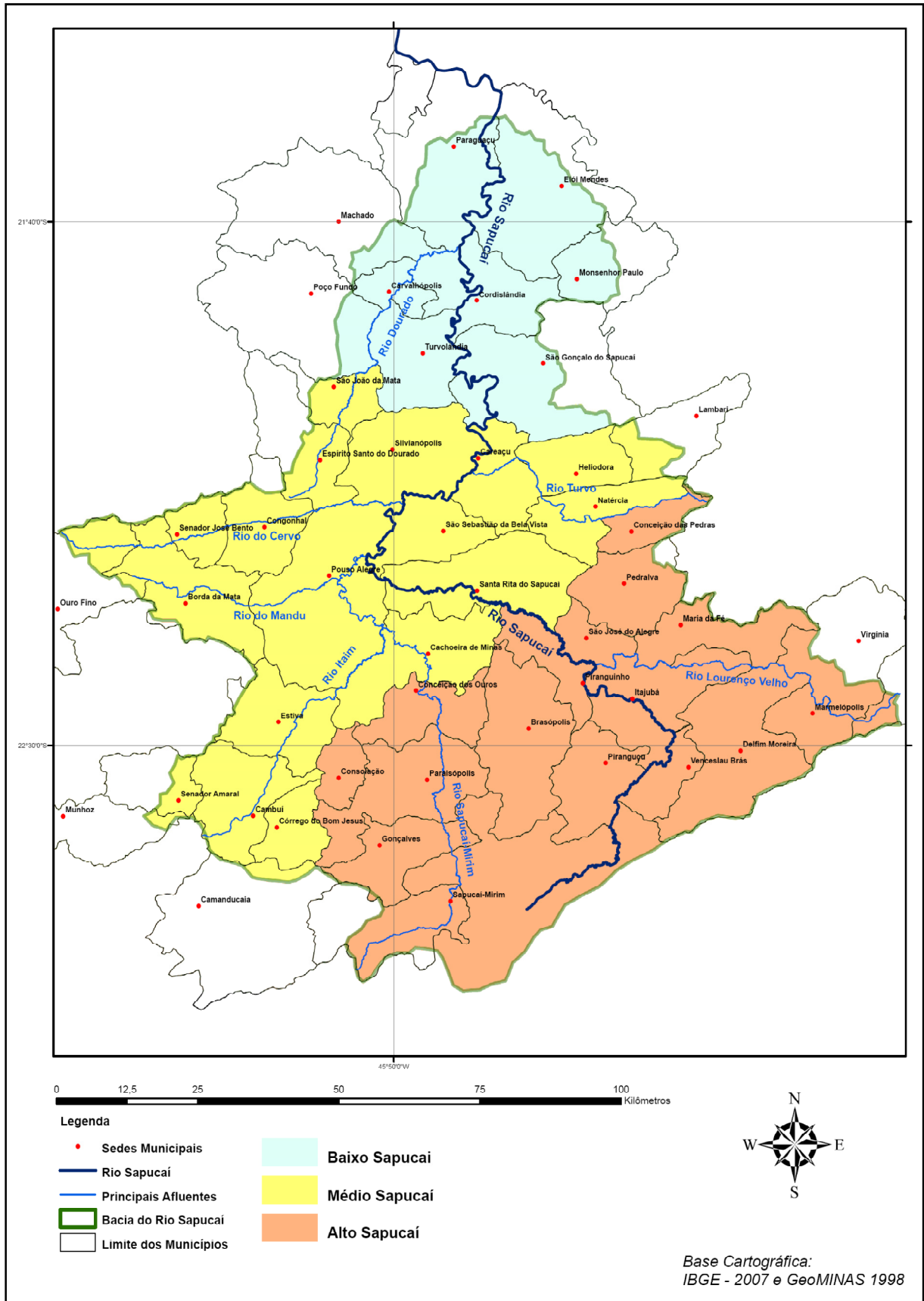


Figura 3.3: Bacia do Rio Sapucaí e suas subdivisões. (Fonte: CBH Sapucaí<sup>2</sup>)

<sup>2</sup> <http://www.cbhsapucaí.org.br/cbh/public/files/ResumoExecutivo.pdf>

Foram estabelecidas três seções de controle para os estudos hidrológicos, conforme a Figura 3.4 e a Tabela 3.1.

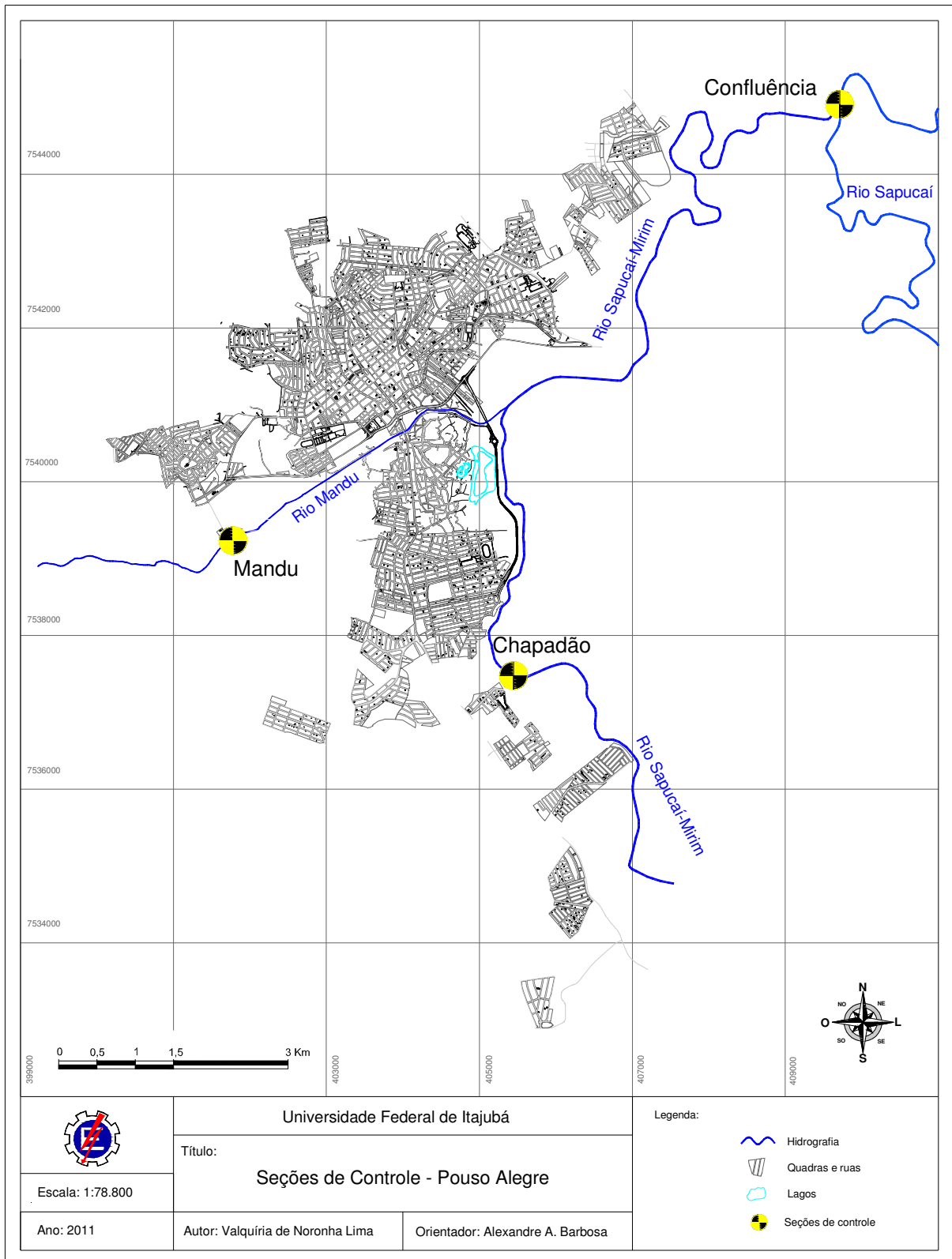





Figura 3.4: Posicionamento georreferenciado das estações de controle.

Tabela 3.1: Resumo das estações de controle.

Estação	Mandu	Chapadão	Confluência
Rio	Mandu	Sapucaí-Mirim	Sapucaí
Latitude [km]	7.539.213,4	7.537.353,9	7.545.200,0
Longitude [km]	401.617,2	405.385,9	409.600,0
Altitude [m]	816,74	821,63	813,62
Área de drenagem [km <sup>2</sup> ]	495	2.202	5.828
Descrição da localização	Em frente à Captação de água da COPASA, na área urbana de Pouso Alegre-MG	Em frente à Captação de água da COPASA, na área urbana de Pouso Alegre-MG	A jusante da foz do Rio Sapucaí-Mirim, na zona rural de São Sebastião da Bela Vista-MG
Foto da localização			

## 3.2 Dados hidrometeorológicos

### 3.2.1 Pluviometria

Para o levantamento pluviométrico da área de estudo, foi utilizado o Método de Thiessen, que, segundo Tucci (2002), considera a não uniformidade da distribuição espacial dos postos, mas não leva em conta o relevo da bacia.

Para se analisarem os dados de precipitação, foram levantadas todas as estações pluviométricas presentes num raio de 100 km da cidade de Pouso Alegre. As estações foram inseridas no mapa da área da Sub-bacia do Rio Sapucaí e verificadas quais estações influíam sobre a sub-bacia. A Figura 3.5 mostra o método de Thiessen aplicado à sub-bacia; a Tabela 3.2 mostra as Estações Pluviométricas escolhidas e suas respectivas influências.

Escolhidas as estações de interesse, todas do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais), recolheram-se os valores de precipitação mensal de janeiro de 1998 a julho de 2009 no site [http://satellite.cptec.inpe.br/PCD/historico/consulta\\_pcdm.jsp](http://satellite.cptec.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdm.jsp). Esses valores foram arranjados em tabelas, apresentadas no Anexo 1. Lá também é encontrado um gráfico correlacionando as precipitações médias mensais de cada estação.

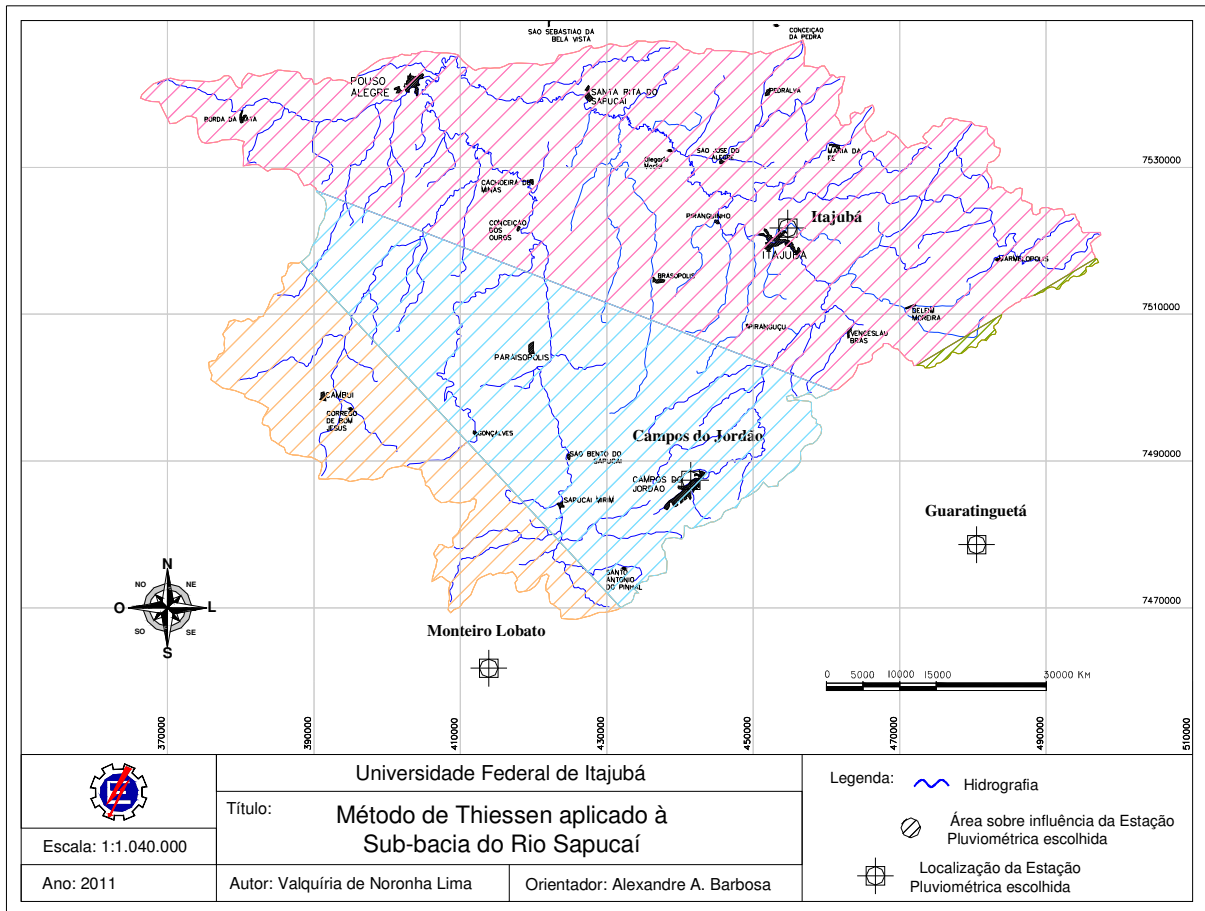


Figura 3.5: Áreas de influência das estações pluviométricas no contexto da bacia hidrográfica do Rio Sapucaí.

Tabela 3.2: Estações Pluviométricas utilizadas e suas áreas de influência sobre a Sub-Bacia do Rio Sapucaí, de acordo com o Método de Thiessen.

	Áreas (km <sup>2</sup> )	Influência (%)
<b>Itajubá</b>	3.282,2	56,3
<b>Campos do Jordão</b>	1.722,1	29,6
<b>Monteiro Lobato</b>	801,3	13,7
<b>Guaratinguetá</b>	22,1	0,4
<b>Total da Sub-Bacia</b>	5.827,8	

Para o cálculo da precipitação média, utilizou-se a Equação 3.1, a seguir. Quando uma das estações não possuía dados para um período, somente as outras eram contabilizadas. A Figura 3.6 mostra a precipitação mensal para cada um dos anos analisados e a Figura 3.7 mostra a média calculada para a Sub-Bacia do Rio Sapucaí. Neles, podemos ver que o regime pluvial estudado consiste em um verão chuvoso e em um inverno seco.



$$P_m = \frac{1}{A} \cdot \sum A_i \cdot P_i \quad (3.1)$$

Onde:

$A_i$  – área de influência do posto  $i$ ;

$P_i$  – precipitação registrada no posto  $i$ ;

$A$  – área total da bacia.

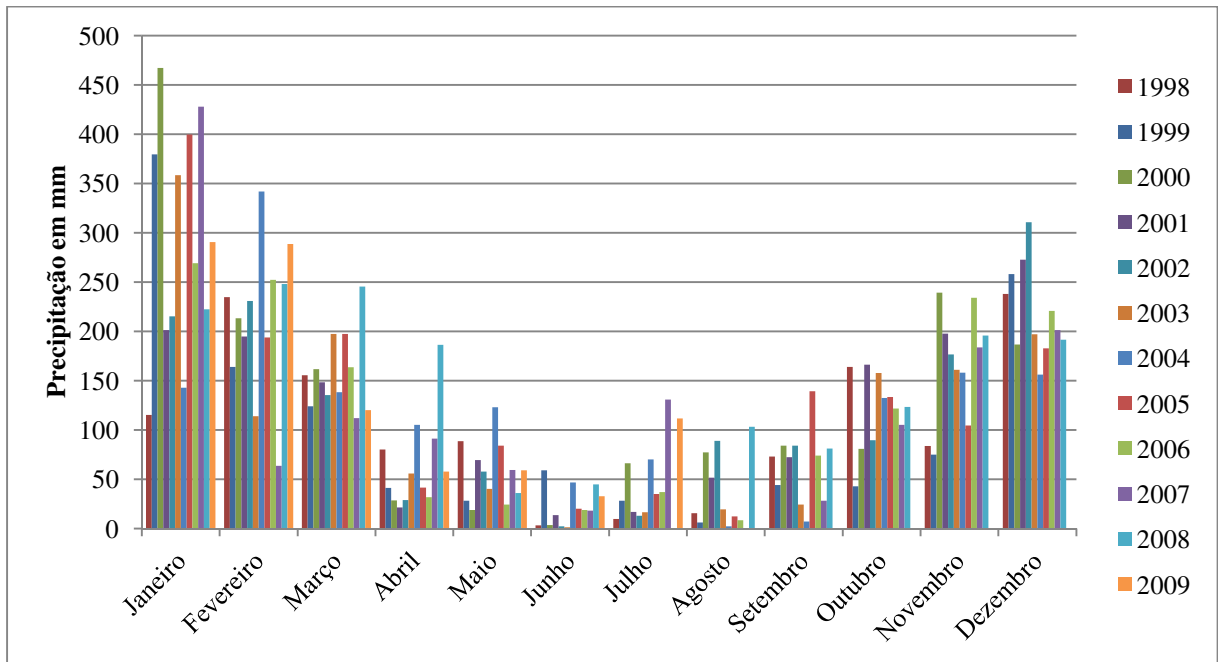


Figura 3.6: Precipitações mensais para o período de 1998 a 2009 na sub-bacia do Rio Sapucaí.

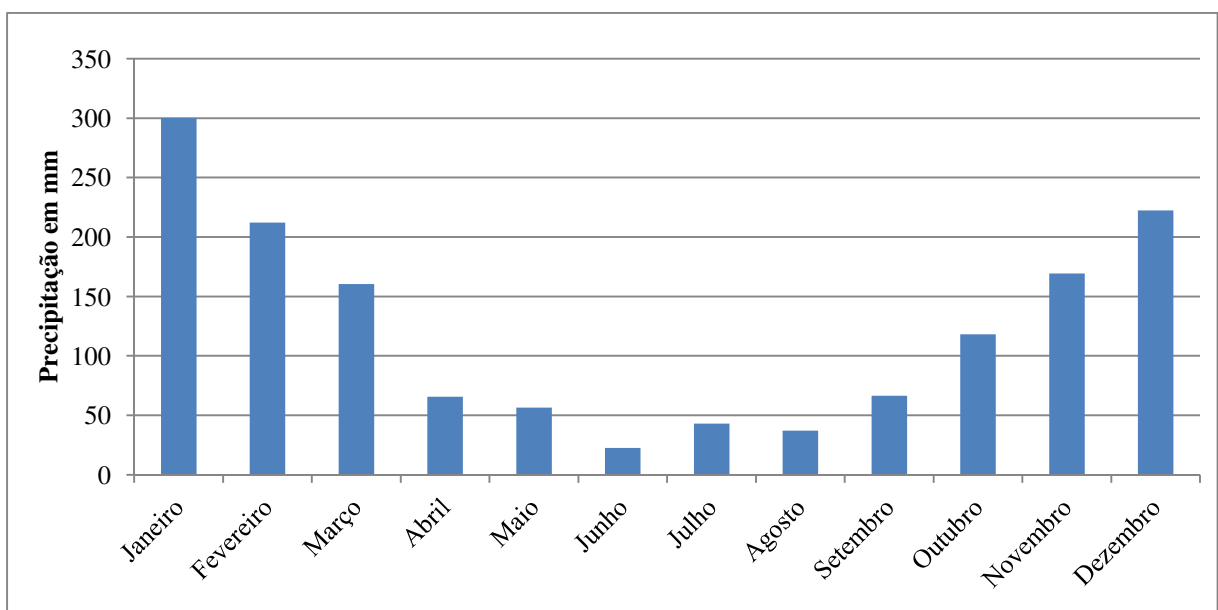


Figura 3.7: Média mensal de precipitação para a sub-bacia do Rio Sapucaí.

### 3.2.2 Declividade

A declividade de um curso d'água representa a linha de energia do mesmo. Para se conseguir a declividade, é necessário fazer a topobatimetria ao longo do rio, obtendo-se assim a diferença de altura, ou altitude, desses pontos e a distância entre eles. Inserindo-se os dados em um gráfico, pode-se traçar uma linha de tendência e dela obter a equação da reta.

A declividade dos rios Mandu, Sapucaí-Mirim e Sapucaí foi obtida com o uso de DGPS. Coletaram-se pontos do nível da água dos rios nas proximidades das seções de controle, Figura 3.11. As posições geográficas e a altitude dos pontos obtidos nas margens dos rios foram inseridas no mapa de hidrografia, obtendo-se assim as distâncias entre si. Tendo-se esses dados, foram traçados os gráficos de declividade, figuras 3.8, 3.9 e 3.10, e obtidas as linhas de tendência e suas respectivas equações.

Um resumo dos resultados é mostrado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Valores médios das declividades e desníveis dos rios.

	Mandu	Sapucaí-Mirim	Sapucaí
Declividade [cm/km]	14,0 / 38,2	21,0	19,4

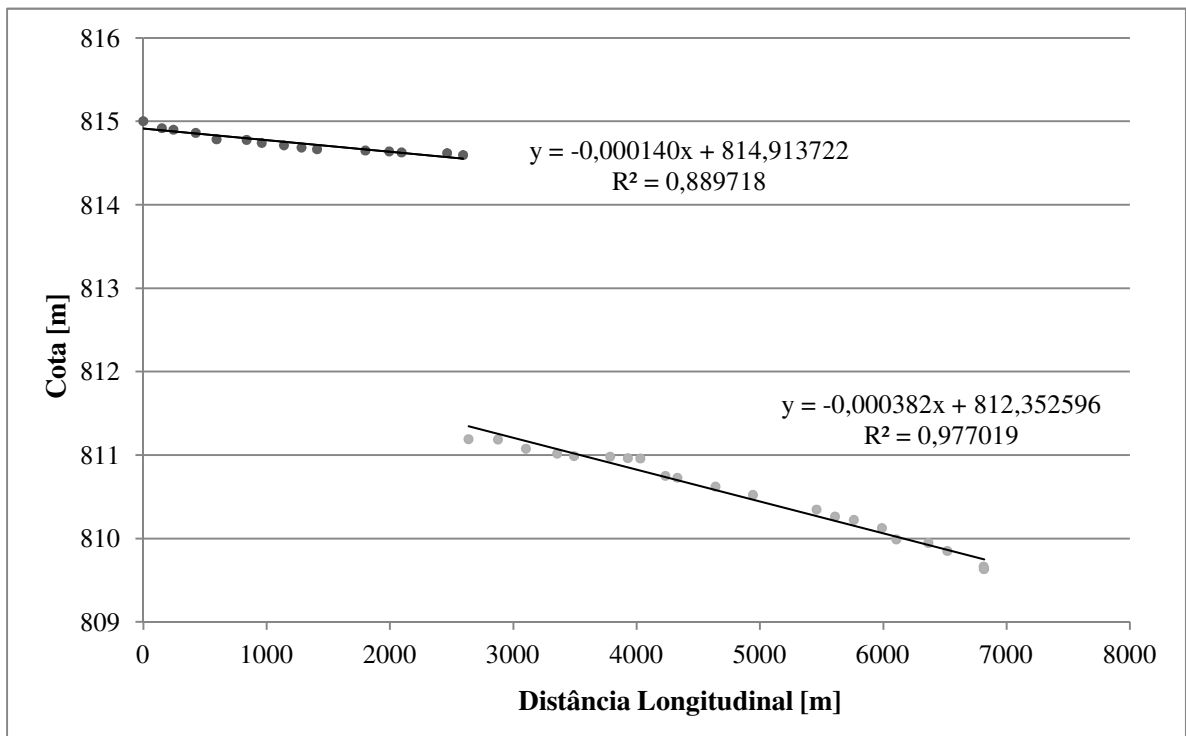


Figura 3.8: Declividade do Rio Mandu – 2009.

Foram levantados dois valores para o Rio Mandu, pois existe uma barragem de regularização de vazões na captação de água da COPASA. O primeiro valor se refere a montante e o segundo a jusante dessa barragem.

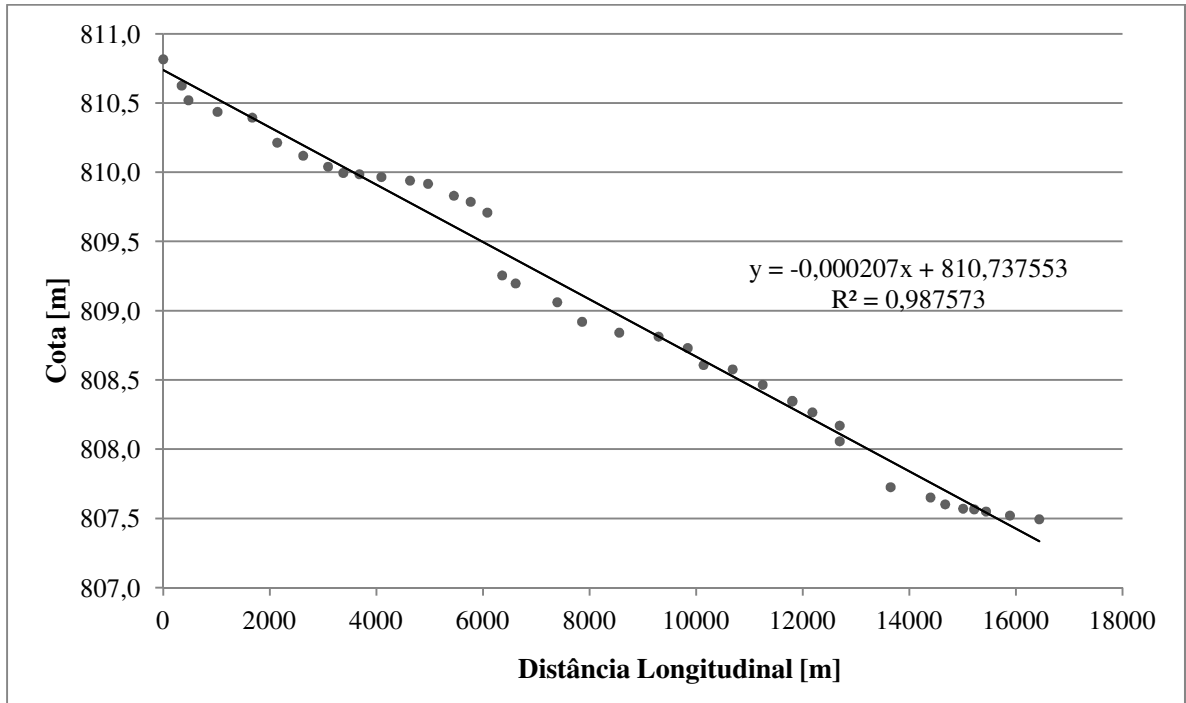


Figura 3.9: Declividade do Rio Sapucaí-Mirim – 2009.

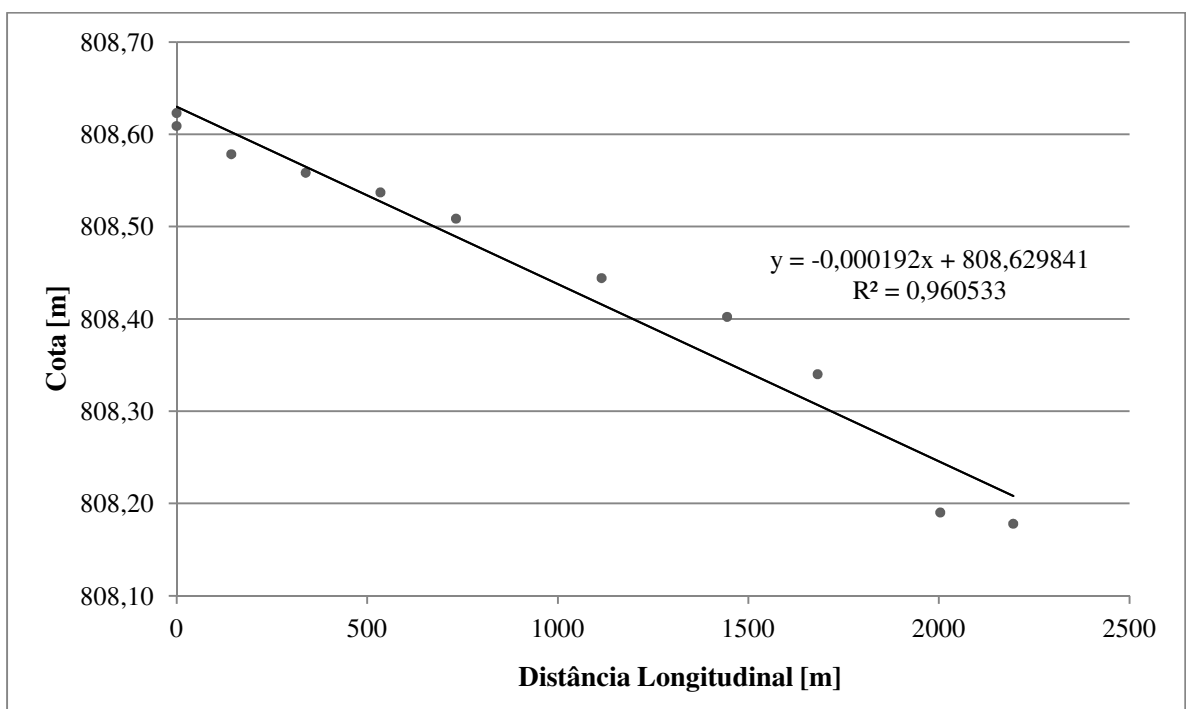


Figura 3.10: Declividade do Rio Sapucaí – 2009.

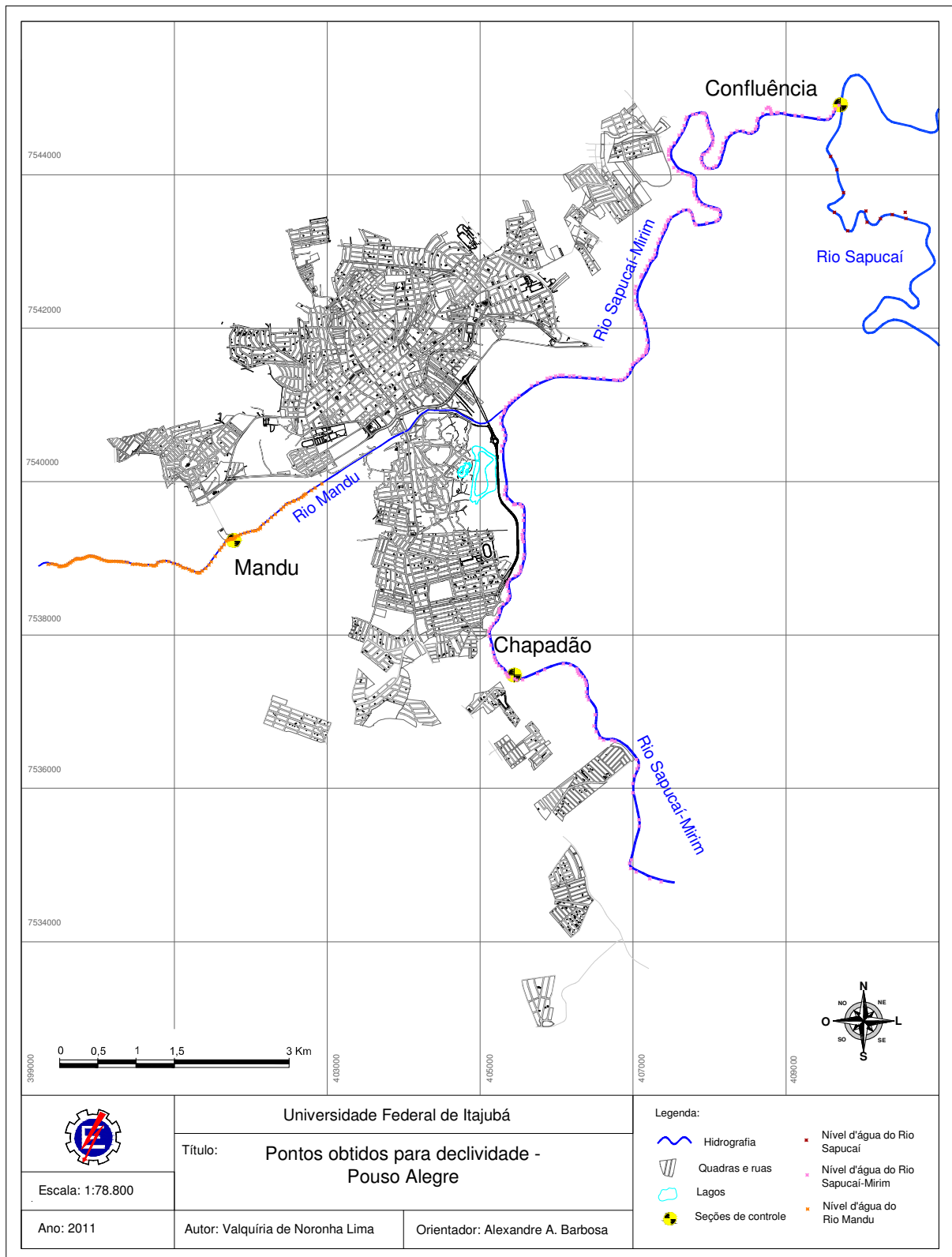


Figura 3.11: Pontos obtidos com DGPS para o cálculo da declividade dos Rios Mandu, Sapucaí-Mirim e Sapucaí – 2009

### 3.2.3 Levantamento Topobatimétrico

O levantamento topobatimétrico consiste no mapeamento da seção transversal do rio. Por intermédio dele é possível obter: área molhada, perímetro molhado, raio hidráulico, largura de topo, profundidade hidráulica, altura da coluna d'água e vazão. Podem ser utilizadas várias técnicas para se obter a seção. Abaixo, são citadas duas:

- **Estação Total** – Monta-se a Estação total em uma das margens do rio, em um ponto georreferenciado ou não, dependendo dos objetivos da topobatimetria. Com o auxílio de prismas, tomam-se pontos do leito transversal do rio e suas margens. A estação faz a leitura da distância horizontal, da diferença altimétrica e do ângulo a partir do ponto base. Esses dados são descarregados da Estação e manipulados com auxílio de programas de computador, como Excel e AutoCad, traçando-se gráficos das seções.
- **Qliner** – O Qliner é composto de dois equipamentos, um barco com sonar e transmissor de dados, e um receptor Bluetooth, que é a interface do equipamento. Para se realizarem as medições, atravessa-se uma corda graduada na seção transversal do rio, por onde o barco é arrastado, efetuando-se medições de profundidade e do perfil de velocidade vertical, a uma distância preestabelecida. O software do equipamento receptor calcula a velocidade, profundidade e vazão no momento da coleta dos dados. Por fim, as informações são descarregadas em um computador, para melhor manipulação dos dados.

As figuras 3.12, 3.13 e 3.14 correspondem às três seções de estudo. Nelas, a seção topobatimétrica (perfil do rio) é representada pela linha azul, a linha verde corresponde ao nível d'água, a linha vermelha, ao nível de atenção e o ponto triangular, ao local onde a estação total foi montada.

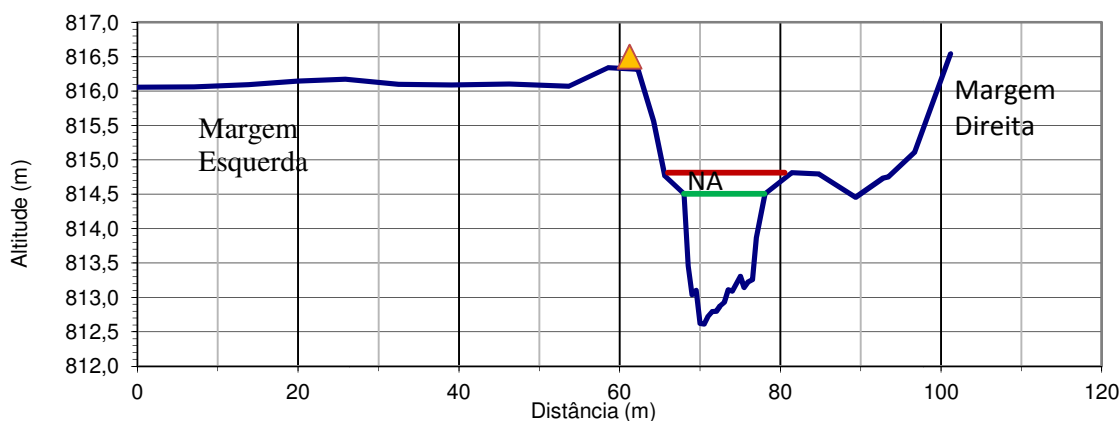


Figura 3.12: Seção Topobatimétrica Mandu, medida em 28/07/2009.

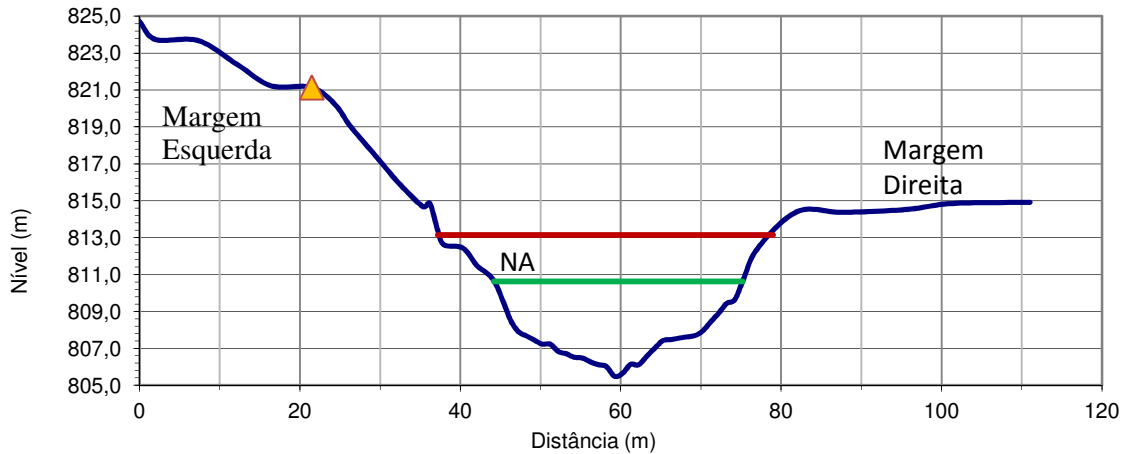


Figura 3.13: Seção Topobatimétrica Chapadão, medida em 28/07/2009.

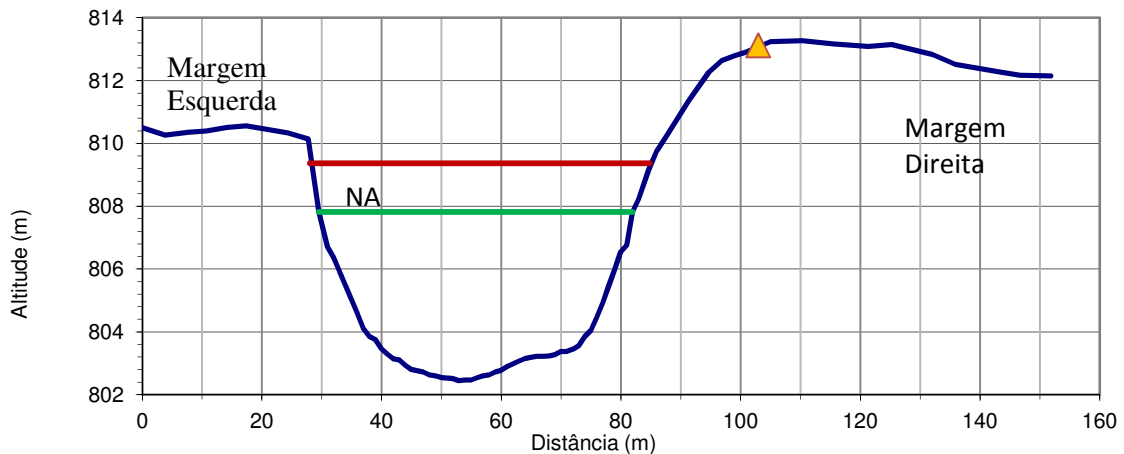


Figura 3.14: Seção Topobatimétrica Confluência, medida em 22/08/2009.

Para o presente estudo, utilizaram-se ambas as técnicas de formas complementares. O Qliner foi utilizado para o levantamento topobatimétrico da área molhada, pois as grandes profundidades dos rios dificultam o uso do outro método. A estação total foi utilizada para se fazer o levantamento das margens.

### 3.2.4 Medição de Vazões

A vazão é definida como a quantidade de água que passa por uma seção em um determinado tempo. As vazões das seções de controle foram obtidas simultaneamente às medições topográficas das mesmas com a utilização do Qliner. As figuras 3.15, 3.16 e 3.17

mostram as saídas gráficas do equipamento Qliner, onde podem ser vistas as velocidades médias, as vazões por seguimento de largura e a batimetria da seção.

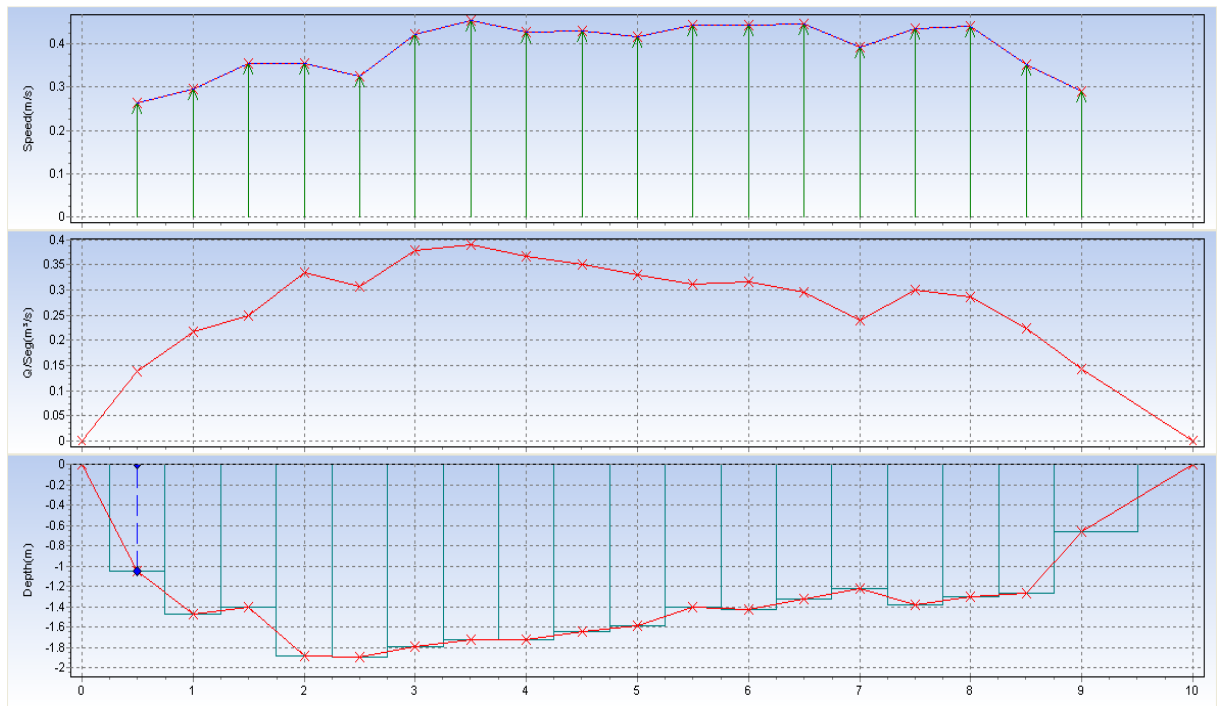


Figura 3.15: Características hidráulicas obtidas com o Qliner para a estação de controle do Rio Mandu.

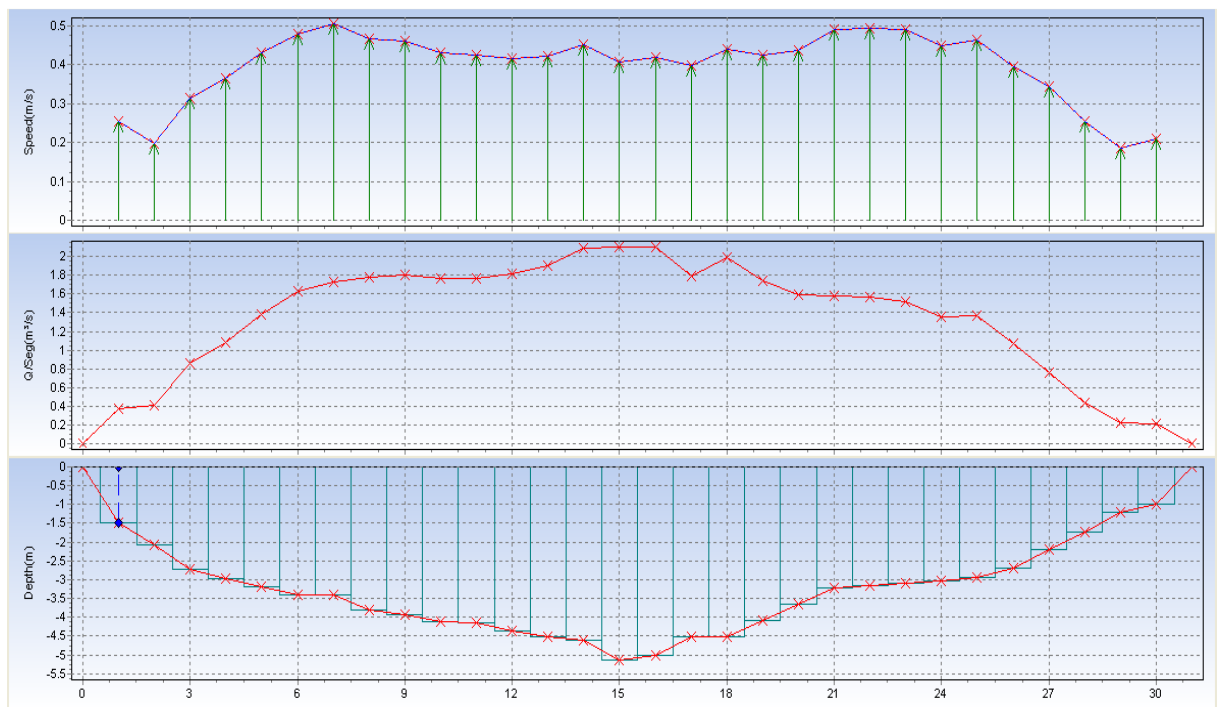


Figura 3.16: Características hidráulicas obtidas com o Qliner para a estação de controle do Rio Sapucaí-Mirim – Chapadão.

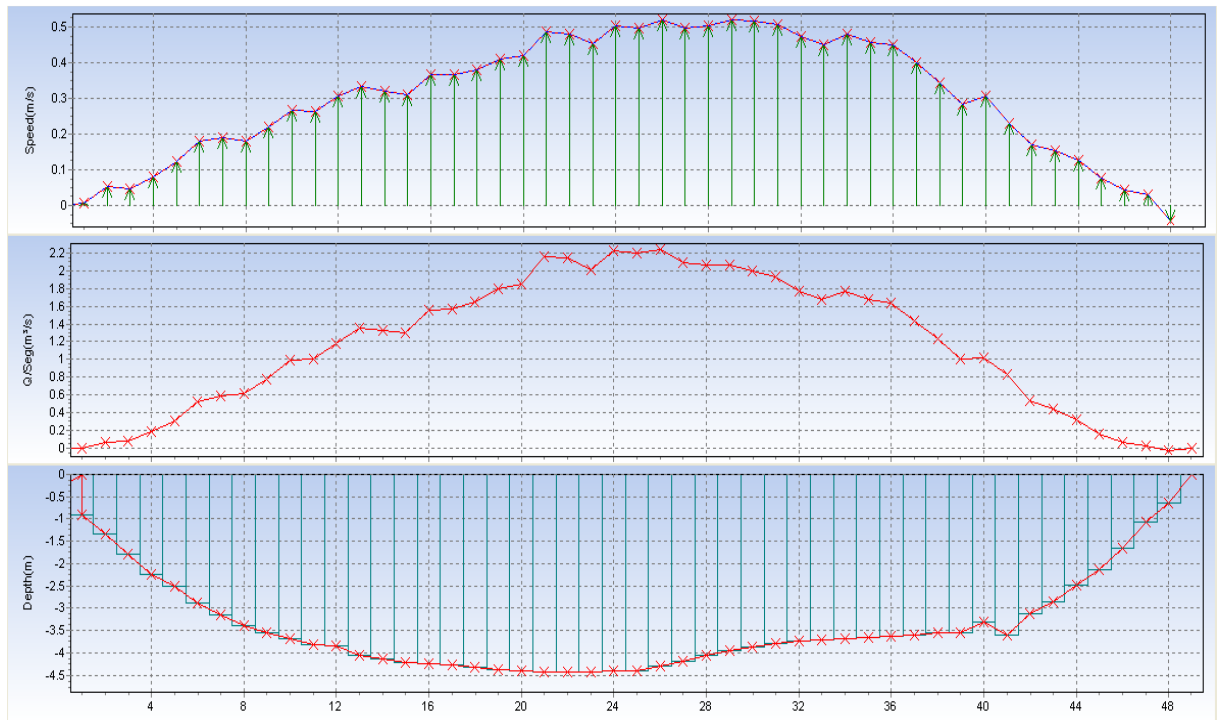


Figura 3.17: Características hidráulicas obtidas com o Qliner para a estação de controle do Rio Sapucaí – Confluência.

Na Tabela 3.4, mostram-se dados obtidos para os níveis de vazante nas três seções de estudo.

Tabela 3.4: Valores médios das grandezas hidráulicas nas seções (período de vazante).

	Mandu	Chapadão	Confluência
Vazão [m³/s]	5,2 ± 0,1	41,8 ± 0,3	114,0 ± 0,6
Largura de topo do escoamento [m]	10	31	52
Profundidade [m]	1,3	3,2	4,0
Área [m²]	13,255	99,960	163,410
Velocidade média [m/s]	0,391	0,418	0,352
Data da medição	28/07/2009	28/07/2009	22/08/2009

### 3.2.5 Curva-Chave

Segundo Barbosa e Matos (2004), a curva-chave é uma relação cota-vazão para um dado curso d'água. Ela é desenvolvida para determinar mais facilmente a vazão. Um gráfico Cota x Vazão é construído a partir de dados experimentais ou dados empíricos do canal. A



partir de um nível de água, obtém-se a vazão correspondente, sem a necessidade de realizar cálculos muito trabalhosos.

As curvas-chave para as seções foram obtidas por meio de medições de vazões diretas, com o uso do Qliner, e de interpolação e extrapolação dos dados. Para tal foi feita uma regionalização de curva-chave tendo como base a da captação de água da Copasa, no bairro Santa Rosa, em Itajubá-MG. Utilizou-se esse procedimento para as três seções. A seguir, temos as figuras 3.18, 3.19 e 3.20 com as curvas-chave obtidas para cada uma delas.

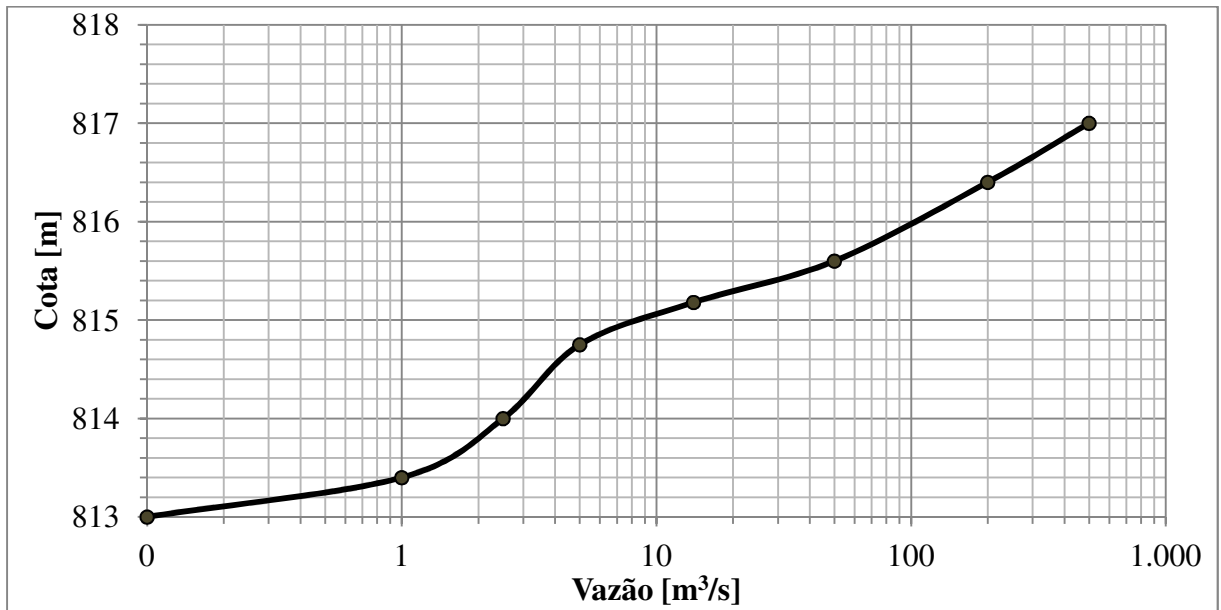


Figura 3.18: Curva-chave do Rio Mandu na seção Mandu.

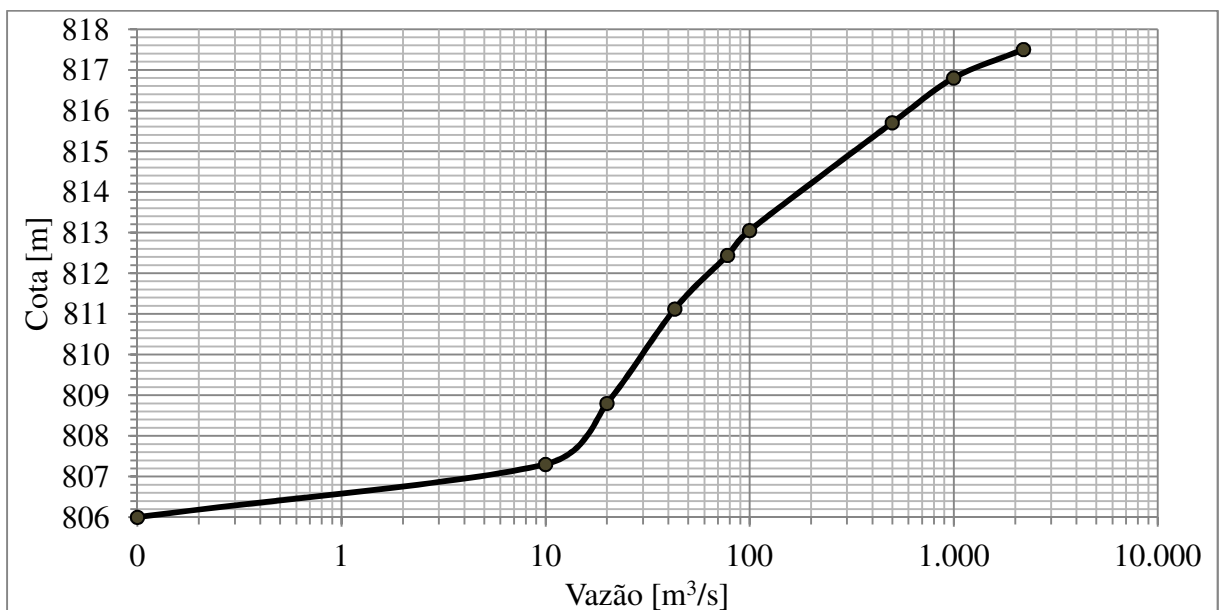


Figura 3.19: Curva-chave do Rio Sapucaí-Mirim na seção Chapadão.

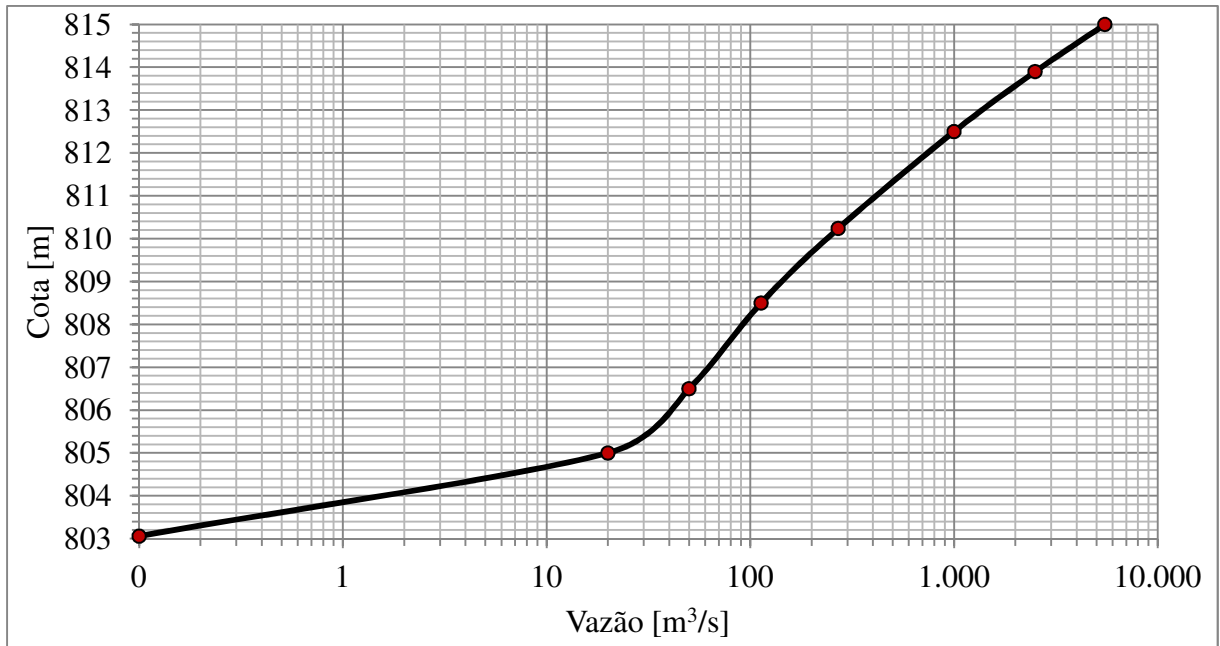


Figura 3.20: Curva-chave do Rio Sapucaí na seção Confluência.

É importante ressaltar que essas curvas são estimativas baseadas em outros trabalhos realizados na região. Elas devem ser calibradas com o tempo por meio de novas medições em campo. À medida que os resultados forem aprimorados, poderá ser traçada uma linha de tendência e se obter a equação da mesma.

### 3.2.6 Tempo de retorno

O tempo de retorno está relacionado com a probabilidade de que um valor, no caso a vazão do rio, seja ultrapassado. As vazões podem ser estimadas mediante ajuste de uma distribuição estatística, da regionalização de vazões ou por precipitação. Neste trabalho, o método adotado foi o de regionalização da curva de tempo de retorno da seção Santa Rosa, situada no bairro de mesmo nome, no Rio Sapucaí em Itajubá – MG.

A seção Santa Rosa já foi utilizada em trabalhos como o de Mattos (2004), Barbosa e Matos (2004), Pinheiro (2005), Moni Silva (2006) e Berti Sarlas (2010), e em alguns desses casos era chamada de seção COPASA ou Estação-base. A Figura 3.21 mostra o cálculo dos tempos de retorno para a seção Santa Rosa, pelo ajuste de Gumbel.

Para se calcularem os tempos de retorno das seções Mandu, Chapadão e Confluência a partir da seção Santa Rosa, utilizou-se a seguinte relação:

$$TR_n = f\left(\frac{A_{drenagemn}}{A_{drenagemSantaRosa}}, TR_{SantaRosa}\right) \quad (3.2)$$

Onde:

$TR_n$  – tempo de retorno para cada uma das estações de monitoramento em [anos];

$TR_{Santa Rosa}$  – tempo de retorno para a seção Santa Rosa em [anos];

$A_n$  – área de drenagem para cada uma das estações de monitoramento em [km<sup>2</sup>];

$A_{Santa Rosa}$  – área de drenagem para a seção Santa Rosa, igual a 868 km<sup>2</sup>.

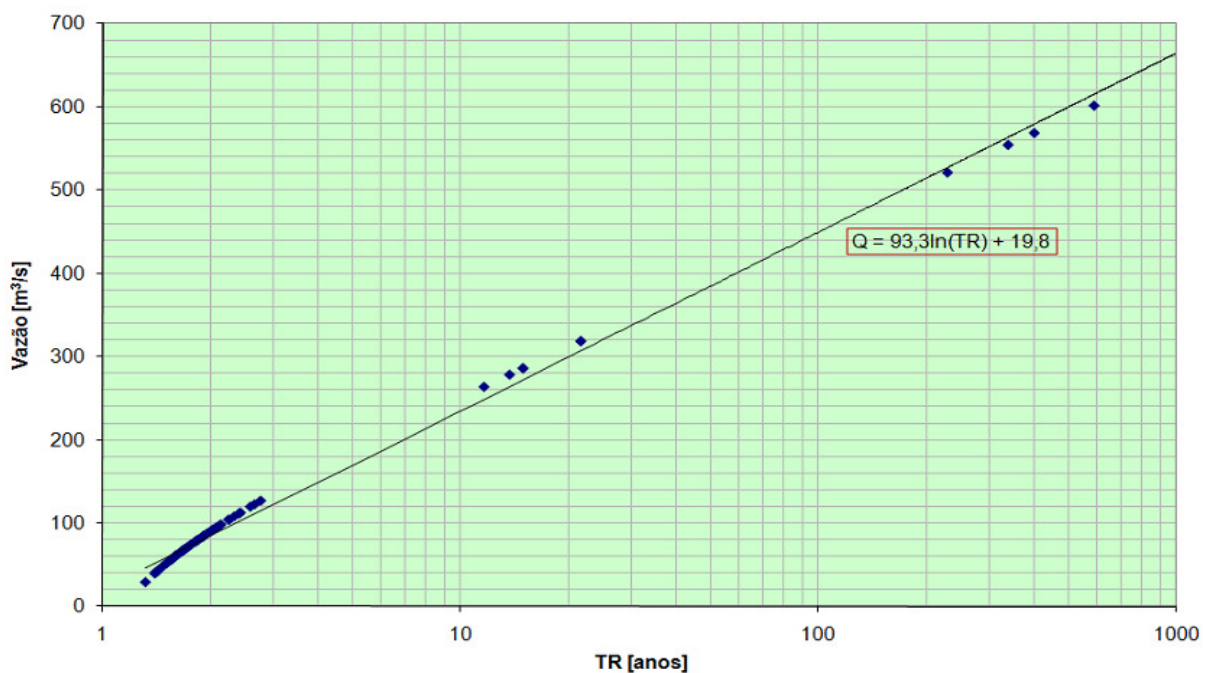


Figura 3.21: Tempos de retorno, em função da vazão volumétrica, para a estação de monitoramento no Bairro Santa Rosa, Itajubá-MG. (UNIFEI, 2010)

A funcionalidade expressa na equação acima se deu pela correção das vazões máximas obtidas para a estação de Santa Rosa por meio da relação entre as áreas de drenagem dessa estação e cada uma das três estações de monitoramento da área diretamente afetada. O tempo de retorno para cada vazão máxima de Santa Rosa foi considerado o mesmo para a nova vazão máxima das estações retratadas.

Na Figura 3.22, são apresentadas as curvas características de tempos de retorno para as estações de monitoramento. As relações tempo de retorno, vazão e cota são representadas na Tabela 3.5.

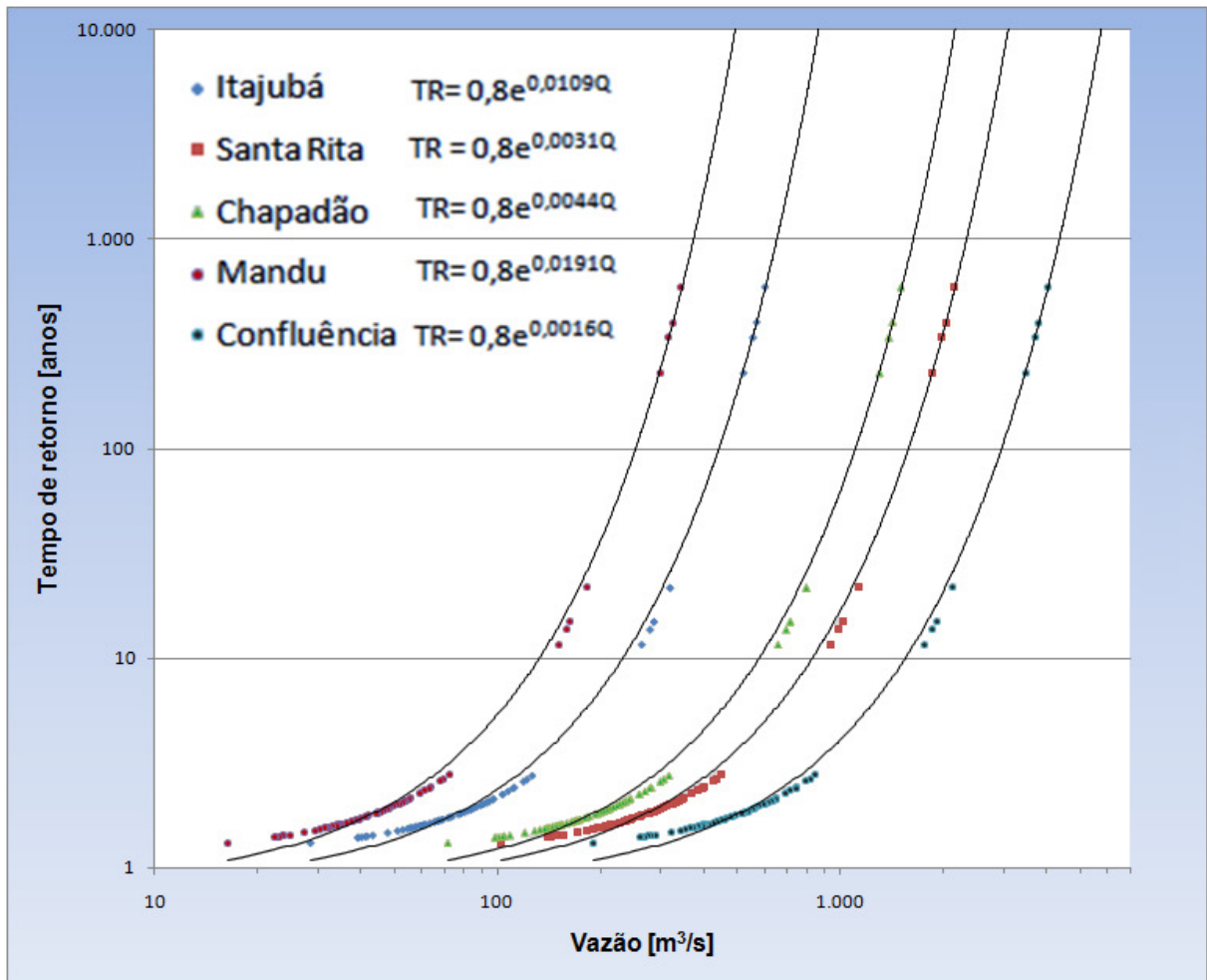


Figura 3.22: Tempos de retorno para as estações de monitoramento. (Modificado de UNIFEI, 2010)

Tabela 3.5: Relação entre tempo de retorno, vazão e cota das seções de estudo.

Seções	TR [anos]	2	5	10	25	50	100	500	1.000
Mandu	Vazão [m³/s]	48	96	132	180	217	253	337	373
	Cota [m]	815,60	815,95	816,10	816,35	816,45	816,55	816,70	816,80
Chapadão	Vazão [m³/s]	208	416	574	782	940	1097	1463	1621
	Cota [m]	814,20	815,25	815,70	816,55	816,75	816,90	817,20	817,30
Confluência	Vazão [m³/s]	573	1145	1579	2151	2584	3018	4024	4457
	Cota [m]	811,50	812,65	813,20	813,65	813,95	814,20	814,55	814,80

### 3.2.7 Topografia

A topografia utilizada foi obtida de duas formas: levantamento em campo e dados fornecidos pela prefeitura de Pouso Alegre. O levantamento de dados em campo foi feito utilizando-se estação total e DGPS, principalmente nas áreas de várzea, para que os resultados fossem mais precisos.

## 3.3 Elaboração de uma mancha de inundação

Para a elaboração de uma mancha de inundação, é necessário fazer um levantamento prévio de diversos dados. A Figura 3.23 mostra o esquema básico para a criação da mancha de inundação, mostrando os dados e os programas necessários. Os softwares principais são:

**SPRING** – software desenvolvido pelo INPE/DPI<sup>3</sup> com funções de um SIG (Sistema de Informações Geográficas). Segundo Câmara *et. al.* (1996b), ele possui funções como processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

**AutoCad** – software criado pela Autodesk, do tipo CAD (Desenho Auxiliado por Computador). Ele é usado principalmente dentro da engenharia para a elaboração de desenhos técnicos. As versões atuais do programa permitem sua utilização em desenhos arquitetônicos, controle de materiais, SIG, dentre outros.

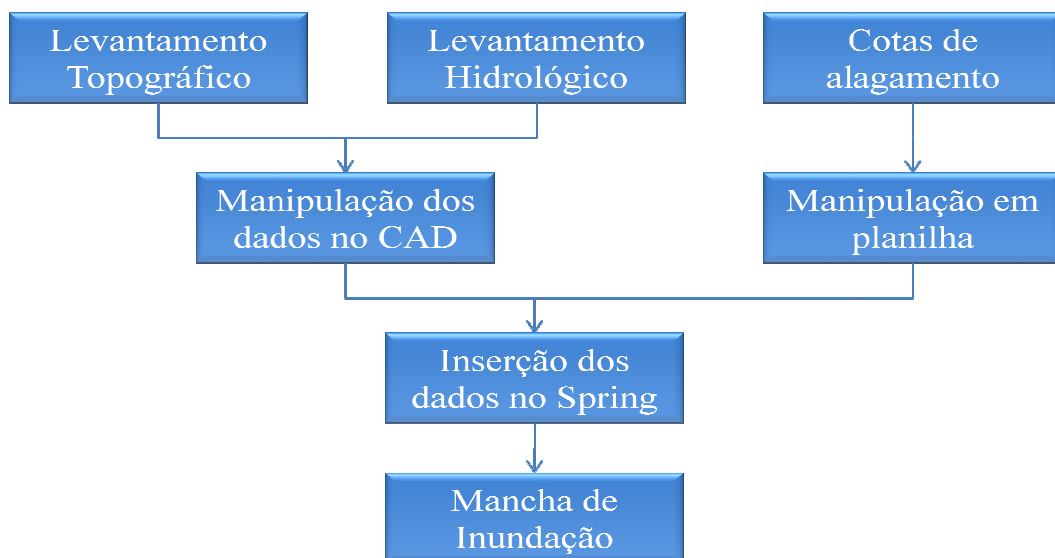


Figura 3.23: Esquema de dados necessários para a geração de manchas de inundação.

<sup>3</sup> Divisão de Processamento de Imagens

A Figura 3.24 mostra os procedimentos de inserção dos dados no SPRING e as principais etapas para a geração das manchas.

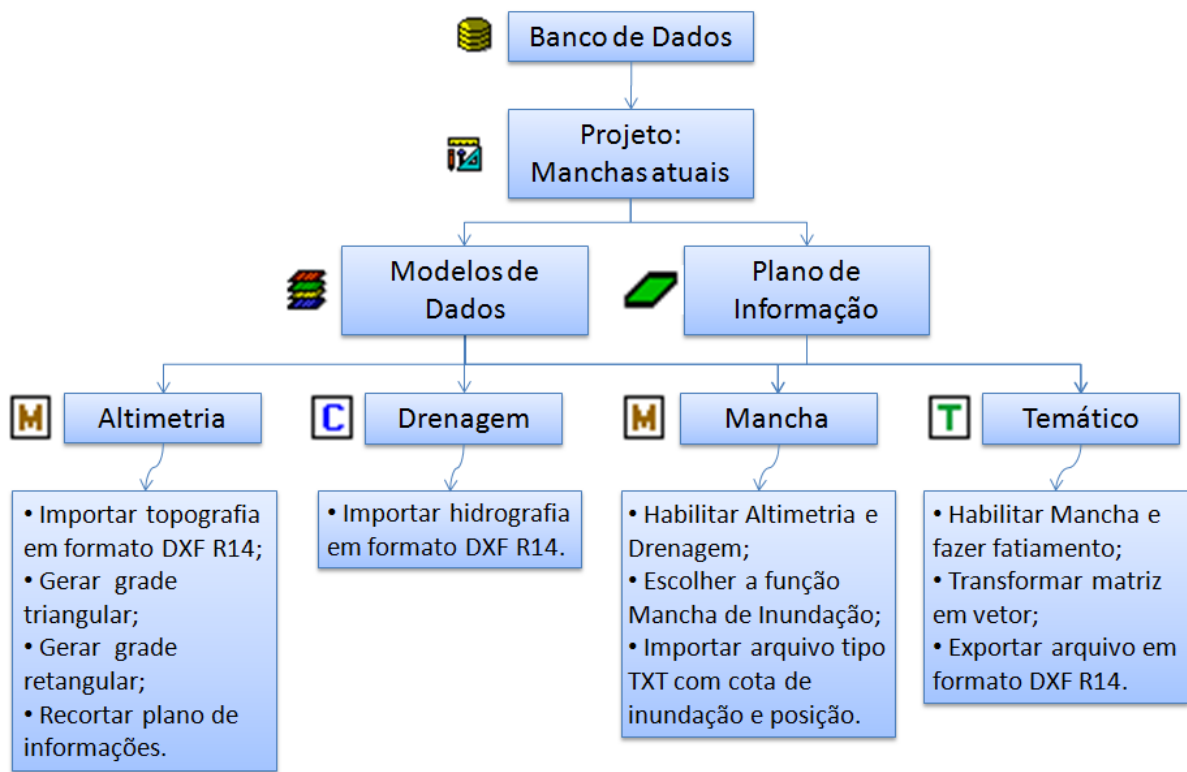


Figura 3.24: Principais procedimentos para a elaboração de uma mancha de inundação com o programa SPRING.

### 3.4 Delimitação de APP

Conforme visto no capítulo anterior, a delimitação das Áreas de Preservação Permanente deve ser feita de acordo com o disposto no Código Florestal, na resolução CONAMA nº 303 e nas legislações estaduais e municipais. De acordo com as leis anteriormente citadas, a delimitação de APP de margem de rio deve ser feita a partir do ponto mais alto, que é dado pela cheia sazonal.

Não existe nenhuma regulamentação a respeito da terminologia *cheia sazonal*, portanto para se traçar as áreas de APP de margem de rios deve-se utilizar do bom-senso. Para o presente trabalho, foram utilizadas 2 opções:

- Traçado a partir do leito menor; e
- Traçado a partir de uma cheia sazonal com um tempo de retorno de 2 anos.

A primeira opção é a que é mais amplamente empregada, devido à sua facilidade. Para o traçado da APP de margem de rio foi empregado o comando *offset* do AutoCad diretamente sobre o traçado dos rios, de acordo com as suas larguras.

A segunda opção é baseada nas publicações de Christofolletti (vide item 2.4.4), porém o valor é arredondado, visando ao benefício ambiental e à facilidade dos cálculos. Para este traçado de APP de margem de rio, foi necessário primeiramente gerar uma mancha de inundação com tempo de retorno de 2 anos no programa SPRING. Essa mancha foi transferida para o AutoCad e o comando *offset* foi empregado de acordo com as larguras da mancha. A Figura 3.25 ajuda a explicar como foi traçada a APP a partir de uma mancha de TR de 2 anos.

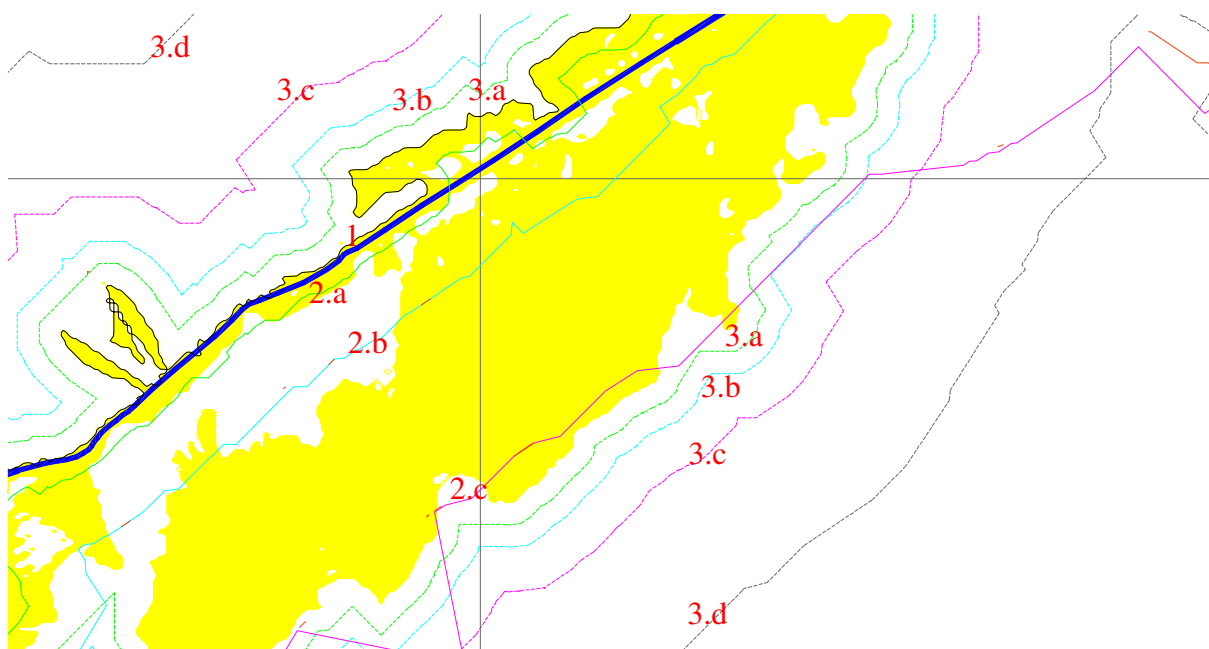


Figura 3.25: Exemplificação de procedimento empregado para delimitação de APP.

Dada a mancha de inundação, que está em amarelo, pegou-se a linha limite em uma das margens, no caso a da esquerda. Essa linha está em preto e é representada pelo número 1. Utilizou-se o comando *offset* do AutoCad na linha 1 para as distâncias de: 50m (2.a – verde contínua), 200m (2.b – ciano contínua) e 600m (2.c – magenta contínua). Esse procedimento não foi adotado para a largura de 10m, pois está se considerando que o leito menor do rio já possui um valor ligeiramente maior do que essa largura. Sendo assim, APPs de 30m não seriam utilizadas.

Mais uma vez utilizou-se o comando *offset* do AutoCad, só que agora na linha completa de contorno da mancha de inundação. Assim, foram obtidas as linhas: 50m (3.a – verde pontilhada), 100m (3.b – ciano pontilhada), 200m (3.c – magenta pontilhada) e 500m (3.d – cinza pontilhada).

Elaboradas todas essas linhas de apoio, o traçado da APP se fez da seguinte maneira: compara-se a margem direita da mancha<sup>4</sup> com as linhas contínuas. Se a margem direita estiver dentro da linha verde contínua, traça-se a linha da APP acompanhando o contorno da linha pontilhada verde. Se a margem direita ultrapassar o limite da linha verde contínua, mas estiver dentro da linha *ciano*, traça-se a APP sobre a linha pontilhada *ciano*. O procedimento anterior também vale para a linha *magenta*, mas se a margem direita ultrapassar a linha contínua *magenta*, traça-se a APP sobre a linha pontilhada cinza.

Sempre que se mudar de linha pontilhada em uma margem do rio, deve-se mudar igualmente na outra margem do rio. Para o traçado da APP, os espaços vagos entre o talvegue do rio e a mancha de inundação foram considerados como contínuos, pois essas regiões provavelmente seriam englobadas pela APP ou se tornariam “ilhas” dentro da APP, sendo assim o seu uso inviável.

Por fim, a linha de APP obtida possui muitas pontas e ângulos retos devido às aproximações do comando *offset* e da constante mudança entre larguras de APP. Para suavizar a linha de APP, é utilizado o comando *pedit - spline*.

---

<sup>4</sup> Uma vez que a margem esquerda foi utilizada como base.



## 4 Resultados e Discussões

### 4.1 Manchas de Inundação

As manchas de inundação foram feitas considerando os tempos de retorno para cada um dos três principais rios que cortam o município de Pouso Alegre: Mandu, Sapucaí-Mirim e Sapucaí, de acordo com os estudos hidrológicos realizados em cada uma das seções de controle: Mandu, Chapadão e Confluência, respectivamente.

A área de abrangência das manchas inicia-se nos rios Mandu e Sapucaí-Mirim, um pouco a montante da área urbana, e se finda no ponto de confluência entre os rios Sapucaí-Mirim e Sapucaí. É interessante observar que, apesar de serem consideradas as cheias oriundas do Rio Sapucaí, os mapas não mostram a mancha de inundação nesse rio, pois o mesmo encontra-se distante da área urbana, que é o foco principal do trabalho.

A seguir serão apresentadas as manchas de inundação obtidas por meio do programa SPRING para os tempos de retorno (TR) de: 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 e 1000 anos. Essas manchas são apresentadas sempre duas a duas. A Tabela 4.1 mostra as áreas de inundação de cada uma das manchas.

Tabela 4.1: Áreas em km<sup>2</sup> de cada mancha de inundação.

TR	Mandu	Sapucaí-Mirim	Sapucaí
2	15,3	8,3	9,5
5	17,6	14,7	16,7
10	17,9	17,4	19,5
25	19,3	21,5	21,6
50	19,4	22,4	22,9
100	19,7	23,0	23,7
500	19,9	23,9	24,5
1000	20,0	24,2	25,0

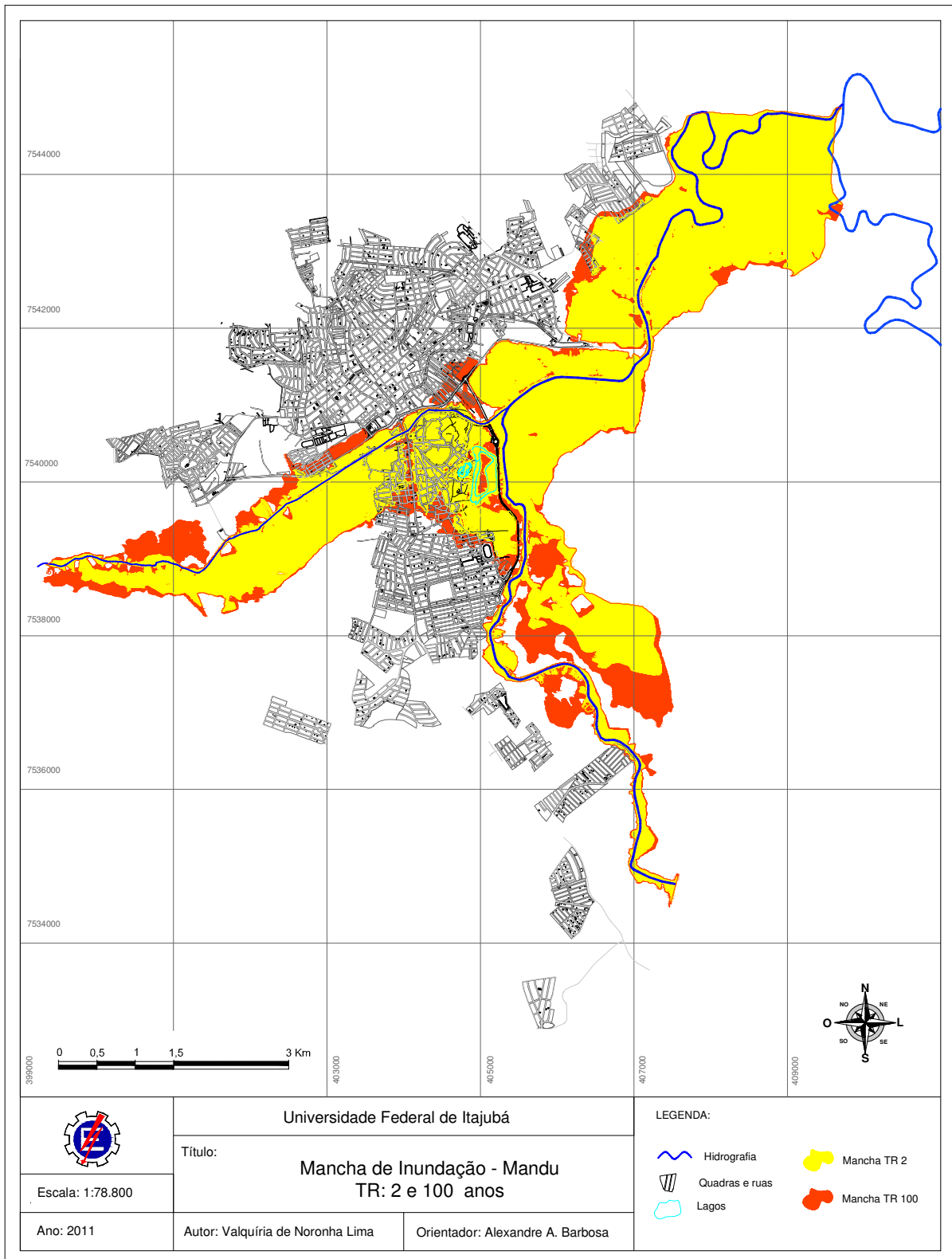


Figura 4.1: Mancha de inundação para TR 2 e 100 anos do Rio Mandu.

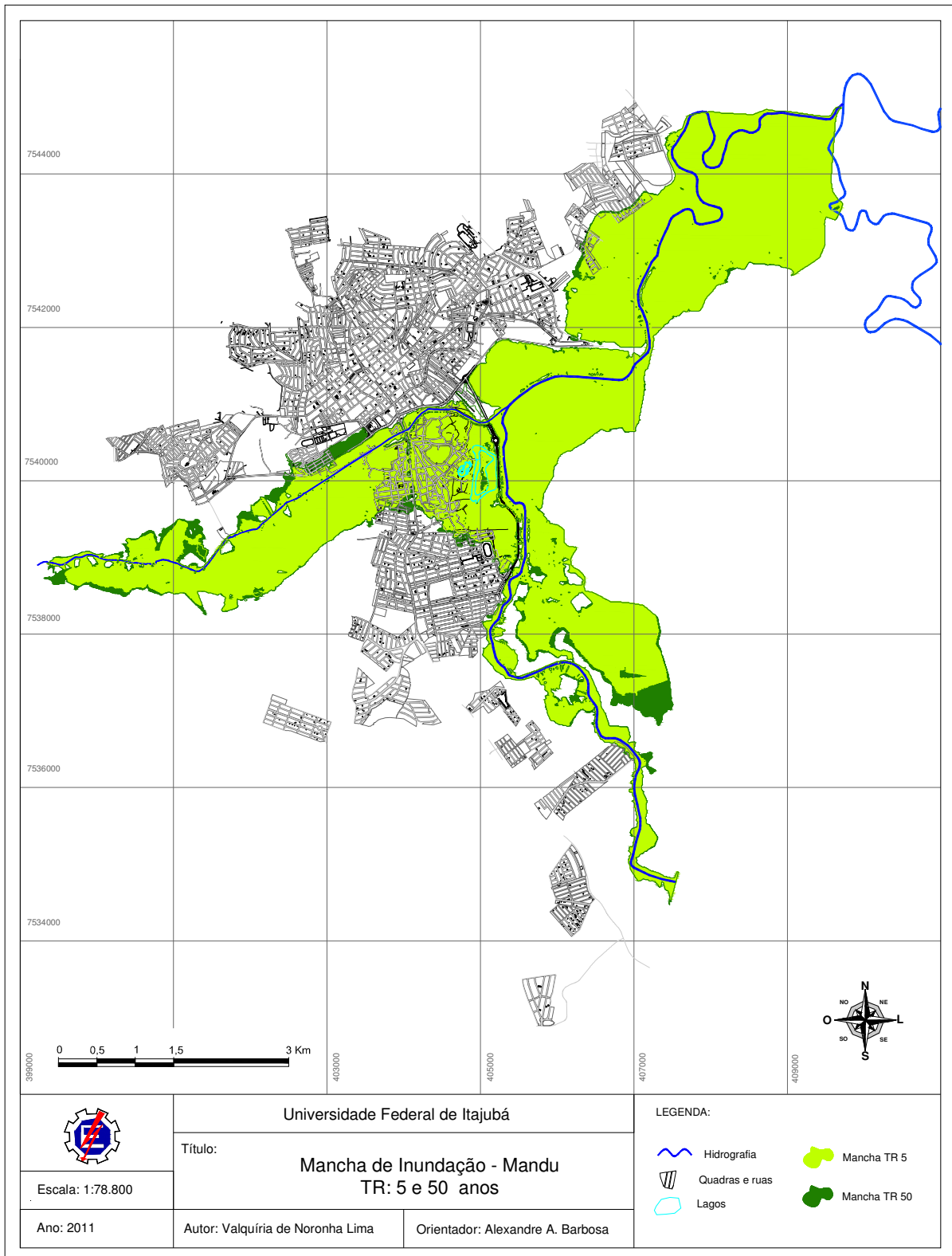


Figura 4.2: Mancha de inundação para TR 5 e 50 anos do Rio Mandu.

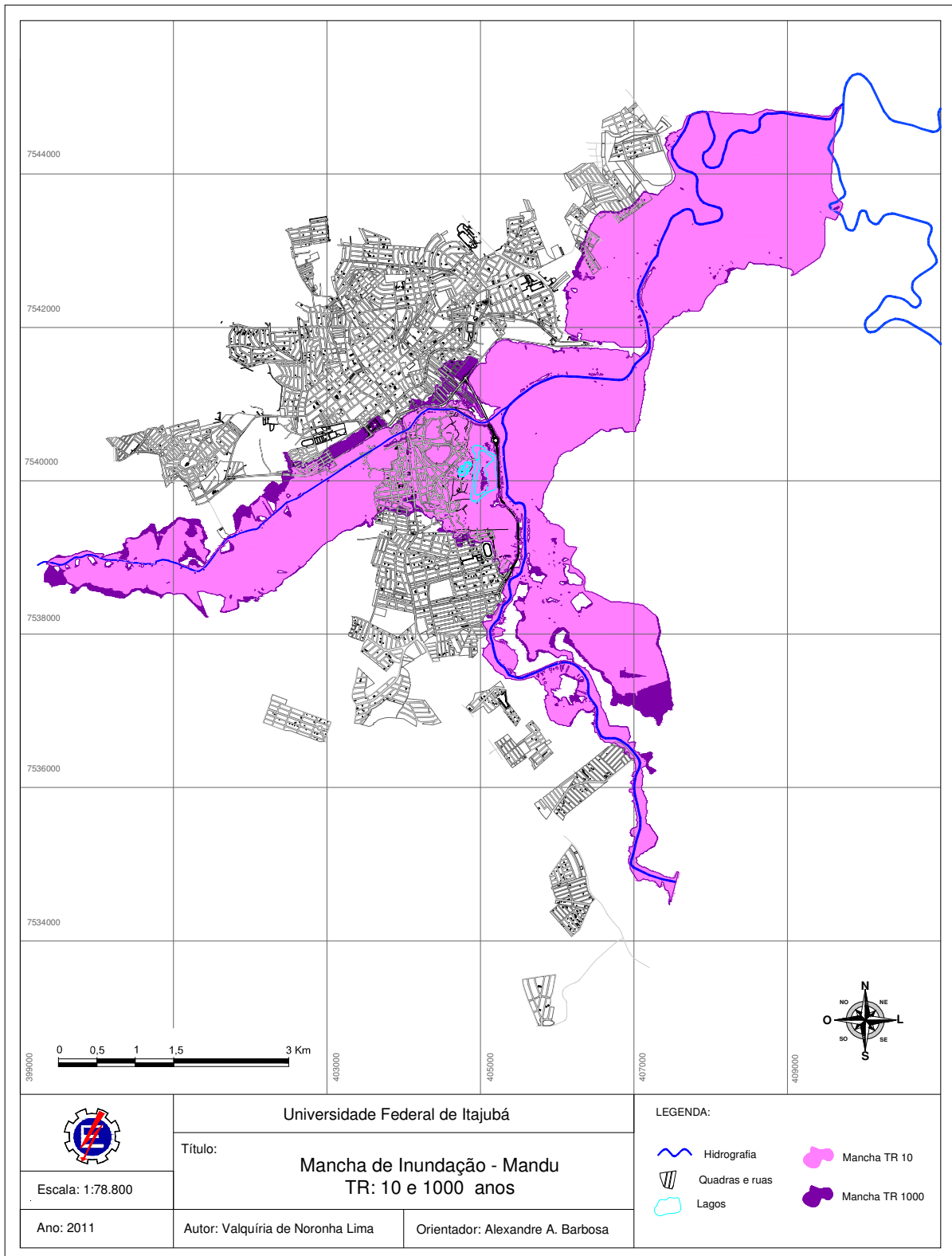


Figura 4.3: Mancha de inundação para TR 10 e 1000 anos do Rio Mandu.

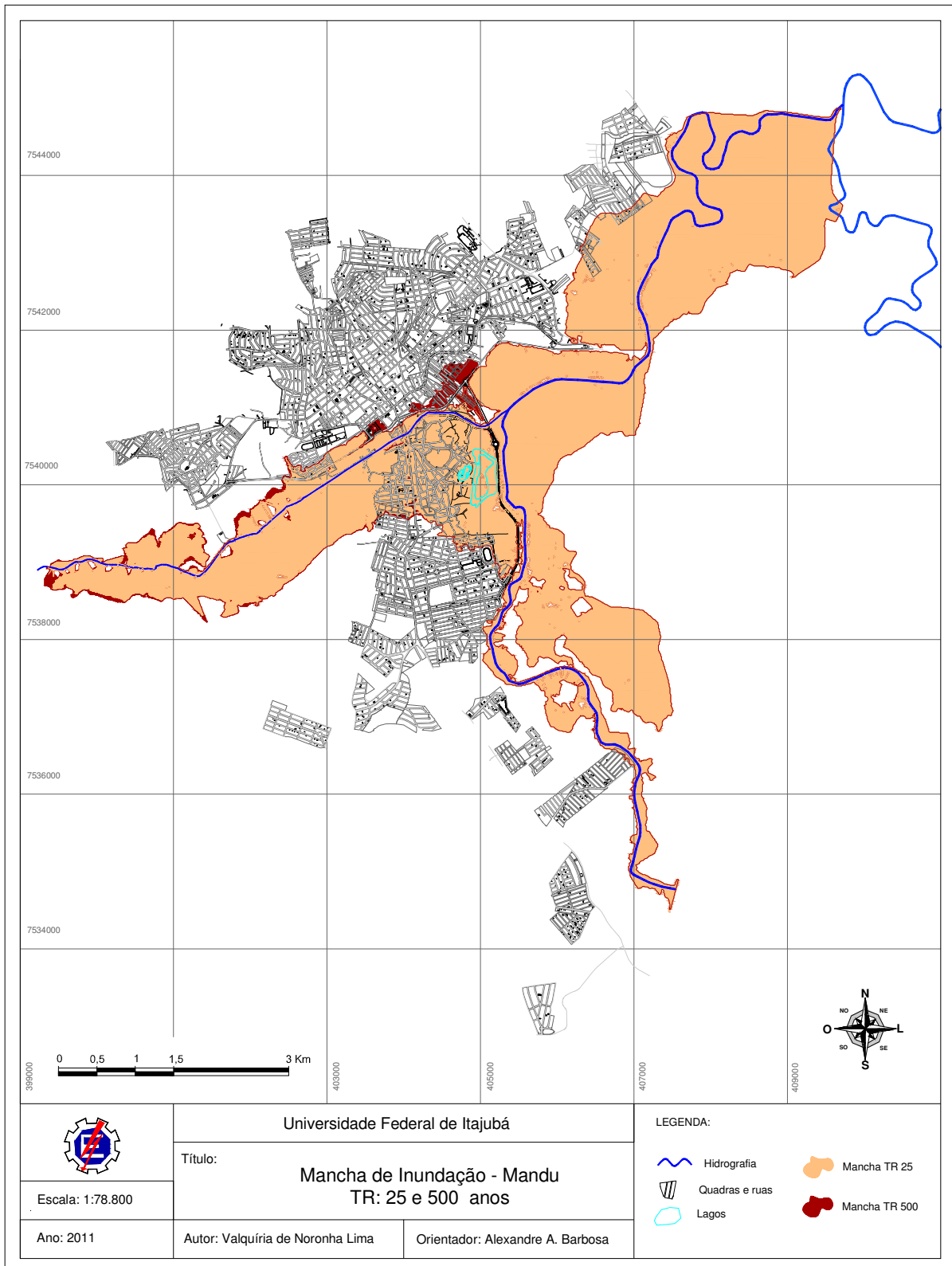


Figura 4.4: Mancha de inundação para TR 25 e 500 anos do Rio Mandu.

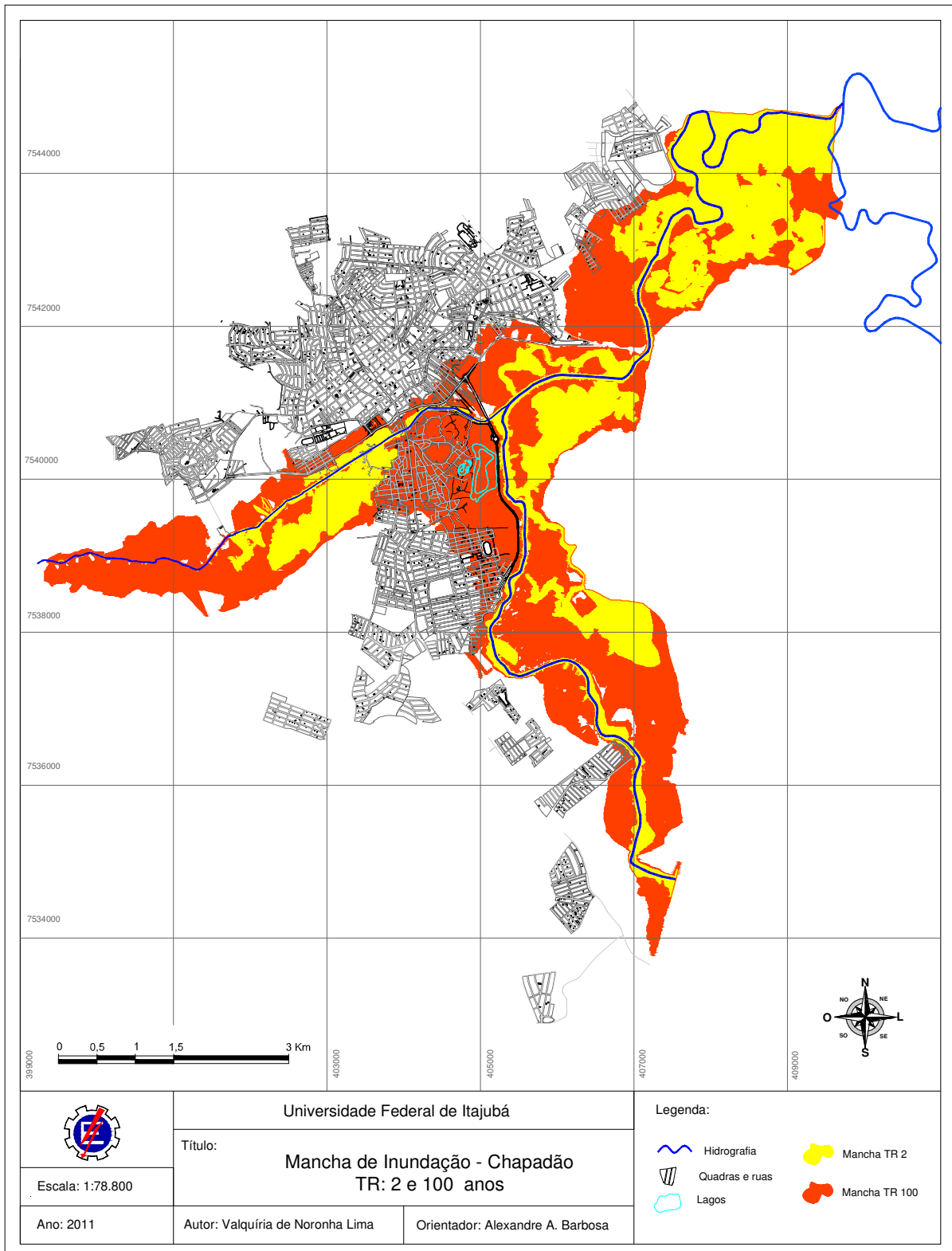


Figura 4.5: Mancha de inundação para TR 2 e 100 anos do Rio Sapucaí-Mirim.

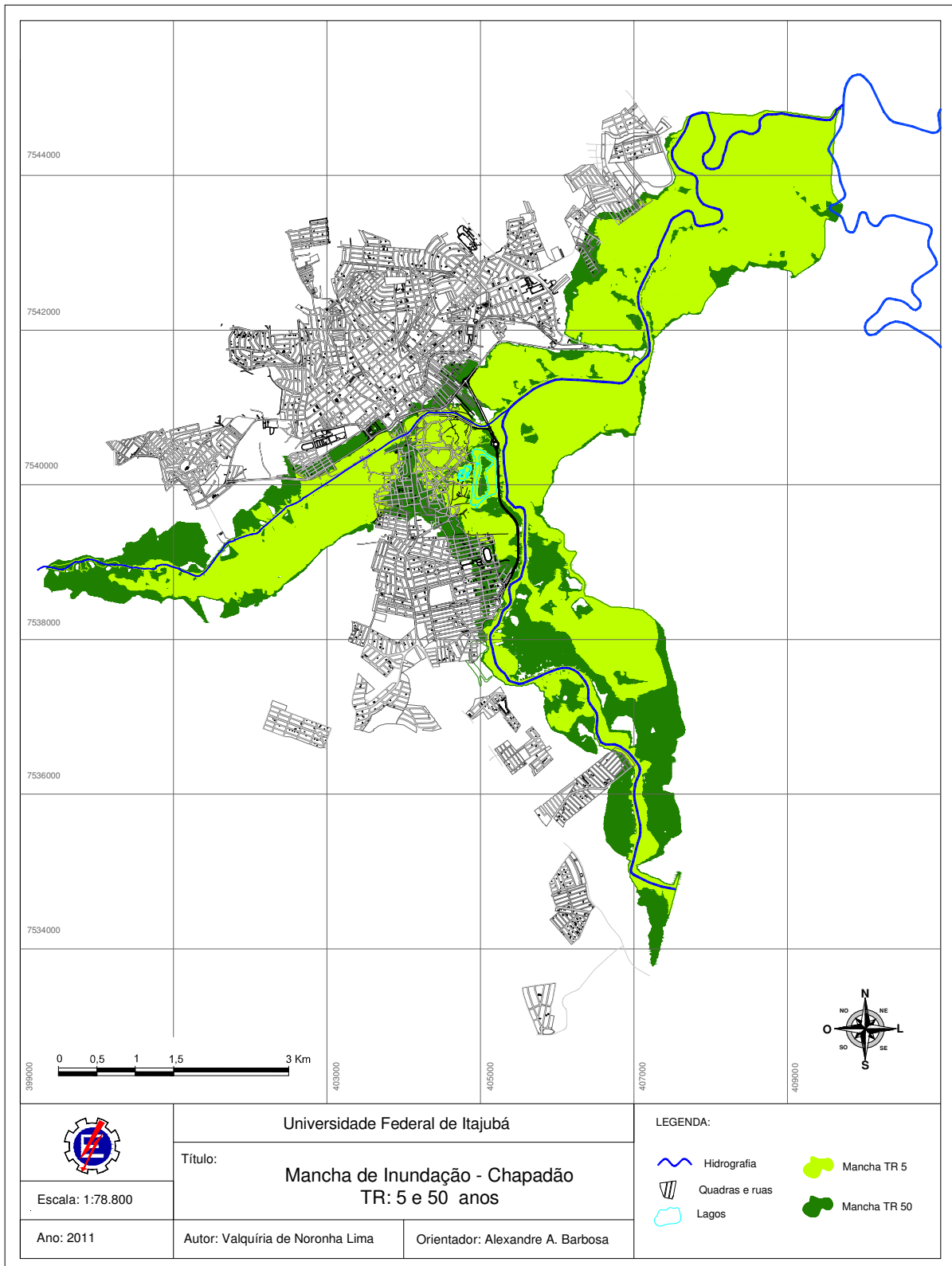


Figura 4.6: Mancha de inundação para TR 5 e 50 anos do Rio Sapucaí-Mirim.

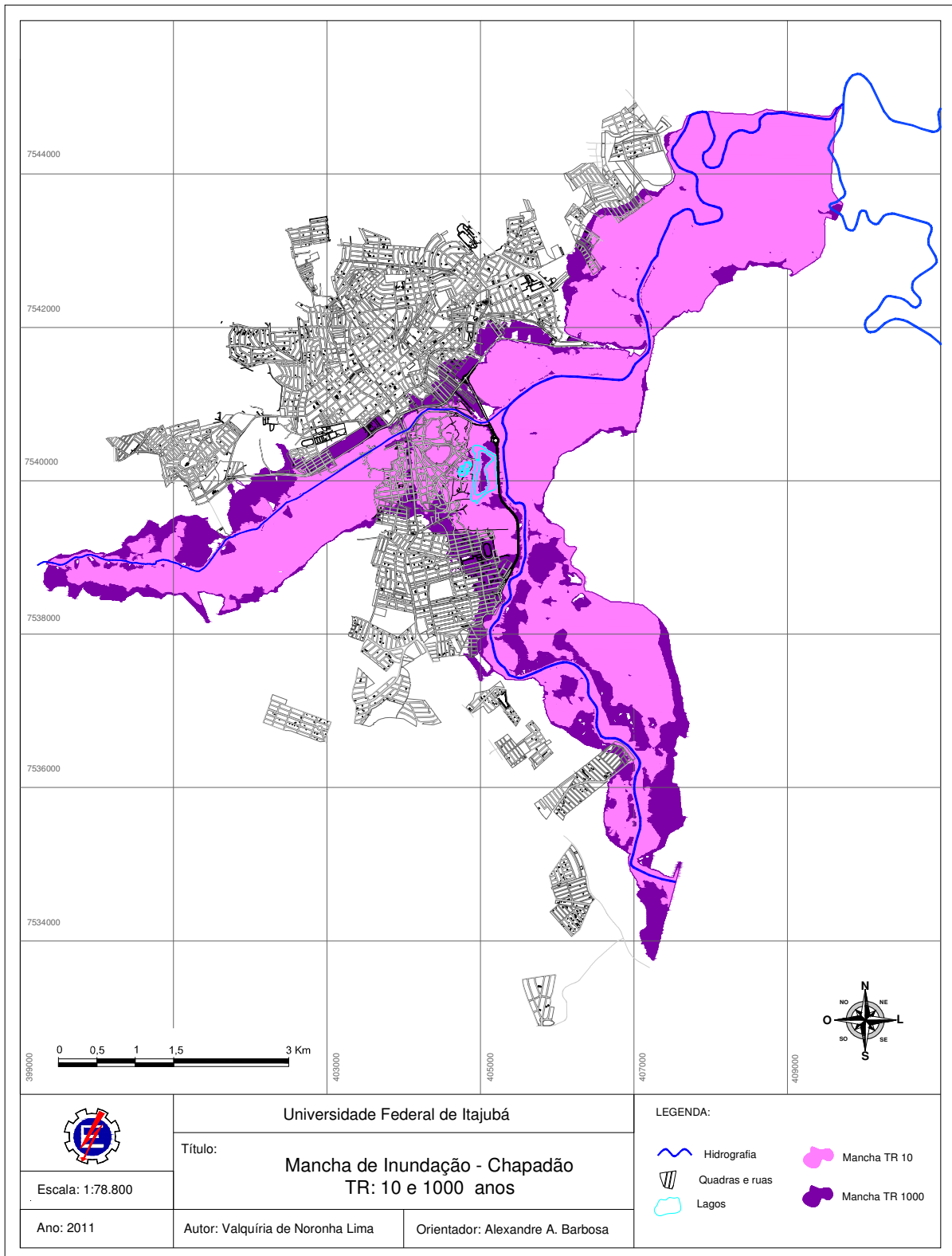


Figura 4.7: Mancha de inundação para TR 10 e 1000 anos do Rio Sapucaí-Mirim.



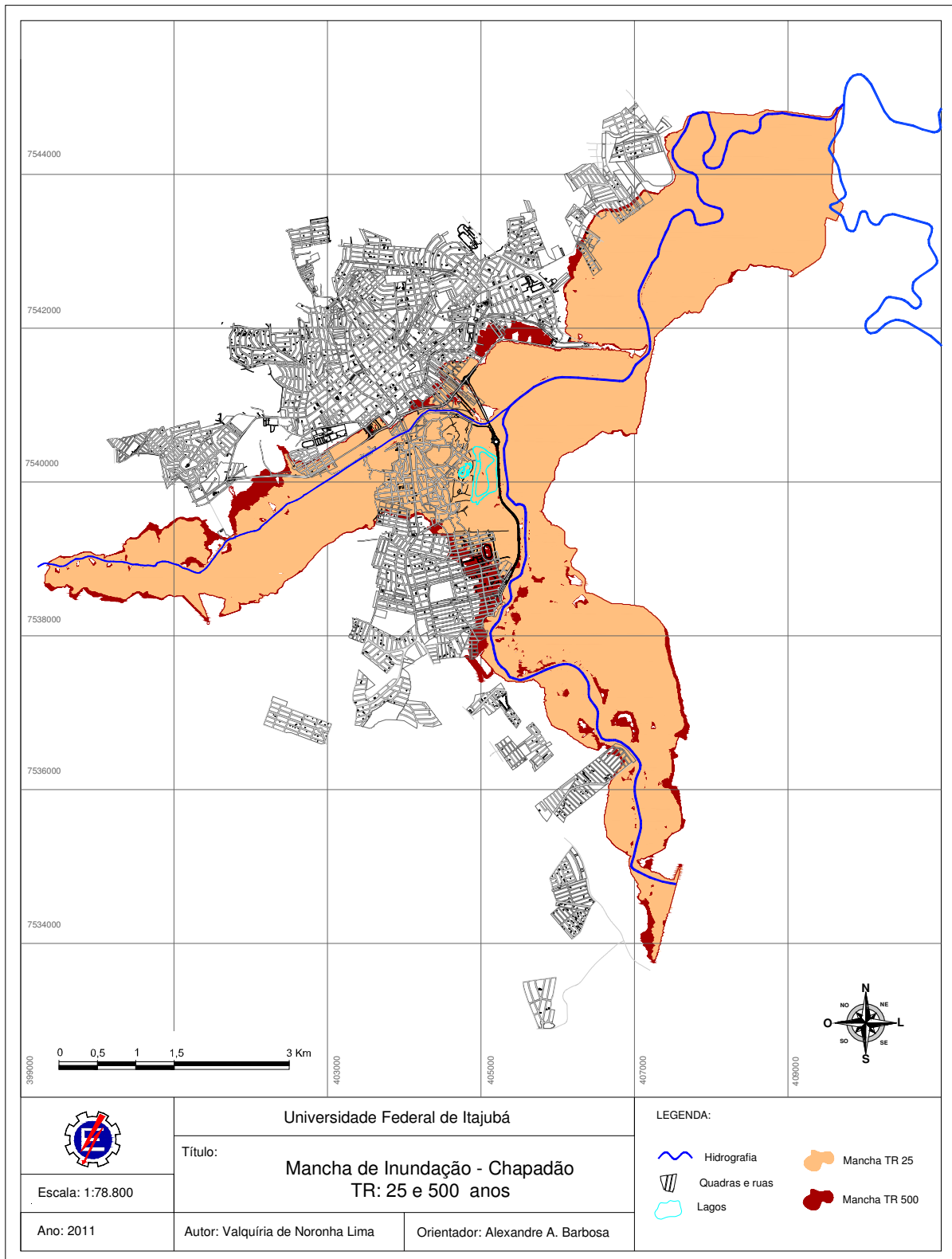


Figura 4.8: Mancha de inundação para TR 25 e 500 anos do Rio Sapucaí-Mirim.

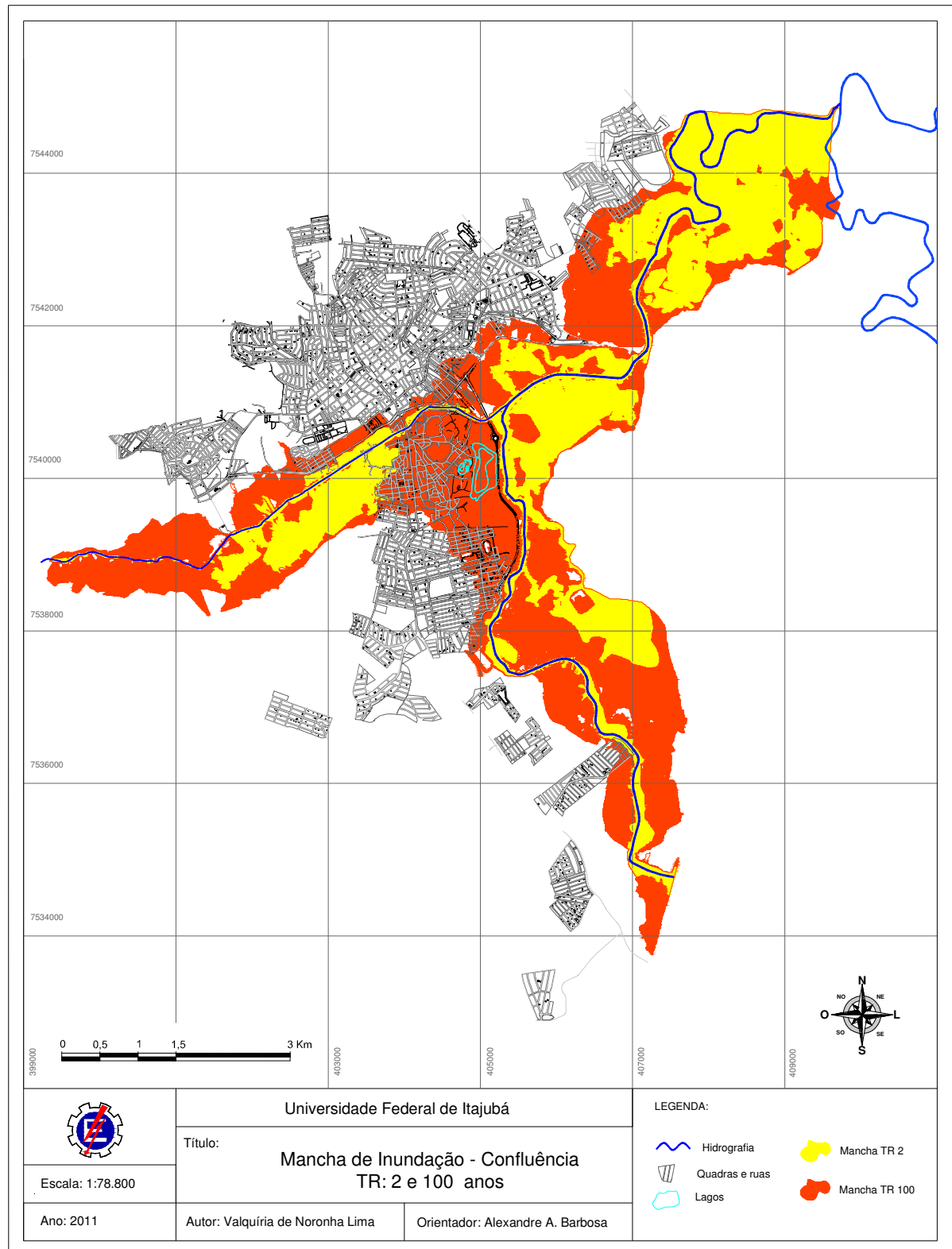


Figura 4.9: Mancha de inundação para TR 2 e 100 anos do Rio Sapucaí.

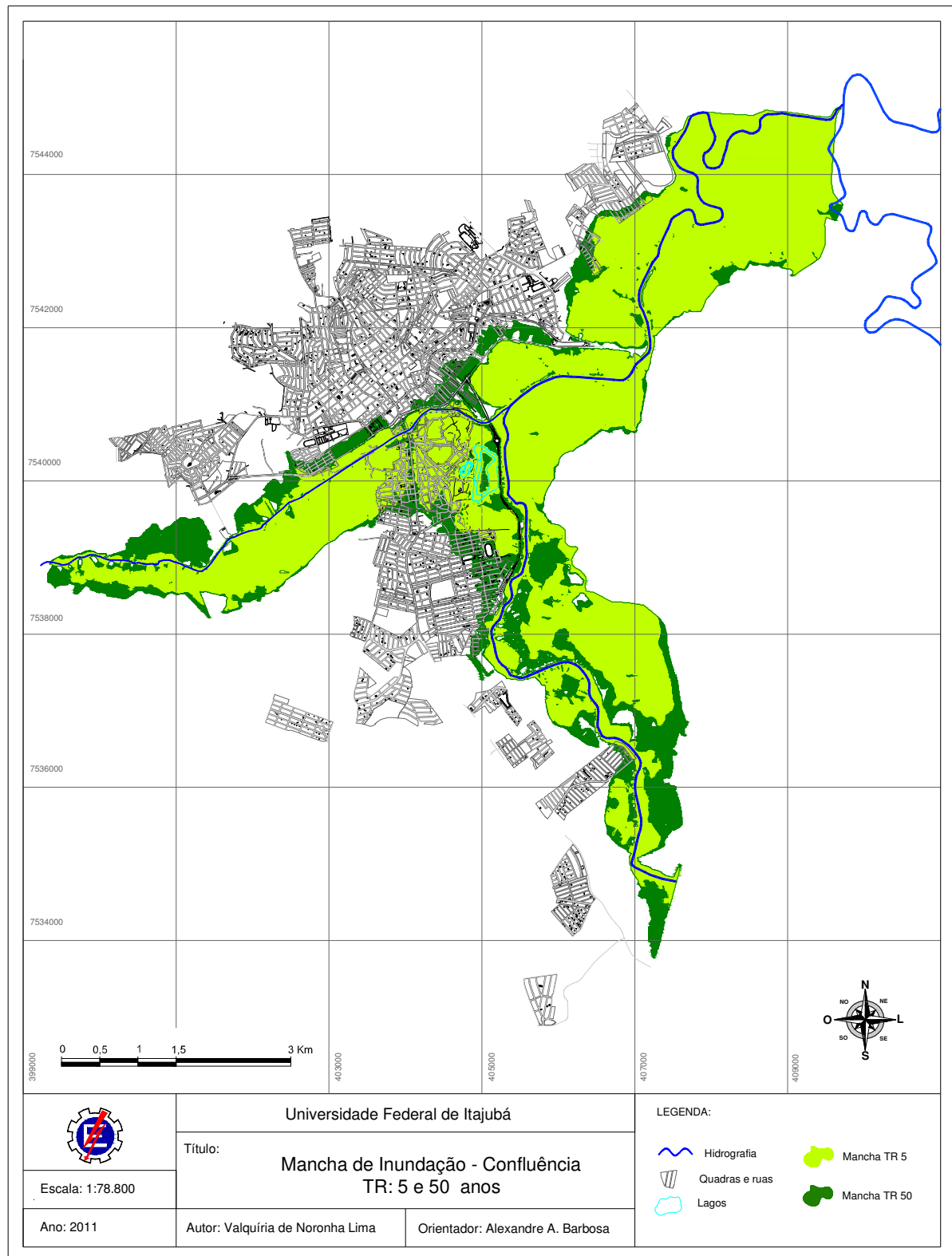


Figura 4.10: Mancha de inundação para TR 5 e 50 anos do Rio Sapucaí.

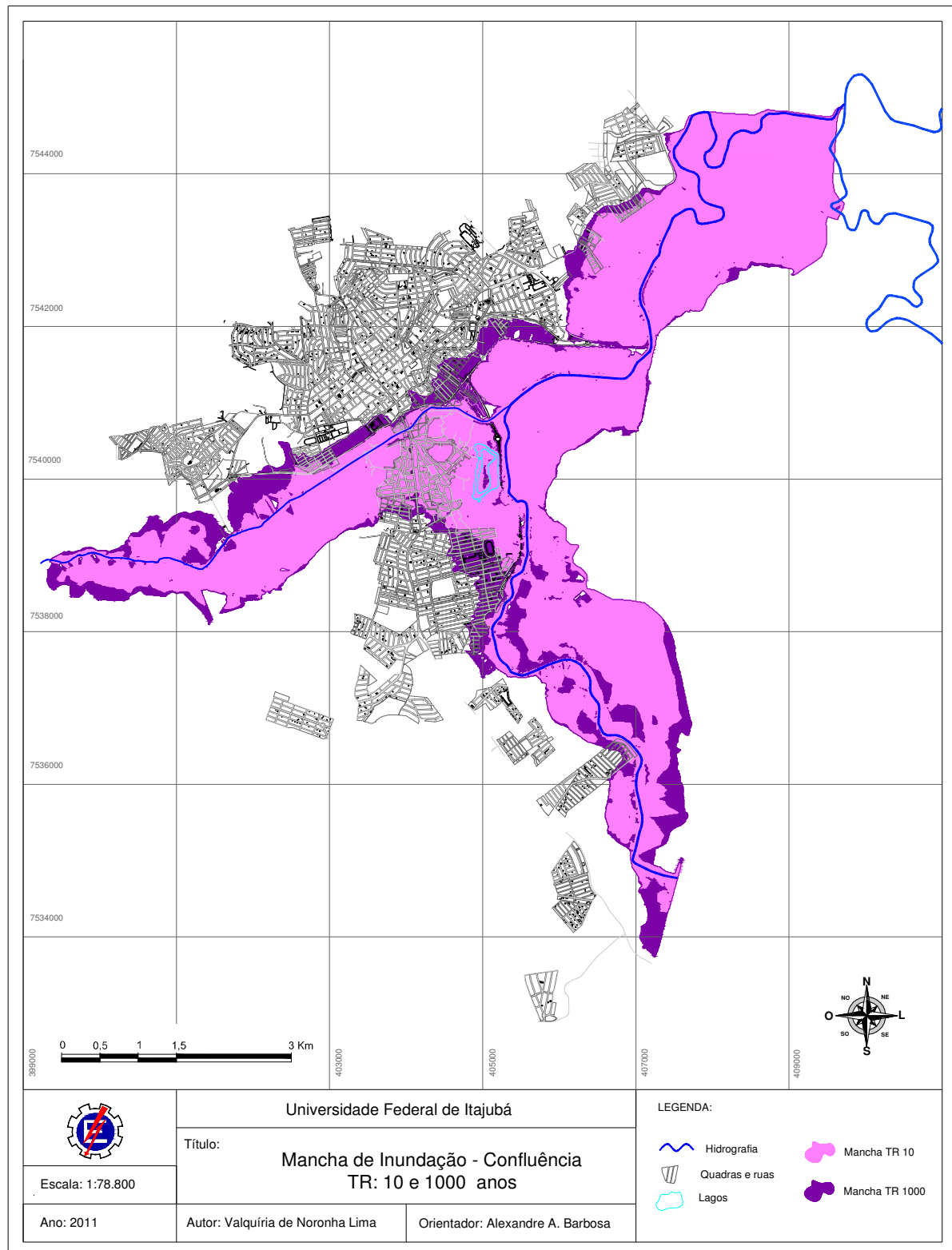


Figura 4.11: Mancha de inundação para TR 10 e 1000 anos do Rio Sapucaí.

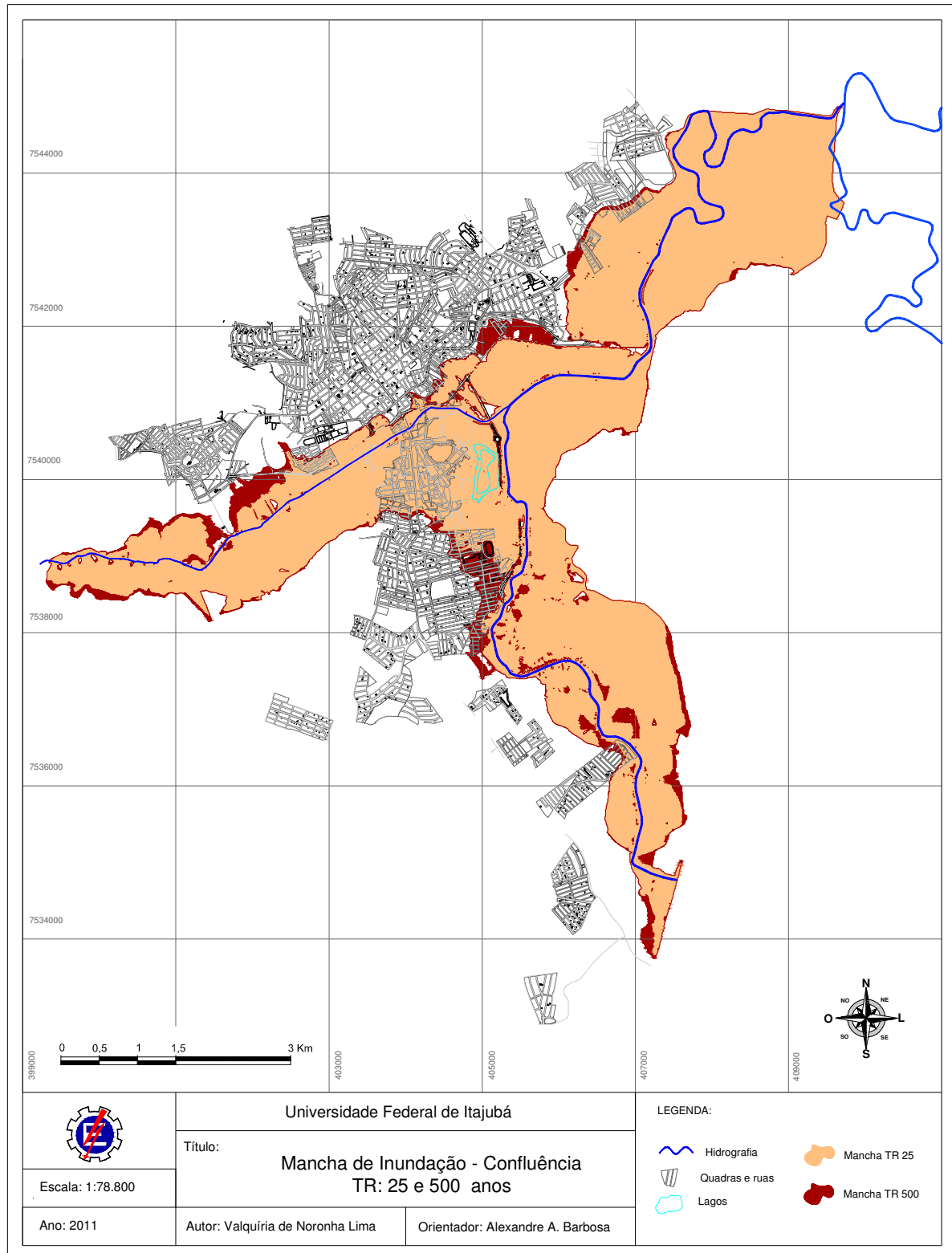


Figura 4.12: Mancha de inundação para TR 25 e 500 anos do Rio Sapucaí.

## 4.2 Área de Preservação Permanente

As Áreas de Preservação Permanente abordadas nesse trabalho correspondem somente às ao longo de rios e cursos d'água, as demais APPs como de declividade, nascentes, lagos, altitude e outras, não serão aqui exemplificadas.

Primeiramente, foi traçada a APP ao longo dos rios Mandu, Sapucaí-Mirim e Sapucaí de forma simples, considerando a margem como o leito menor do rio. O resultado é mostrado na Figura 4.13. O Rio Mandu possui largura próxima de 10m, porém esse valor é variável em diversos pontos do trecho escolhido. Para simplificação do traçado da APP, considerou-se que todo o trecho de estudo tenha largura de 10 a 50m de margem, portanto a APP é traçada a 50m de distância.

Ainda para a Figura 4.13, a faixa de largura do Rio Sapucaí-Mirim foi a mesma do Rio Mandu, o Rio Sapucaí se enquadrou na faixa de 50 a 200m, tendo a APP uma largura de 100m. A Tabela 4.2 mostra as áreas de APP para cada rio, conforme a Figura 4.13.

Tabela 4.2: Área total das APPs de margem de rio de forma simples – a partir do leito menor.

Rio	Mandu	Sapucaí-Mirim	Sapucaí
Área APP [km <sup>2</sup> ]	0,70	1,83	1,74

A APP a partir do leito sazonal foi traçada para um tempo de retorno de 2 anos da seção Chapadão. O Rio Sapucaí-Mirim foi escolhido, pois é o que possui maior extensão dentro da área urbana de Pouso Alegre, que é a de estudo. O resultado se apresenta na Figura 4.14.

Como o limite das manchas traçadas se finda no ponto de confluência do Rio Sapucaí-Mirim com o Rio Sapucaí, a APP traçada também obedeceu a esse limite. Por essa razão, o traçado da APP foi reduzido em seu canto superior direito, sendo cortado sobre o Rio Sapucaí.

A área da APP a partir do leito sazonal é de 26,77 km<sup>2</sup>, enquanto a área de APP a partir do leito menor é de 2,53km<sup>2</sup> (rios Mandu e Sapucaí-Mirim), sendo a primeira cerca de 10 vezes maior que a segunda.

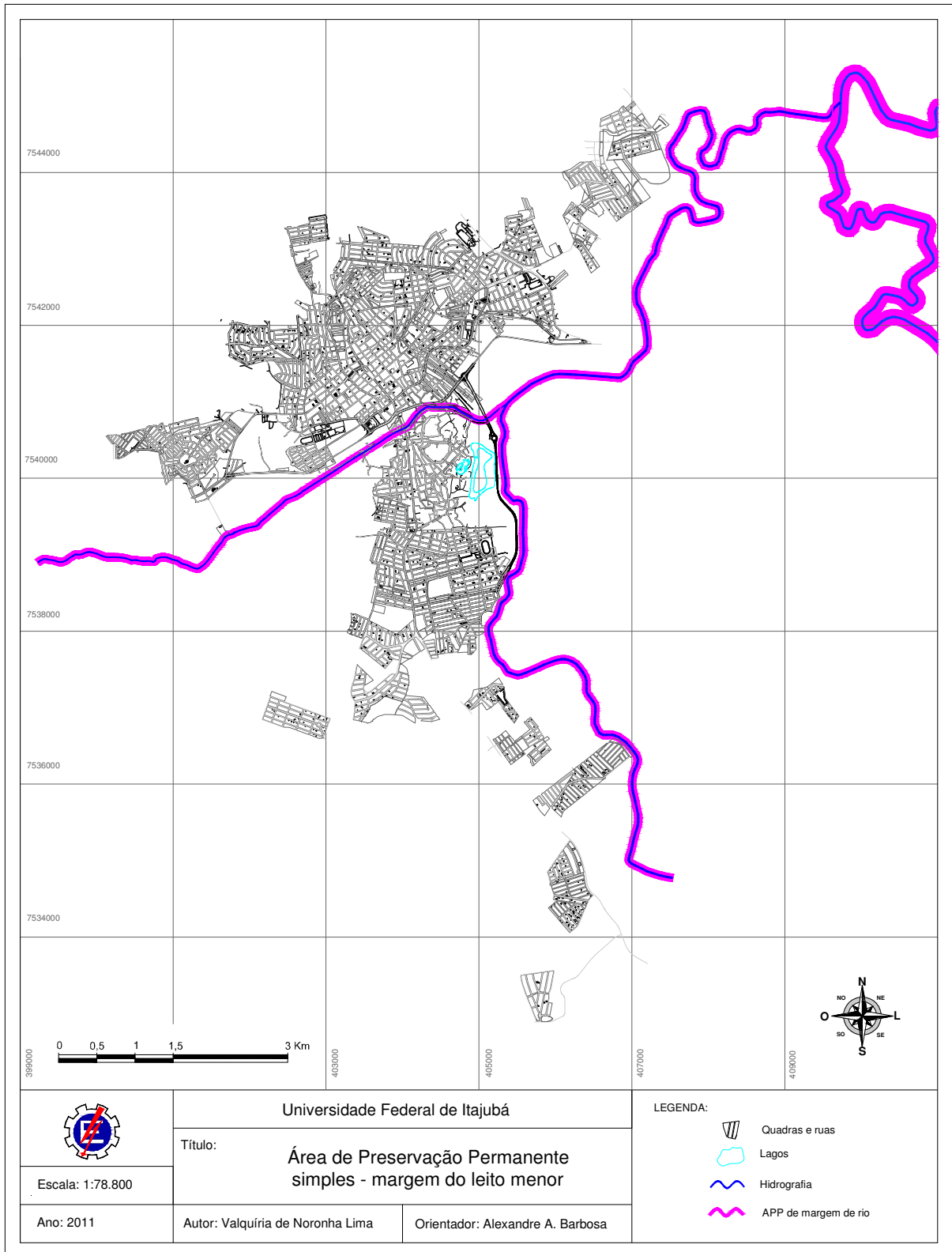


Figura 4.13: Área de Preservação Permanente simples – a partir da margem do leito menor do rio.

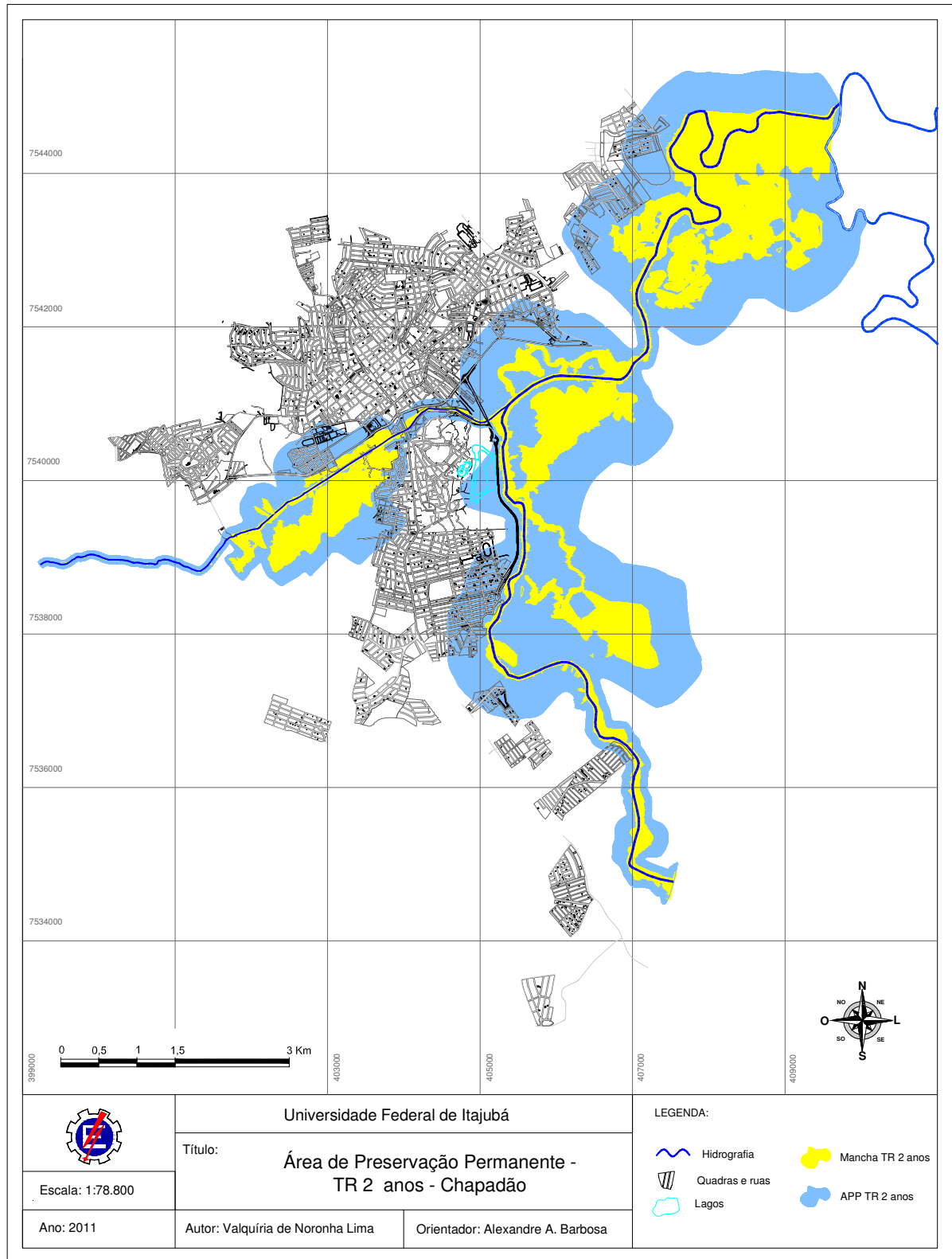


Figura 4.14: Área de Preservação Permanente a partir da margem do leito sazonal – TR de 2 anos para o Rio Sapucaí-Mirim.



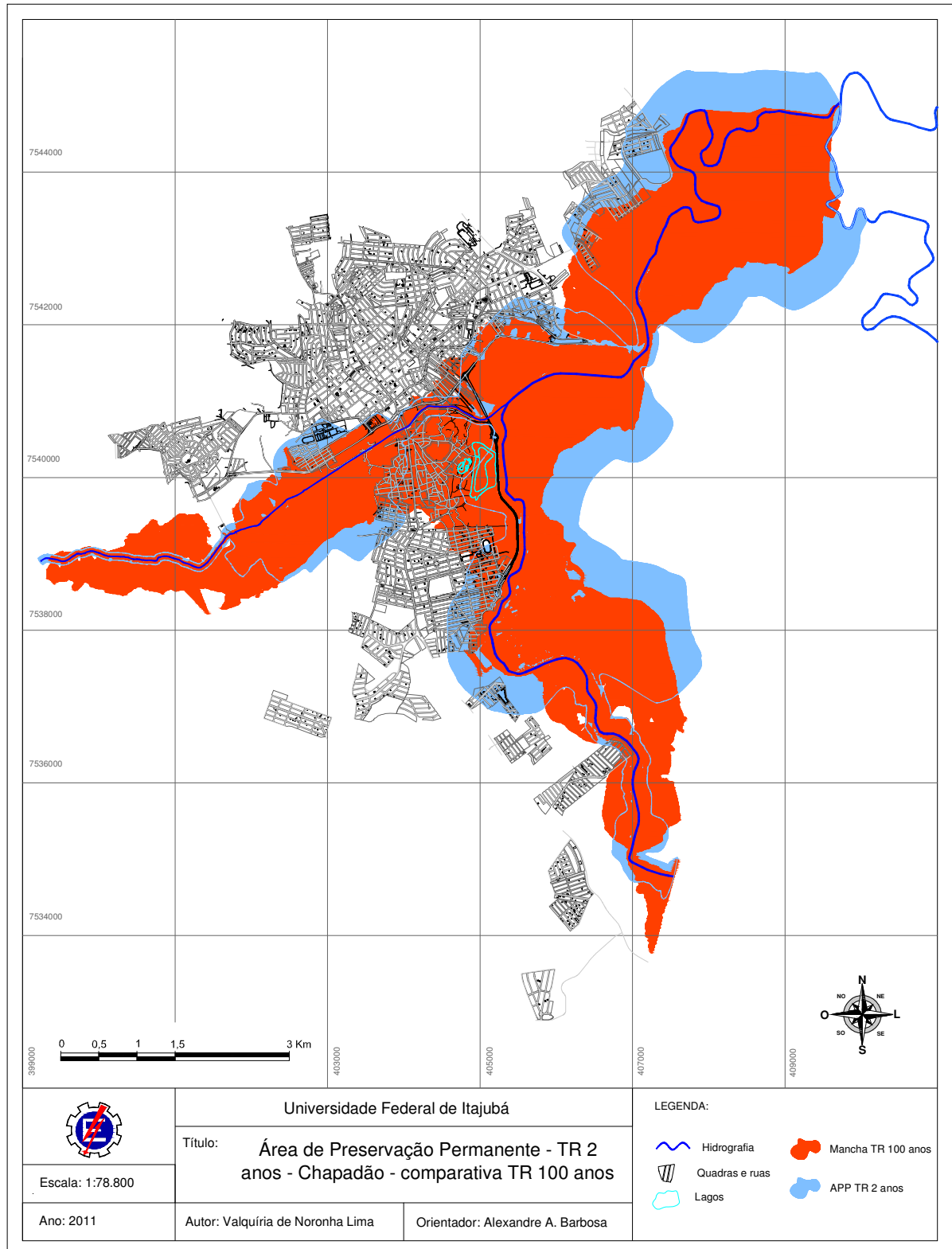


Figura 4.15: Comparação entre a Área de Preservação Permanente a partir da margem do leito sazonal – TR de 2 anos e a mancha de inundação de TR 100 anos, ambas do Rio Sapucaí-Mirim.

A Figura 4.15 mostra uma comparação entre a APP de leito sazonal de TR 2 anos e a mancha de inundação de TR 100 anos, ambas para o Rio Sapucaí-Mirim. A primeira possui uma área de 26,8km<sup>2</sup> e a segunda uma área de 23,0km<sup>2</sup>. Apesar de os valores serem relativamente próximos, as áreas não estão sobrepostas, como pode ser visto mais detalhadamente na Figura 4.16.

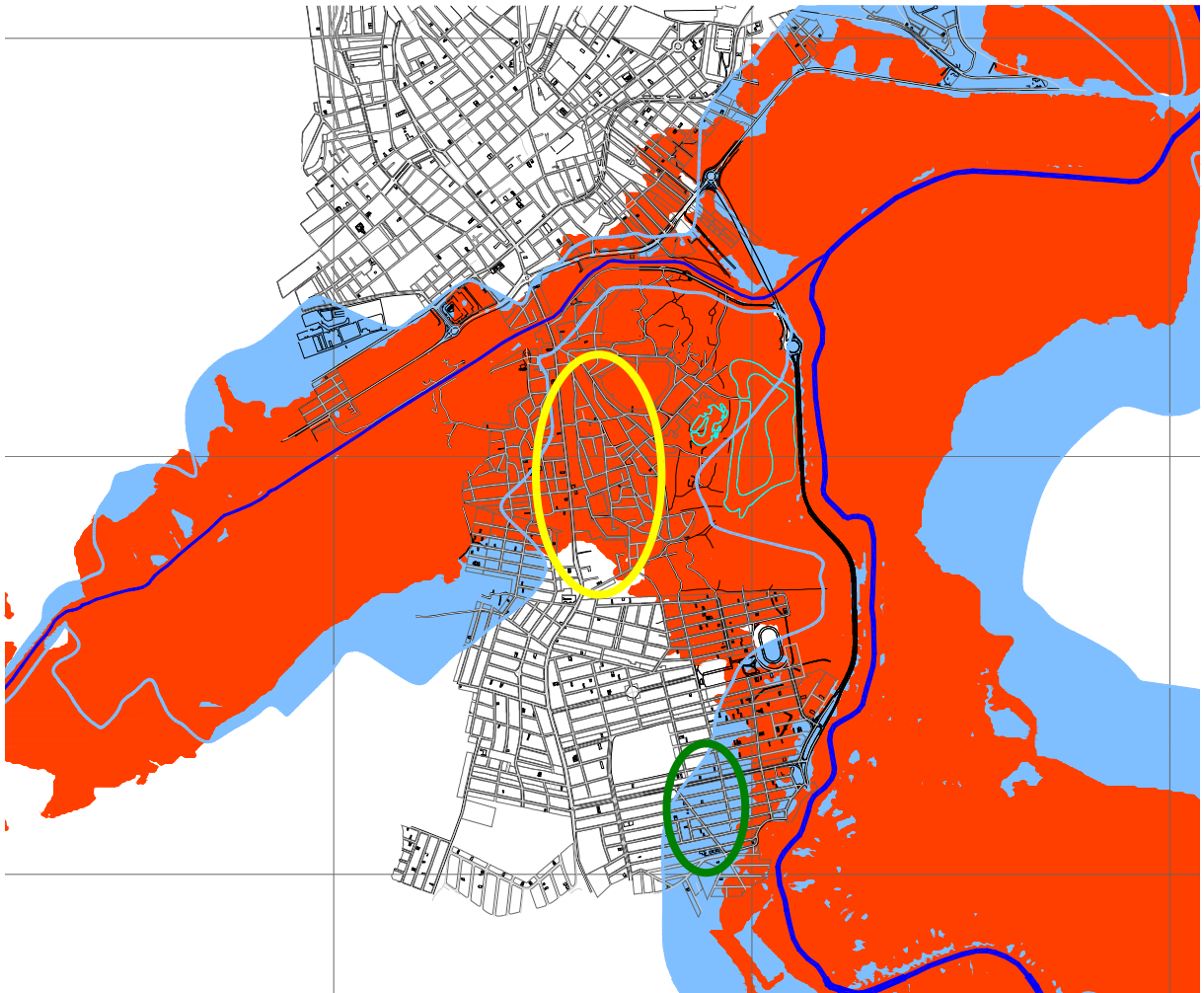


Figura 4.16: Detalhes da APP de TR 2 anos e Mancha de inundação de TR 100 anos.

Na Figura 4.16, podemos observar duas situações distintas. A primeira é mostrada pela delimitação em amarelo, nela vemos que uma área fora da APP sazonal de TR 2 anos é inundada pela cheia de TR 100 anos. Por outro lado, a segunda situação, delimitada pela linha verde, mostra uma área de APP sazonal de TR 2 anos que não é inundada nem com uma cheia de TR 100 anos. A situação descrita acima também ocorre em uma mancha de inundação de TR de 10 anos, como pode ser visto na Figura 4.17.

De acordo com a legislação federal, a área em amarelo pode ser ocupada por empreendimentos, pois se encontra fora da APP traçada. Já a área em verde, apesar de ser segura contra enchentes, não pode conter empreendimentos, uma vez que foi considerada como APP.

A prefeitura de Pouso Alegre, pensando em minimizar os impactos advindos das inundações, criou duas Zonas de Proteção Ambiental: ZPA 4 - áreas de inundação e ZPA 5 - Parque Municipal da Várzea e Reserva Biológica da Várzea. Essas duas áreas (Figura 2.3) abrangem grande parte das áreas que, conforme simulações das manchas de inundação, são tomadas pelas águas nos diferentes tempos de retorno. A legislação municipal dispõe sobre os usos e formas de ocupações que são permitidos nessas áreas, contribuindo assim para que os impactos causados pelas cheias sejam minimizados.

É importante lembrar que o plano diretor municipal pode tornar a área amarela em APP, mas não pode fazer com que a área verde deixe de ser APP, isso porque a legislação municipal não pode ser menos restritiva que a legislação estadual e esta que a legislação federal.

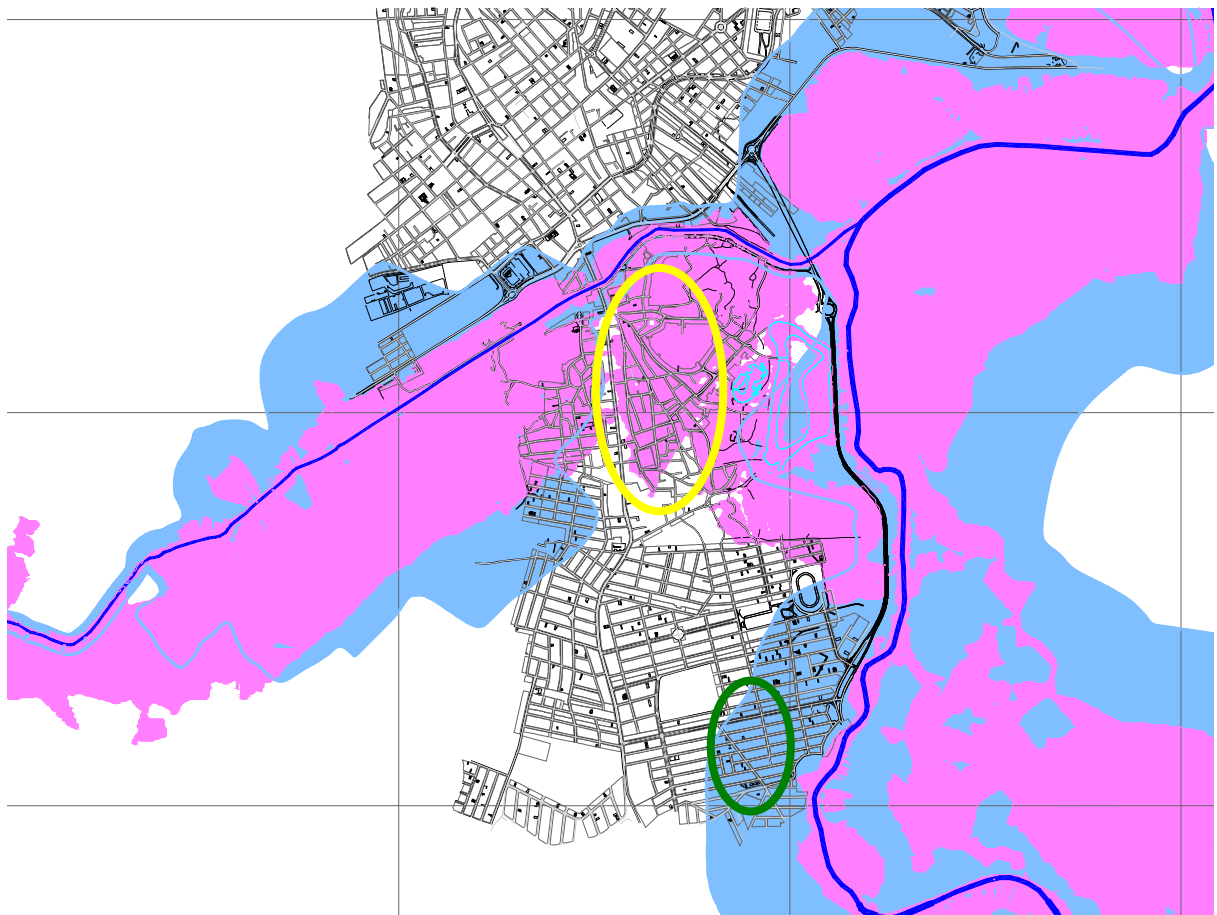


Figura 4.17: Detalhes da APP de TR 2 anos e Mancha de inundação de TR 10 anos.

## 5 Conclusões

A legislação de APP pode se tornar um entrave ao desenvolvimento urbano do município, pois não considera as características topográficas e hidrológicas locais. Se, em vez de usar a APP traçada a partir das margens do leito sazonal de TR 2 anos, fosse utilizada a própria mancha de TR 1000 anos, haveria uma perda de área total de apenas 10%, mas o risco de enchente para a população seria de praticamente 0 (desde que não se construa dentro da área delimitada).

A Tabela 5.1 mostra as vantagens e desvantagens de se utilizar as diferentes metodologias para delimitação de Áreas de Preservação Permanente de margem de rios e cursos d'água.

O mapeamento topográfico da área de estudo e o levantamento hidrológico dos rios Mandu, Sapucaí-Mirim e Sapucaí foram satisfatórios para as simulações computacionais. As manchas de inundação para diferentes tempos de retorno foram simuladas com o programa SPRING e as Áreas de Preservação Permanente foram delimitadas de acordo com a legislação pertinente e houve uma comparação dos resultados.

Disso, pode-se concluir que a não definição legal da terminologia *leito sazonal* abre margem para diversas interpretações, como foi visto no estudo de caso e nos resultados apresentados neste trabalho. Este trabalho não encerra a discussão do assunto, ele apenas mostra caminhos para se traçarem as Áreas de Preservação Permanente e instiga para que definições mais precisas sejam dadas pelo poder legislativo.

As maiores dificuldades relacionadas ao trabalho advêm das medições de campo. Para se obterem dados com a precisão necessária, são necessárias várias idas a campo e o envolvimento de várias pessoas. A realização deste trabalho, em tão pouco tempo, só foi possível devido ao aproveitamento de grande parte dos dados obtidos para a elaboração do licenciamento ambiental dos diques a serem construídos em Pouso Alegre.

Para trabalhos futuros, recomenda-se um levantamento bibliográfico mais extenso e aprofundado na área de APP e outro, de metodologias de delimitação aprovadas em projetos de licenciamento ambiental.

Outra sugestão é fazer mais medidas hidrológicas e comparar com as já realizadas. Quanto maior o número de medições, mais fidedigno será o resultado das simulações.

Tabela 5.1: Vantagens e desvantagens das diferentes metodologias de delimitação de APPs.

Delimitação de APP	Vantagem	Desvantagem
Leito menor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grande facilidade para delimitar a área.</li> <li>- Permite aos empreendedores utilizar uma maior área das propriedades, podendo obter maior produtividade delas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área com grande suscetibilidade a enchentes.</li> <li>- Área insuficiente para a preservação dos recursos hídricos, da estabilidade geológica e da biodiversidade.</li> </ul>
Leito sazonal de TR de 2 anos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área suficiente para a preservação dos recursos hídricos, da estabilidade geológica e da biodiversidade.</li> <li>- Área com baixa suscetibilidade a enchentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminuição da área a ser utilizada por empreendimentos.</li> </ul>
Mancha de inundação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área suficiente para a preservação dos recursos hídricos, da estabilidade geológica e da biodiversidade.</li> <li>- Área sem suscetibilidade a enchentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminuição da área a ser utilizada por empreendimentos.</li> </ul>

## 6 Referências Bibliográficas

ARONOFF, S. Geographic Information Systems. WDL Publications, Canada, 1989.

BARBOSA, A. A.; MATOS, A. J. S. Software para cálculo de curva-chave de canais naturais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 3 Brasília. 2004 **Anais...** Brasília: SBEA 2004.

BERTI SARLAS, T. L. Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Santa Rita do Sapucaí, utilizando SIG. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Concluída em 2010 – Itajubá.

BRASIL. Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965.

BRASIL. Resolução CONAMA 303/02, de 20 de março de 2002.

BUIZZA, R., BIDLOT, J.-R., WEDI, N., FUENTES, M., HAMRUD, M., HOLT, G., AND VITART, F. The new ECMWF VAREPS, Q. J. Roy. Meteorol. Soc., 133, 681–695, 2007.

BULL, G. Ecosystem Modelling with GIS. Environmental Management, 18 (3): 345-349, 1994.

CÂMARA G.; SOUZA R.C.M.; FREITAS U. M.; GARRIDO, J. **SPRING**: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996b.

CÂMARA, G. et al. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. 193 p. 1996a. (Disponível on-line em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html>).

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.; PAIVA, J. SPRING: Concepção, Evolução, Perspectivas. In *Proc. VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 1993.

CHIESA, C.; HIEN, H. M.; ASKOV, D.; BOSSE, T.; MIELBRECHT, S. "Flood Surveillance and Early Warning in Phu Tho Province Vietnam" in Proceedings Geoinformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences (GIS-IDEAS) 2008. Japan-Vietnam Geoinformatics Consortium (JVGC) and Hanói University of Mining and Geology (HUMG); Hanói, Vietnam, December 2008.

CHOW, V. T. Open-channel hydraulics. International Student Edition, MacGraw-Hill Book Co., New York, N.Y. 1959.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. Ed. Edgard Blucher, São Paulo-SP. 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

EEA, European Environment Agency: Mapping the impacts of recent natural disasters and technological accidents in Europe, Environmental issue report No. 35, European Environment Agency, Copenhagen, p. 47, 2003.

GRIBBIN, J. E. Introdução à hidráulica e hidrologia na gestão de águas pluviais. Tradução Glauco Peres Damas. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

HUNG, H.V., SHAW, R. and KOBAYASHI, M. "Flood risk management for the RUA of Hanói: importance of community perception of catastrophic flood risk", Disaster Prevention and Management, Vol. 16 No. 2, 2007. pp. 245-58.

HUNG, H.V., SHAW, R. and KOBAYASHI, M. "Flood risk management for the riverside urban areas of Hanói : The need for synergy in urban development and risk management policies", Disaster Prevention and Management, Vol. 19 No. 1, 2010. pp. 103-118.

HUNG, T. and THONG, N.T. Thang Long Hanói – Ten Centuries of Urbanization, Construction Publisher, Hanói (in Vietnamese). 1995.

MATTOS, A.M.P. Monitoramento Hidrológico - Via Telefonia Celular - para apoio a Sistemas de Previsão de Cheias. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Concluída em 2004 – Itajubá.

MINAS GERAIS. Lei Estadual 13.199, de 29 de janeiro de 1999.

MONI SILVA, A. P. 2006. Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Itajubá, Utilizando SIG. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Concluída em 2006 – Itajubá.

PINHEIRO, V. M. 2005. Avaliação Técnica e Histórica das Enchentes em Itajubá – MG. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Concluída em 2005.

PORTO, R. M. Hidráulica básica. 3. Ed. São Carlos: EESC-USP, 2004.

POUSO ALEGRE. Lei Ordinária nº 4707/2008 de 30 de junho de 2008.

POUSO ALEGRE. Lei Ordinária nº 4872/2009 de 07 de dezembro de 2009.

SCARTAZZINI, L. S. ; KAUTZMANN, R. M. ; FISCHER, A. C. Critérios para Delimitar Áreas de Preservação Permanente em Rios de Planície de Inundação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, p. 83-91, 2008.

THIELEN, J., BARTHOLMES, J., RAMOS, M.H., DE ROO, A. The European Flood Alert System – Part 1: Concept and development. Hydrol. Earth Syst. Sci., 13 (2): 125–140. 2009.

TIBALDI, S., PACCAGNELLA, T., MARSIGLI, C., MONTANI, A., AND NEROZZI, F. Limited-Area Ensemble Forecasting: the COSMO-LEPS System, Predictability of Weather and Climate, CAMBRIDGE University Press, 2006.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Editora da UFRGS/ABRH. 3ª ed. Porto Alegre. 2002. 943p.

TUNDISI, J.G. Ecossistemas de águas interiores. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B. & TUNDISI, J.G. (orgs. e coords. cient.). Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 161-202.

UNIFEI. Estudo de Impacto Ambiental - EIA: Implantação do Sistema Integrado de Contenção de Enchentes Contemplando os Diques 1, 2, 3, 4 e 5, Pouso Alegre-MG. Vol. II. Itajubá, MG. 2010.



## Anexo 1

Tabela A.1: Histórico Pluviométrico para a Estação de Itajubá – MG

<b>Itajubá</b>	<b>Média Mensal</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Janeiro</b>	293	-	376	450	177	188	379	87	384	222	453	228	274
<b>Fevereiro</b>	193	-	150	170	177	202	99	337	190	233	42	256	267
<b>Março</b>	142	-	121	117	157	123	169	110	194	157	99	202	113
<b>Abril</b>	58	87	38	18	7	8	57	105	20	36	86	187	52
<b>Mai</b>	59	102	31	22	65	60	35	131	80	26	59	45	52
<b>Junho</b>	17	2	55	2	17	1	0	31	16	13	11	32	30
<b>Julho</b>	30	0	28	59	6	15	15	52	28	19	113	0	-
<b>Agosto</b>	31	17	0	80	24	85	16	3	4	4	0	105	-
<b>Setembro</b>	54	73	21	80	62	76	19	4	117	61	4	80	-
<b>Outubro</b>	107	173	35	90	166	46	118	127	89	131	86	117	-
<b>Novembro</b>	145	87	64	287	137	120	141	142	63	234	130	186	-
<b>Dezembro</b>	218	273	295	120	316	292	186	142	137	221	204	213	-
<b>Acumulado Anual</b>	1347	814	1214	1494	1311	1216	1234	1268	1321	1355	1288	1651	788

Tabela A.2: Histórico Pluviométrico para a Estação de Campos do Jordão – SP

<b>Campos do Jordão</b>	<b>Média Mensal</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Janeiro</b>	311			565	218	222	317	206		282	471	193	321
<b>Fevereiro</b>	242			277	191	267	141	346		298	97	230	331
<b>Março</b>	192			198	136	162	254	184		212	125	324	134
<b>Abril</b>	72			50	33	44	52	102		19	92	193	69
<b>Mai</b>	59			18	81	58	65	118		29	65	21	73
<b>Junho</b>	29		62	6	12	3	2	62	19	20	28	64	38
<b>Julho</b>	62		28	87	21	12	13	90	44	56	161		112
<b>Agosto</b>	54		8	93	108	94	20	1	33	19		109	
<b>Setembro</b>	96		72	92	94	96	34		210	97	75	96	
<b>Outubro</b>	140		61	65	181	157	186		211	121	132	150	
<b>Novembro</b>	213		95	217	294	258	210		135	234	269	207	
<b>Dezembro</b>	251		212	281	298	326	222		263	221	223	213	
<b>Acumulado Anual</b>	1721	0	538	1951	1667	1696	1514	1108	914	1606	1737	1798	1078

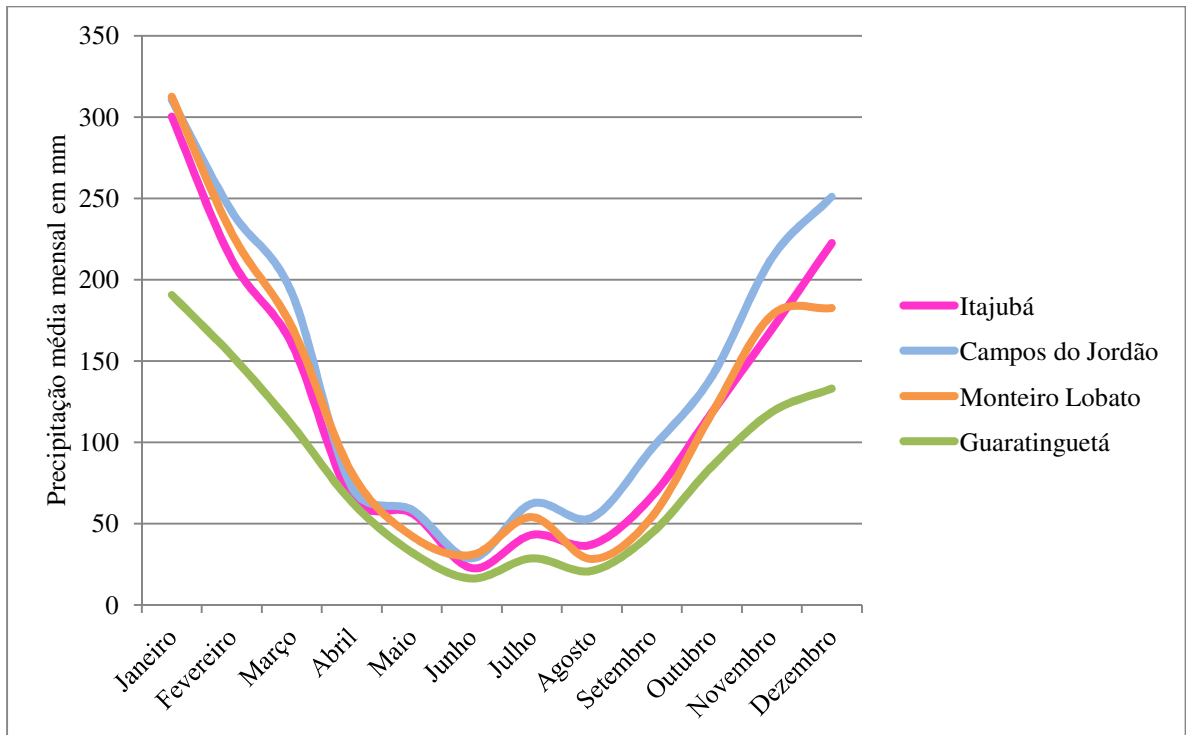
Tabela A.3: Histórico Pluviométrico para a Estação de Monteiro Lobato – SP

Monteiro Lobato	Média Mensal	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Janeiro	312	115	401	335	267	315	362	237	467	438	239	262	
Fevereiro	229	241	222	256	278	277	117	352	206	231	78	256	
Março	171	158	139	268	141	131	193	158	213	88	138	255	
Abril	81	54	55	26	54	82	59	114	126	43	112	170	
Maiο	42	34	17	6	62	49	7	101	101	9	50	33	
Junho	31	8	72	4	4	3	3	81	39	39	28	57	
Julho	54	10	30	54	52	6	30	103	44	73	139		
Agosto	28	10	1	33	45	96	34	1	3	3	0	84	
Setembro	54	73	79	0	68	92	25	20	81	77	27	53	
Outubro	118	128	35	0	137	127	258	157	149	85	127	92	
Novembro	178	72	77	96	241	233	140	226	209	234	220	212	
Dezembro	183	99	214	259	48	361	192	216	199	221	144	57	
Acumulado Anual	1481	1002	1342	1337	1397	1772	1419	1765	1835	1539	1300	1529	0

Tabela A.4: Histórico Pluviométrico para a Estação de Guaratinguetá – SP

Guaratinguetá	Média Mensal	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Janeiro	191		118	182	66	69	349	124	266	199	169	195	361
Fevereiro	153	12	103	130	80	71	62	357	271	271	114	208	162
Março	111	58	28	48	60	90	135	128	200	180	51	242	
Abril	63	16	20	26	47	21	26	115	151	47	78	151	
Maiο	32	36	7		20	16	29	69	68	30	27	22	
Junho	16	3	25		6	1	4	34	12	4	21	53	
Julho	29	1	3	24	16	3	12	64	37	36	91		
Agosto	21	1		30	7	23	23	5	11	6		83	
Setembro	44	56	19	34		22	29	13	99	71	45	53	
Outubro	85	90	16	24	37	31	214	102	120	102		115	
Novembro	119	36	28	89	75	116	143	170	135	234	104	174	
Dezembro	133	64	74	96	71	157	90	179	180	221	153	179	
Acumulado Anual	997	373	441	683	485	620	1116	1357	1549	1399	853	1474	522

Figura A1: Correlação das precipitações médias mensais de cada estação pluviométrica utilizada para o Método de Thiessen na Sub-Bacia do Rio Sapucaí.



## Anexo 2

Documentação fotográfica do trabalho de campo realizado em Pouso Alegre-MG.



Figura A2: Mosaico de fotos do trabalho de campo em Pouso Alegre, medições de topografia, em 2009.



Figura A3: Mosaico de fotos do trabalho de campo em Pouso Alegre, medições de topobatimetria e vazão das seções de controle, em 2009.