

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

INUNDAÇÕES E ENXURRADAS, MUNICÍPIO DE ESTEIO - RS

João Paulo Brubacher

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

Porto Alegre

2016

JOÃO PAULO BRUBACHER

INUNDAÇÕES E ENXURRADAS, MUNICÍPIO DE ESTEIO - RS

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - UFRGS, como requisito para a obtenção de grau de Mestre em Sensoriamento Remoto, área de concentração em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados - Recursos Naturais e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

Porto Alegre

2016

BANCA EXAMINADORA

**OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES ENTRE OS ARROIOS ESTEIO E SAPUCAIA,
MUNICÍPIO DE ESTEIO - RS**

Dr. Guilherme Garcia de Oliveira (UNIVATES)

Dra. Rita de Cássia Alves (UFRGS)

Dra. Eliana Klering (UFRGS)

Dr. Laurindo Antonio Guasselli (UFRGS)

Orientador

À minha noiva

*Agatha Almeida Xavier, por todo o apoio e
por ser a pessoa com quem escolhi
compartilhar a vida*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por ter me proporcionado tantos anos de estudo de modo gratuito e de qualidade, e pelo auxílio financeiro ao longo da minha caminhada acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade de bolsa de pós-graduação, sem a qual não teria sido possível a conclusão do mestrado acadêmico.

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, pela estrutura disponibilizada e empenho para que essa trajetória se tornasse possível.

À Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Esteio, principalmente a Willian Papi, por ter me recebido e colaborado com a discussão proposta nessa dissertação, além dos materiais fornecidos, de grande importância na elaboração desse estudo.

Ao meu orientador Laurindo Antonio Guasselli, pela oportunidade de compartilhar a sua paciência e inteligência, e por ser um exemplo de profissional, dedicado ao extremo com seus orientandos e em todas as atividades inerentes a um professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

À Agatha Almeida Xavier, minha noiva, pela paciência e companheirismo, principalmente nos momentos mais difíceis, além da ajuda indispensável nas correções gramaticais desta dissertação.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGAM), parceiros dessa longa jornada e sem os quais os dias na frente do computador teriam se tornado muito mais difíceis. Em especial, Guilherme Garcia de Oliveira, co-orientador do meu TCC, Cecília Balsamo, Fabiana Sirângelo, Tiago Luerce, Luis Fernando Ruiz e Renata Quevedo, entre outros, com os quais tenho dividido discussões, cafés e momentos de descontração.

RESUMO

As inundações se constituem como um dos principais desastres que acometem frequentemente diversas cidades no mundo. Embora sejam ocasionadas por meio da dinâmica natural dos cursos de água, as cidades que tiveram o seu desenvolvimento às margens de rios e arroios e apresentam como característica crescimento irregular, principalmente em áreas da planície de inundação, sofrem com os danos causados. O município de Esteio/RS é cortado por dois arroios, afluentes do rio dos Sinos, e são recorrentes os casos em que esses arroios causam inundações. Esse estudo tem como objetivo principal analisar as ocorrências de inundações no município de Esteio/RS, considerando o contexto da dinâmica local e as recentes obras viárias realizadas no município. Para tanto, a primeira etapa realizada foi a aquisição de dados de precipitação do período entre 1984 e 2015, assim como a aquisição de imagens LANDSAT. Posteriormente, foi realizada a organização das séries históricas de precipitação e o pré-processamento das imagens LANDSAT e matemática de bandas, visando a análise das inundações no município de Esteio por meio de índice de água por diferença normalizada modificada (MNDWI) e índice de diferença normalizada para lagos (NDPI); elaboração dos mapas de distribuição espacial das maiores inundações; a última etapa, contou com o estudo do contexto das obras viárias nas inundações do município. Entre os principais resultados, destaca-se a análise da série histórica de precipitação, por meio da qual é possível afirmar que a dinâmica das inundações e eventos extremos não é novidade no município, no entanto, os eventos referentes a agosto, outubro e novembro de 2013, além do evento de julho de 2015 foram, de fato, acima da média histórica. As áreas do município afetadas pelas inundações praticamente se repetem a cada evento extremos. A construção da BR 448 e da Avenida Brasil, coincidiu com o aumento das inundações no município, o que não se explica simplesmente pelo aumento da precipitação. A falta de mecanismos para evitar o efeito de remanso das águas dos arroios próximos a BR 448, bem como as alterações na várzea do rio dos Sinos, pode ter contribuído com os últimos eventos. Questionar a eficácia da Avenida Brasil enquanto dique de contenção de inundações, nesse momento, seria precipitado, principalmente se for levado em conta a necessidade das obras das bacias de contenção - a serem construídas. No entanto, medidas estruturais nem sempre são garantias de resolução desse tipo de desastre.

Palavras-chave: arroio Esteio, arroio Sapucaia, sensoriamento remoto, MNDWI, NDPI.

ABSTRACT

Floods constitute one of the main disasters that often affect several cities in the world. Although caused by natural dynamics of rivers, cities that had the development on the banks of rivers and streams and have a characteristic irregular growth, especially in areas of the floodplain, suffer the damage. The municipality of Esteio/RS is cut by two streams, tributaries of the Sinos river, and are recurring cases where these streams cause flooding. This study aims to analyze the occurrence of flooding in the city of Esteio/RS, considering the context of the local dynamics and the recent road works carried out in the municipality. Therefore, the first step was carried out the acquisition period of the precipitation data between 1984 and 2015, as well as the acquisition of LANDSAT images. It was subsequently set up the organization of the historical series of precipitation and pre-processing of Landsat and math bands images, aimed at analysis of floods in Esteio municipality through a modified normalized difference water index (MNDWI) and normal difference pound index (NDPI); preparation of spatial distribution maps of the largest floods; the last stage, had the study of the context of road works in the city's flooding. Among the main results, there is the analysis of time series of precipitation, by which it can be said that the dynamics of floods and extreme events is not new in the city, however, the events related to August, October and November 2013 beyond the July 2015 event were, in fact, above the historical average. The municipal areas affected by floods almost repeat every extreme event. The construction of the BR 448 and Brazil Avenue, coincided with increased flooding in the city, which cannot be explained simply by the increase in precipitation. The lack of mechanisms to prevent backwater effect of the waters of the streams near BR 448, as well as changes in the floodplain of the Sinos river, may have contributed to the latest events. Questioning the effectiveness of the avenue Brazil as dike containment flooding at this point would be premature, especially if one takes into account the need of the works of containment basins - to be built. However, structural measures are not guarantees of resolution this type of disaster.

Keywords: Esteio stream, Sapucaia stream, remote sensing, MNDWI, NDPI.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivo Geral	17
1.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Localização e caracterização da área de estudo.....	18
1.3.1 Aspectos climáticos	21
1.3.2 Geomorfologia.....	21
1.3.3 Processo de ocupação e inundações	22
1.3.3.1 Arroio Sapucaia	26
1.3.3.2 Arroio Esteio	28
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	29
2.1 Inundação.....	29
2.1 Suscetibilidade a inundações	31
2.3 Inundação em áreas urbanas	33
2.4 Medidas Estruturais e Não estruturais	35
2.4.1 Bacias de contenção.....	36
2.5 Projeto de Renaturalização do arroio Sapucaia	37
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1 Material.....	39
3.2 Análise das inundações na região do baixo rio dos sinos.....	40
3.3 Análise da distribuição espacial das inundações no município de Esteio	43
3.4 Contexto das obras viárias nas inundações do município	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1 Precipitação e ocorrência de eventos extremos em Esteio	45
4.2 Espacialização das inundações utilizando MNDWI e NDPI.....	51
4.3 Mancha de inundação dos eventos ocorridos em agosto, outubro e dezembro de 2013 ..	517
4.4 Estudo de caso da inundação ocorrida em julho de 2015.....	60

4.5 Contexto das obras viárias nas inundações do município de Esteio.....	64
4.5.1 BR 448 (Rodovia do Parque)	65
4.5.2 Avenida Brasil	74
4.5.3 Bacias de Contenção.....	93
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
REFERÊNCIAS	99
ANEXO A - Declaração de Situação de emergência nas áreas do município de Esteio afetadas pela enxurrada.....	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do município de Esteio em relação a bacia hidrográfica do rio dos Sinos.	19
Figura 2 - Mancha urbana do município de Esteio e localização da Avenida Brasil.	20
Figura 3 - Mapa da Vila do Esteio do ano de 1944.	23
Figura 4 - Mapeamento dos assentamentos informais em Esteio.....	25
Figura 5 - Altimetria do município de Esteio com sub-bacias contribuintes do arroio Esteio e Sapucaia.....	26
Figura 6 - Perfil transversal dos leitos menor, maior e da planície de inundação.....	30
Figura 7 - Medidas para controle de inundações.....	36
Figura 8 - Fluxograma simplificado do desenvolvimento do trabalho.....	369
Figura 9 - Régua linimétrica com cota fluviométrica máxima de 6 m.	40
Figura 10 - Precipitação Média Anual entre 1984 e 2015, estação meteorológica de Porto Alegre/RS.....	45
Figura 11 - Precipitação Média Mensal entre 1984 e 2015, estação meteorológica de Porto Alegre/RS.	46
Figura 12 - Distribuição espacial de MNDWI para as datas: (a) 30/08/1984, (b) 30/03/2004, (c) 19/11/1990 e (d) 01/10/2007, município de Esteio - RS.....	53
Figura 13 - Distribuição espacial de NDPI para as datas: (a) 30/08/1984, (b) 30/03/2004, (c) 19/11/1990 e (d) 01/10/2007, município de Esteio - RS.	54
Figura 14 - Mancha de inundação a partir de MNDWI em 01/10/2007, município de Esteio - RS.	55
Figura 15 - Pontos de Bloqueio nos arroios Esteio e Sapucaia.....	57
Figura 16 - Mancha de inundação dos eventos extremos de agosto, outubro e novembro de 2013. Fonte: Adaptado de METROPLAN (2014).....	59
Figura 17 - Dados de precipitação diários e acumulados de 13 a 22/07/2015.	60
Figura 18 - Mancha de inundação para chuvas com TR=2 anos.....	61
Figura 19 - Mancha de inundação para chuvas com TR=10 anos.....	62
Figura 20 - Mancha de inundação para chuvas com TR=25 anos.....	63
Figura 21 - Mancha de inundação de Julho de 2015.....	64

Figura 22 - Bairro Novo Esteio e Parque de Exposições Assis Brasil, com área de várzea aterrada, 2015.	67
Figura 23 - Escola Bairro do Parque, Bairro Novo Esteio	67
Figura 24 - Inundação na Escola Bairro do Parque, Bairro Novo Esteio.....	678
Figura 25 - Vila Osório inundada 23/10/2013.....	69
Figura 26 - Inundação no Parque de exposições Assis Brasil (Expointer) em 13/07/2015	70
Figura 27 - BR 448 atuando como dique de contenção de inundações, outubro de 2013.....	71
Figura 28 - BR 448 atuando como dique de contenção de inundações, outubro de 2013.....	71
Figura 29 - Mapa da Unidade Territorial de Esteio (UT1).....	72
Figura 30 - Crítica a propaganda da Bolognesi na área de inundação	73
Figura 31 - Apresentação e localização do projeto de renaturalização do arroio Sapucaia.	75
Figura 32 - Área do projeto a ser protegida contra as inundações.	75
Figura 33 - Perspectiva do projeto de renaturalização do arroio Sapucaia após a conclusão das obras	76
Figura 34 - Ponto de bloqueio, Rua Dona Izabel, antes das obras da Av. Brasil.....	77
Figura 35 - Ponto de bloqueio na Rua Dona Izabel, e lixo acumulado impedindo a passagem do arroio pelas galerias	77
Figura 36 - Escola Alberto Pasqualini, localizada na Rua Dona Izabel.....	78
Figura 37 - Escola Alberto Pasqualini, inundação em julho de 2015.....	79
Figura 38 - Meandro abandonado do arroio Esteio, inundação em julho de 2015.....	80
Figura 39 - Meandro abandonado do arroio Esteio, inundação em julho de 2015.....	80
Figura 40 - Imagem aérea da confluência entre arroio Esteio e arroio Sapucaia.	81
Figura 41 - Imagem aérea da Confluência entre os arroios Esteio e Sapucaia em obras 30/08/2015.....	82
Figura 42 - Confluência entre os arroios Esteio e Sapucaia em obras. Data: 10/08/2015.....	82
Figura 43 - Rua Dona Izabel, ponto sobre arroio Esteio. Data: 17/07/2015	83
Figura 44 - Dona Izabel, inundação no ponto sobre arroio Esteio. Data: 14/07/2015.	83
Figura 45 - Rua Bento Gonçalves, ponte sobre arroio Esteio. Muro de contenção de pedras construído pela Prefeitura, para evitar erosão do terreno.	84

Figura 46 - Rua Bento Gonçalves, ponte sobre arroio Esteio.	85
Figura 47 – Bairro Morada de Esteio 1 e 2 e Rua Bento Gonçalves.	86
Figura 48 – Bairro São Sebastião, Morada de Esteio 1 e 2 e Rua Bento Gonçalves, inundação dia 14/07/2015	86
Figura 49 - Rua Bento Gonçalves.	87
Figura 50 - Inundação Rua Bento Gonçalves 15/07/2015.....	88
Figura 51 - Rua Bento Gonçalves pós-inundação 17/07/2015.....	88
Figura 52 - Residencial Village, Rua Bento Gonçalves 05/2015.....	89
Figura 53 - Inundação Residencial Village, Rua Bento Gonçalves, junho de 2005.....	90
Figura 54 - Inundação Residencial Village, Rua Bento Gonçalves, 13/07/2015.....	90
Figura 55 - Pórtico de entrada do município em diferentes décadas: a) pórtico de entrada em 1944; b) pórtico de entrada em 1971, já com o prédio da prefeitura ao fundo; c) estrutura do pórtico de entrada ao fundo, com a BR 116 e a Estação de Esteio do TRENSURB.	91
Figura 56 - Ponto de bloqueio, Av. Presidente Vargas, foto tirada no dia 17/07/2015, antes da finalização das obras da Av. Brasil	92
Figura 57 - Dique da Avenida Brasil, ainda em obras, 17/07/2015.	92
Figura 58 - Esquema de abatimento de onda de cheia em uma bacia de contenção.	94
Figura 59 - Bacia de contenção do tipo off-line/off-stream, modelo previsto para o arroio Sapucaia.....	94
Figura 60 - Localização das bacias de contenção para os arroios Sapucaia e Guajuviras.	95
Figura 61 - Bacia de contenção do tipo in-line, arroio Guajuviras, com contenção de margens por enrocamento.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População Total Residente em Esteio	24
Tabela 2 – Valores de precipitações a partir do Tempo de Retorno, bacia do rio dos Sinos. ..	47
Tabela 3 - Ocorrência de eventos extremos, estação meteorológica 83967	49
Tabela 4 - Precipitação máxima em 24 horas 1991-2010	50
Tabela 5 - Precipitação acumulada em 5 e 30 dias; Médias de MNDWI para o município de Esteio e para a área de várzea.....	51

ANEXOS

ANEXO A - Declaração de Situação de emergência nas áreas do município de Esteio afetadas pela enxurrada.....	108
--	-----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AID – Área de Influência Direta

AII – Área de Influência Indireta

ANA - Agência Nacional de Águas

CPRM – Companhia de Recursos Minerais

COBRADE - Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico

EIA-RIMA - Estudo de Impacto Ambiental – Relatório de Impacto Ambiental

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacionais de Pesquisas Espaciais

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

METROPLAN – Fundação de Planejamento Metropolitano e Regional

MPF – Ministério Público Federal

MNDWI – Modified Normalized Difference Water Index

NDPI – Normalized Difference Pounds Index

NDWI - Normalized Difference Water Index

PAC – Programa de Aceleração ao Crescimento

PLHIS – Plano Local de Habitação e Interesse Social

REFAP – Refinaria Alberto Pasqualini

RMPA – Região Metropolitana de Porto Alegre

1 INTRODUÇÃO

As inundações são ocasionadas por meio da dinâmica natural dos cursos de água, e são capazes de provocar alguns dos principais desastres que acometem frequentemente diversas cidades no mundo. Muitas dessas cidades tiveram seu desenvolvimento às margens de rios e arroios, sendo recorrentes nos noticiários as graves consequências causadas pela elevação dos cursos de água. O crescimento irregular das cidades, principalmente em áreas da planície de inundação, contribui para que esses eventos aumentem a vulnerabilidade da população e consequentemente os riscos, já que muitas vezes ocorrem danos sociais e materiais.

Segundo Guha Sapid (2008), a cada ano, em média, as inundações matam mais de 9.000 pessoas e afetam mais de 115 milhões no mundo. Com mais de 19 bilhões de dólares em prejuízos econômicos, as enchentes são a segunda catástrofe natural mais cara, logo após as tempestades, sendo que esses números podem ser ainda maiores. No Brasil, são os eventos mais frequentes, dentre esse tipo de desastre (Tucci e Bertoni, 2003).

Os países que possuem infraestrutura mais precária são mais vulneráveis a desastres. Grandes cidades do Brasil, China e Índia, estão frequentemente nos noticiários. No entanto, mesmo países da Europa sofrem com danos causados por inundações. Em 2002, inundações históricas causaram prejuízos de 11 bilhões de Euros à Alemanha; em 2013, novamente a Europa sofreu com inundações em países como Hungria, Suíça e Áustria, com prejuízos financeiros de centenas de milhões de Euros, além da perda de vidas humanas (Inundações na Europa..., 2013).

Os trabalhos relacionados a desastres visam colaborar com a sociedade e consequentemente com a Defesa Civil dos municípios, de modo a fazer com que os impactos causados sejam, pelo menos, minimizados. Para que isso aconteça, é de suma importância que se tenha a maior quantidade de informações possíveis sobre a área em análise. Diversos pesquisadores vêm utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto para investigar, diagnosticar, modelar e mapear inundações, entre os quais Reichenbach (1998), Collishon (2001), Sanyal *et al* (2004), Oliveira (2010), Mizuochi *et al* (2014) e Reager *et al* (2015).

Historicamente, a bacia hidrográfica do rio dos Sinos sofre com os efeitos das inundações, conforme estudos de Risso (1994), METROPLAN (1994), Saldanha (1996), Penteado (2011), Bazzan (2011) e Brubacher (2012). Os municípios que compõem a bacia hidrográfica tiveram seu desenvolvimento junto aos principais rios da bacia, de forma que, nas áreas mais urbanizadas, os cursos da água possuem grande ocupação nas suas margens.

Essa ocupação provoca modificações do curso natural dos rios, trazendo prejuízos para a própria população, que sofre com eventuais inundações.

Ao mapear as áreas suscetíveis à inundação, a partir das variáveis morfométricas na bacia do rio dos Sinos, Brubacher *et al.* (2011) e Oliveira *et al.*, (2009) indicaram que a região do baixo rio dos Sinos, mais próxima da foz, apresenta características que favorecem um lento escoamento das águas, de modo que um aumento excessivo do volume pode provocar o transbordamento do leito normal.

O baixo rio dos Sinos possui uma pequena variação altimétrica e baixa declividade, no entanto, recebe uma grande quantidade de águas drenadas a partir das sub-bacias de montante. Os municípios dessa região constituem a parte mais populosa da Região Metropolitana de Porto Alegre e são frequentemente atingidos por inundações, tanto por meio do próprio rio dos Sinos, ou dos seus afluentes que cortam esses municípios (Após chuva, Defesa Civil, 2015).

O município de Esteio/RS é cortado por dois arroios, afluentes do rio dos Sinos, e são recorrentes os casos em que esses arroios causam inundações. Trata-se, portanto, de um problema histórico com mais de 50 anos, desde quando Esteio era um distrito de São Leopoldo e os arroios Esteio e Sapucaia fluíam livres, sem quaisquer obstáculos.

Essa situação, no entanto, tem se agravado nos últimos anos. Em outubro de 2013, boa parte do município ficou embaixo da água, sendo que o Ministério Público Federal (MPF) foi acionado para investigar as causas da inundação. Um dos fatores que motivaram a denúncia, foi a desconfiança de que a BR 448 (Rodovia do Parque), que corta o município e foi construída com o intuito de desobstruir o trânsito da BR 116, seria responsável pelo agravamento da situação.

De acordo com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da obra da BR 448, foram realizados estudos dos recursos hídricos nas áreas de Influência Direta e Indireta (AID e AII) da obra. No estudo relativo à Caracterização Geral da Bacia do rio dos Sinos, é destacado que o mau uso do solo e o desmatamento nas encostas declivosas, que geram a acentuação dos processos erosivos e modificações no balanço hídrico, podem ser agravados com a implantação da rodovia (DNIT, 2008).

Outra grande obra viária no município de Esteio é a Avenida Brasil (popularmente chamada de Avenida Beira-Arroio). Essa obra foi viabilizada por meio da necessidade de atuar como uma alternativa para adentrar o município de Esteio sem passar pelo centro, mas principalmente, para servir como um dique para contenção de cheias ao longo do arroio Sapucaia, no setor Oeste de Esteio. A obra teve início no ano de 2011 e tinha prazo de

término para 2013, no entanto, devido a atrasos, foi inaugurada no dia 20 de dezembro de 2015.

Medidas estruturais são a principal alternativa para contenção de inundações e se caracterizam pela construção de obras hidráulicas de grande porte para reter, confinar ou escoar mais rapidamente a água das chuvas. A construção de diques, por exemplo, tem como objetivo minimizar a ocorrência de inundações, sem que as atividades humanas estabelecidas sejam comprometidas. No entanto, na maioria das vezes, essas obras não eliminam a possibilidade de ocorrência desses desastres, apenas diminuem a magnitude dos episódios (Ostrowsky & Zmitrowicz, 1991).

É provável que, ao longo do tempo, as áreas próximas ao entorno da rodovia atraiam um grande número de residências ao local, já que é considerada como área de interesse pela prefeitura municipal de Esteio. Isso elevaria ainda mais a densidade demográfica do município, que é a maior do estado do Rio Grande do Sul, com cerca de 2917 hab/km² (IBGE, 2010).

Esses fatos, em conjunto com a suscetibilidade a inundações da região onde a cidade está inserida, criam um grande potencial para a ocorrência de desastres relativos a inundações. Nesse contexto, este estudo analisa as inundações no município de Esteio, a partir da relação entre os eventos históricos e as recentes obras viárias realizadas no município.

1.1 Objetivo Geral

Analisar as ocorrências de inundações e enxurradas no município de Esteio/RS, considerando o contexto da dinâmica local e as recentes obras viárias realizadas no município.

1.2 Objetivos Específicos

- (i) Relacionar os dados históricos de precipitação com as inundações no município de Esteio/RS;
- (ii) Espacializar as maiores inundações no município;
- (iii) Analisar o contexto das obras da BR 448 e da Avenida Brasil na ocorrência de inundações no município.

1.3 Localização e caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos está localizada na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul e possui uma área total de 3.820 km². Por conter parte da mancha urbana da Região Metropolitana de Porto Alegre, que contém uma população de cerca de 1,3 milhão de habitantes é uma das mais importantes do Estado. O rio dos Sinos tem em seus principais afluentes o rio Paranhana e o rio Rolante, com as suas nascentes concentradas nos municípios de Gramado, Canela e Caraá.

Esteio está localizado na região do baixo rio dos Sinos, cerca de 10 km da foz da bacia (Figura 1). A maior parte do município está localizada dentro da sub-bacia do arroio Sapucaia, que é considerado um dos afluentes mais impactados antropicamente do rio dos Sinos (Franzen *et al*, 2006)

O município possui uma área urbana de 18,6 km² e uma população 83.846 habitantes (IBGE, 2014), o que o qualifica como a maior densidade demográfica do Estado do Rio Grande do Sul, totalizando 2.917,87 hab/km². A Figura 2 mostra a concentração da mancha urbana do município bastante próximo das rodovias.

De acordo com o PRÓ-SINOS (2009), uma área de 9 km², na parte oeste do município, se refere a área rural do mesmo. É nessa região em que se concentra a pequena produção agrícola do município. De acordo com o último censo do IBGE (2007), o município produz cerca de 1,47 toneladas de arroz por ano. O site da prefeitura de Esteio, por meio do zoneamento do município, considera essa área como "várzea do rio dos Sinos".

Outra característica do município é a divisão territorial, imposta por meio da construção da BR 116 e dos trilhos do trem, que atravessam a cidade. A área mais urbanizada do município, que concentra os principais serviços e a maior parte da população, se encontra do lado leste, enquanto a parte oeste possui apenas um bairro (bairro Novo Esteio), o Parque de Exposição Assis Brasil e a pequena área rural do município.

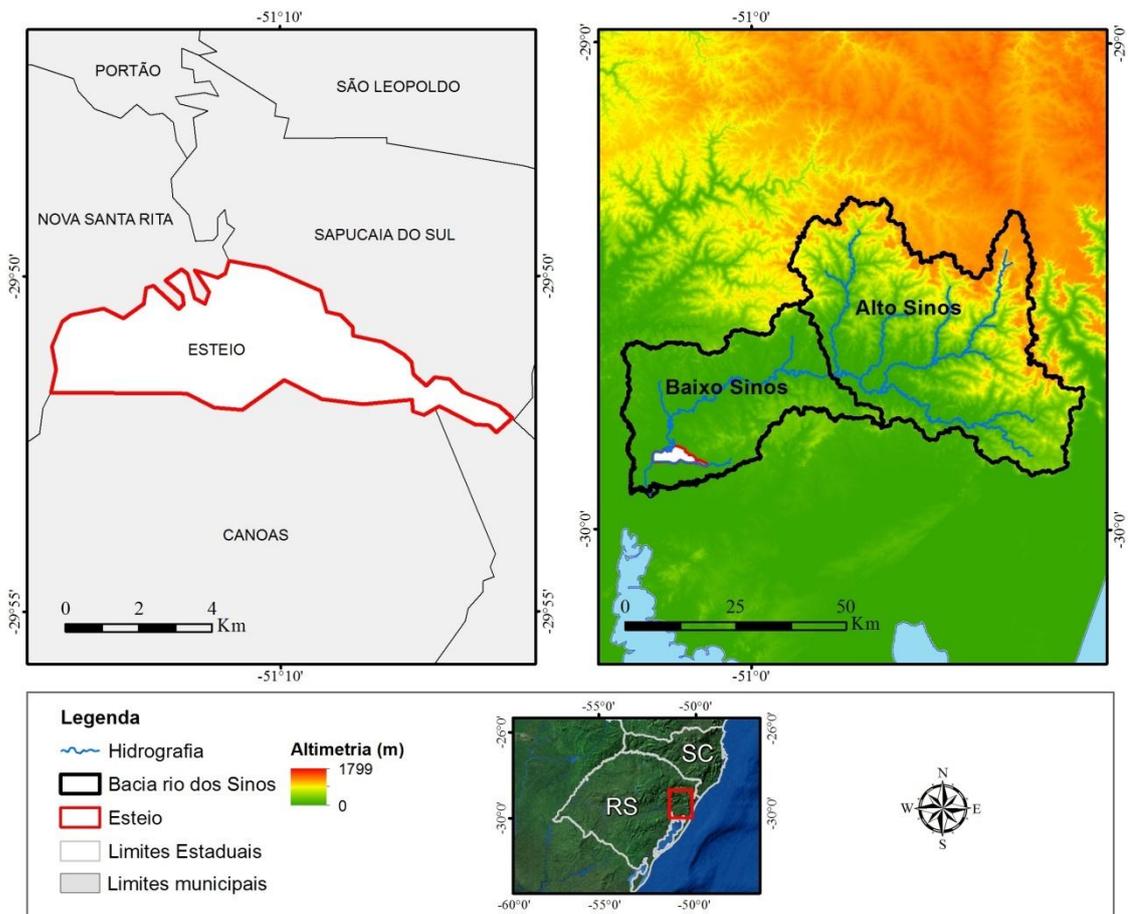


Figura 1 - Localização do município de Esteio em relação a bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

Na parte Oeste do município, o rio dos Sinos faz a divisa entre os municípios de Esteio e Nova Santa Rita. Próxima ao rio dos Sinos, na região da várzea, encontra-se a BR-448, cuja obra iniciou em 2009 e foi entregue em 2013. Na área do município a leste da BR-116, região mais densamente povoada foi construída a Avenida Brasil, cujas obras iniciaram em 2011 e foram entregues em dezembro de 2015. A Avenida Brasil possui de 2,3 km de extensão (Figura 2).

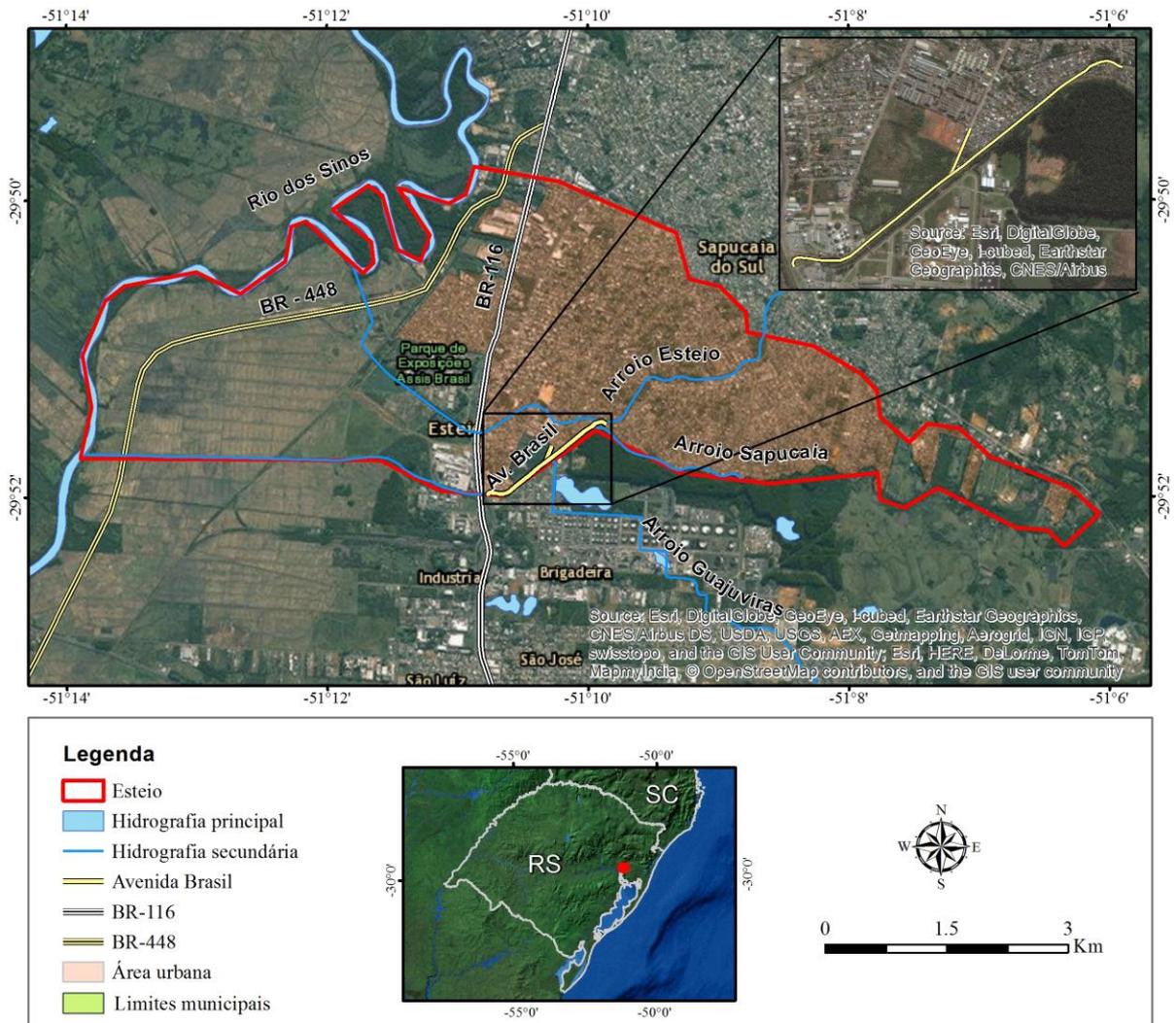


Figura 2 - Mancha urbana do município de Esteio e localização da Avenida Brasil. Fonte da Imagem: Google Earth.

Devido às recorrentes inundações enfrentadas pelo município, foi solicitado um estudo junto ao IPH-UFRGS, em 2006, sobre a caracterização e alternativa de controle das cheias entre os arroios Sapucaia e Esteio. O projeto foi viabilizado pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e destinado à realização de cinco obras interligadas: (a) construção da Avenida Brasil, para atuar como dique de contenção em uma extensão aproximada de 2.300 m ao longo do leito norte do rio; (b) recomposição da mata ciliar; (c) revestimento de concreto em três trechos distintos nas bordas do arroio; (d) a canalização de trecho do braço seco do arroio Esteio; (e) microdrenagem das Rua Bento Gonçalves e Rio Grande (Esteio, 2009).

1.3.1 Aspectos climáticos

Segundo classificação climática realizada por Rossato (2011), a bacia hidrográfica do rio dos Sinos está localizada em uma região de transição entre os climas Subtropical II (medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias) e Subtropical III (úmido com variação longitudinal das temperaturas médias).

O município de Esteio se encontra inserido no clima Subtropical III, ou seja, é caracterizado por chuvas anuais bem distribuídas em 100-120 dias. Mensalmente, totaliza de 08-12 dias de chuva. A temperatura média anual varia entre 17°C e 20°C. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 11°C e 14°C e a temperatura média do mês mais quente varia entre 23°C e 28°C.

Com base em uma série temporal de dados de precipitação de 1940 a 2001, Brubacher *et al.* (2012) descrevem que, na bacia do rio dos Sinos, as precipitações são relativamente bem distribuídas, com um valor médio anual 1587 mm. A sub-bacia do Baixo-Sinos, onde está localizado o município de Esteio, apresenta um valor médio 1600 mm.

Ao longo do ano, o período de junho a outubro é o mais chuvoso. No mês de setembro acontece a maior média de chuvas (média de 166 mm). Esse período é marcado por precipitações frontais de longa duração e vindas do sul, típicas dos meses mais frios, de forma que há uma maior probabilidade de ocorrência de inundações.

Segundo Sartori (2003), nesse período do ano, há uma maior participação da Frente Polar Atlântica (FPA), que permanece no Estado em mais de 22% dos dias, provocando o aumento de frentes estacionárias e de ciclogêneses (formação de cicloens frontais), situações atmosféricas responsáveis pelos grandes índices pluviométricos que podem ocorrer no inverno.

Entre os meses de outubro a março, a precipitação é menor, mas as ocorrências são mais localizadas e torrenciais, acumulando uma grande quantidade de precipitação em pouco tempo. Comuns na primavera, os Complexos Convectivos de Meso Escala (CCM's) são responsáveis por esse tipo de precipitação pluviométrica intensa nesse período do ano. Normalmente esse período está associado a enxurradas e a deslizamentos de encostas como, por exemplo, nos municípios de Igrejinha, Três Coroas e Rolante, além da ocorrência de alagamentos em pequenas bacias urbanas.

1.3.2 Geomorfologia

O município apresenta as seguintes unidades geomorfológicas: Planície Lagunar, onde estão situados depósitos sedimentares quaternários; e a Depressão do rio Jacuí, caracterizada pelo relevo suave, sustentado pelas rochas sedimentares da bacia do Paraná.

A Planície Lagunar é caracterizada como uma área plana, homogênea, sem dissecação, representando 3,5% da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (Luerce *et al*, 2013). Esta Unidade Geomorfológica apresenta áreas com altimetria menores que 20 metros e declividades menores que 2%. No período de cheias, a elevação do nível das águas inunda as áreas marginais, inseridas na planície lagunar e seus tributários. O problema se agrava nas áreas urbanas dos municípios de Esteio e Sapucaia do Sul, particularmente suscetíveis a erosão devido à grande quantidade de solo exposto (Franzen, 2006).

1.3.3 Processo de ocupação e inundações

Até o ano de 1940, o Rio Grande do Sul era um estado predominantemente agrícola. Porto Alegre contava, naquela data com 259.605 habitantes, mantendo a hegemonia industrial e de distribuição de bens e serviços na Região Sul (Thomas, 1980).

A região onde se encontra hoje o município de Esteio era de terras pertencentes ao fazendeiro Serafim Pereira de Vargas, conhecido como "Coronel Janjão", que tinha na atividade pastoril a principal fonte de renda. Tratava-se de uma área de banhado, onde viviam inúmeras espécies, inclusive jacarés. O povoado que viria a originar Esteio nasceu com a construção da Ferrovia Porto Alegre - Novo Hamburgo, em 1873, nas terras do fazendeiro. Nessa época a fazenda integrava o município de São Leopoldo.

A partir da década de 30, o engenheiro Ildo Meneghetti (que anos depois viria a ser governador do Rio Grande do Sul), em sociedade com Kroeff e Fleck, fundou a empresa Cia. Geral de Obras e Esteio Ltda., que começou a comprar terras e lotear a região. A ocupação de Esteio intensifica-se com o início da construção da rodovia Porto Alegre - São Leopoldo. Na Figura 3, é possível ter um ideia de como era a "Vila de Esteio" no ano de 1944.



Figura 3 - Mapa da Vila do Esteio do ano de 1944. Fonte: Adaptado de Perez, 1944.

O traçado atual das vias do município é praticamente o mesmo de 70 anos atrás. Outro aspecto relevante em relação ao mapa de 1944, é que a área de inundação entre os arroios Esteio e Sapucaia não se encontrava loteada. É provável que nessa época já se tivesse a noção da suscetibilidade das inundações e dos riscos de ocupar aquelas áreas.

Oswaldo Kroeff optou por não vender suas terras, ficando para si a área entre a estrada de Ferro e o rio dos Sinos, que corresponde hoje ao Parque de exposições Assis Brasil. Essas terras foram adquiridas na década de 70 pelo Governo do Estado, para atender o crescimento da Exposição Estadual de Animais, que acontecia no antigo Parque Menino Deus, em Porto Alegre.

O município de Esteio foi emancipado de São Leopoldo, oficialmente, na data de 15 de dezembro de 1954. Em 1979, Esteio já contava com uma população de 51.236 pessoas e já era considerado o município com maior densidade populacional do estado. Na década de 80,

houve um grande crescimento da população, chegando a 70.547 habitantes, no ano de 1990, e 80.048 habitantes, no ano de 2000, ou seja, um aumento de cerca de 64%, estabilizando nos anos 2000 (Tabela 1).

Tabela 1 - População Total Residente em Esteio

Ano	1944	1970	1980	1991	2000	2010	2015
População (hab.)	5.504	34.597	50.963	70.547	80.048	80.755	83.984

Fonte: THOMAS (1980), IBGE (2015)

“A mobilidade do Parque industrial acarreta também uma mobilidade populacional na região que se expande na direção do trabalho. Além disso, sabe-se que com os aumentos de investimentos em infra-estrutura, aumento na produção de bens e na oferta de empregos, a RMPA atrai também populações provindas do interior do Estado. Esses fatos estimularam a proliferação de loteamentos que, de Porto Alegre, se estenderam até Canoas, São Leopoldo e Novo Hamburgo”. (PLHIS, 2009)

Esse aumento populacional entre o final da década de 70 e a década de 90 se deu muito devido as ações da prefeitura no sentido de oferecer isenção de tributos as empresas interessadas em se instalar no município. O resultado foi que, das 151 unidades industriais em 1985, esse número saltou para 317 em 1995. Em relação aos estabelecimentos comerciais, 1985 eram 1174, e no ano de 1995 eram 1763 estabelecimentos.

Muitos desses novos moradores não compraram os lotes da cidade ainda em expansão, mas sim iniciaram a ocupação de áreas da várzea de inundação dos arroios Esteio e Sapucaia. Hoje, estima-se que o município tenha uma necessidade habitacional de 1.565 domicílios, sendo que 1.022 dos domicílios irregulares se encontram em áreas de risco, principalmente entre os arroios Esteio e Sapucaia, conforme pode ser visto no mapa do Diagnóstico do Plano Local de Habitação de Interesse Social (Figura 4).



Figura 4 - Mapeamento dos assentamentos informais em Esteio. Fonte: Adaptado de PLHIS, 2009.

Os arroios Esteio e Sapucaia são os dois principais cursos de água que cortam o município de Esteio, sendo que o primeiro é um contribuinte do segundo. O arroio Sapucaia possui suas nascentes nos municípios de Gravataí, Sapucaia do Sul e Novo Hamburgo, percorre uma parte em área rural, e só no seu baixo curso ingressa em áreas mais urbanizadas, no município de Esteio. Por outro lado, o arroio Esteio possui suas nascentes já em área urbana, no município de Sapucaia.

A Figura 5 apresenta o mapa altimétrico de Esteio e o caminho percorrido pelos arroios Esteio e Sapucaia. Na área em destaque da Figura 6, encontra-se a delimitação das sub-bacias na área urbana de Esteio, com as respectivas direções de fluxo, das áreas mais altas para as mais baixas.

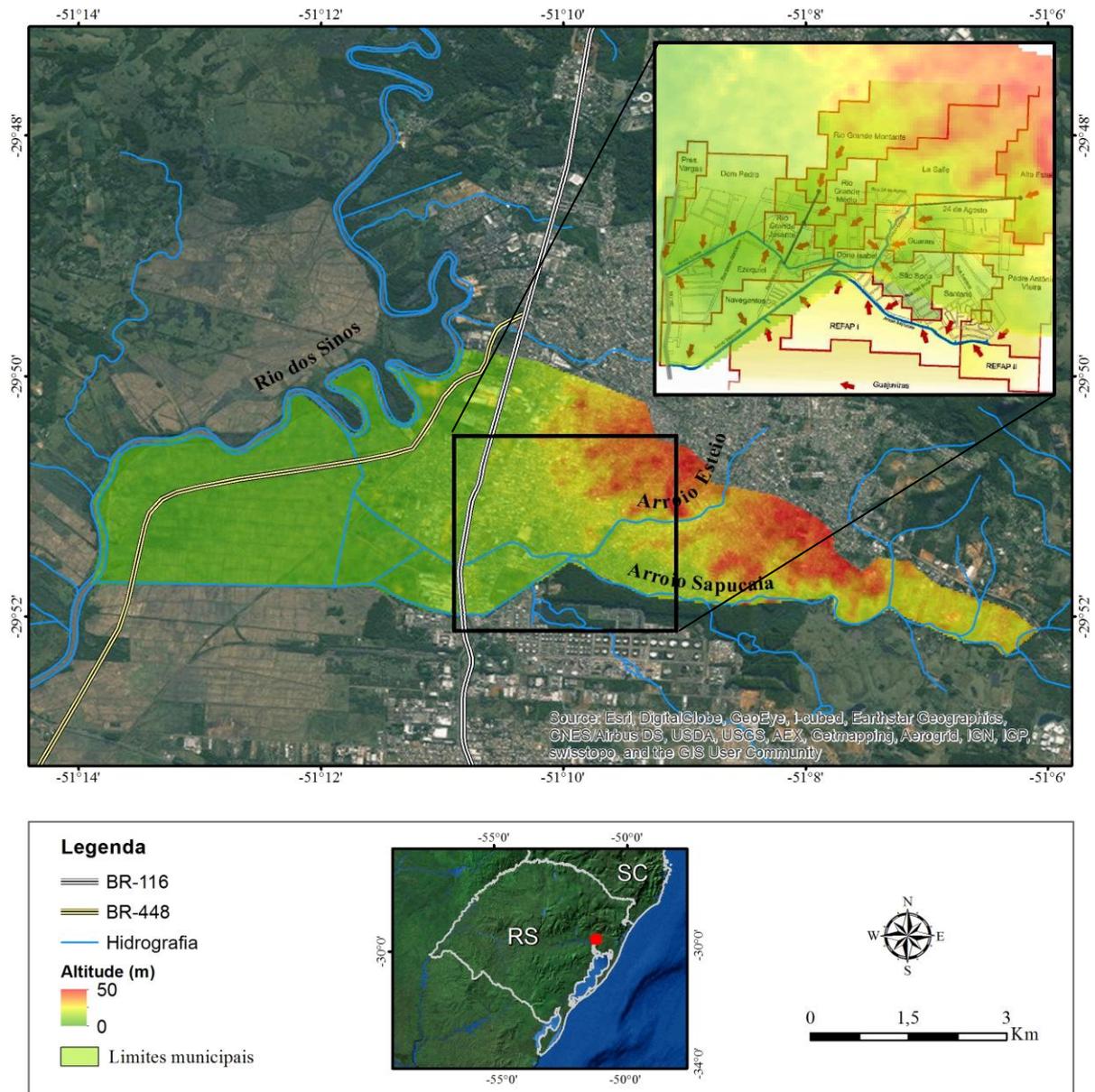


Figura 5 - Altimetria do município de Esteio com sub-bacias contribuintes do arroio Esteio e Sapucaia. Fonte: Adaptado de IPH, 2006.

1.3.3.1 Arroio Sapucaia

O arroio Sapucaia serve como divisa entre os municípios de Esteio e Canoas, sendo que sua várzea, que é altamente urbanizada, regularmente é acometida por inundações. Possui como contribuintes o arroio Ipiranga, arroio Santa Tecla, arroio Moinhos, arroio Passo Fundo, arroio Boa Vista, arroio Guajuviras e arroio Esteio, sendo que esses dois últimos têm suas nascentes em áreas urbanas.

Embora as nascentes estejam localizadas em área rural, a prática de extração mineral é comum próxima às nascentes. No curso médio, o Arroio Sapucaia recebe despejos de origem principalmente doméstica e o curso inferior é marcado por intensa atividade industrial. No alto e médio curso da bacia, a água é utilizada para consumo humano (áreas rurais) e irrigação de hortifrutigranjeiros.

No baixo curso (região de influência de indústrias) ocorrem despejos domésticos e industriais, lixívia de lixo e irrigação de culturas de arroz localizadas nas margens, próximo à foz (FRANZEN *et al.*, 2016). Entre as atividades industriais na bacia, destacam-se os setores petroquímico, metal-mecânico, plástico, químico e metalúrgico, gerando grande quantidade de resíduos. Os efluentes líquidos são, por vezes, lançados *in natura*, principalmente por médias e pequenas empresas, ou tratados, característica que se observa em efluentes de algumas grandes indústrias (METROPLAN, 2001).

Na margem esquerda do arroio Sapucaia está localizada a REFAP (Refinaria Alberto Pasqualini), que possui uma área total de 5,8 km² de planta industrial, e na margem direita encontra-se uma área densamente urbanizada do município de Esteio, em residências que ocupam áreas imediatas da planície de inundação do arroio, com grandes riscos de inundações.

No trecho ao final da Rua Rio Grande, há a confluência dos arroios Esteio e Sapucaia. Os dois arroios foram interligados ainda na década de 1990, na tentativa de minimizar as frequentes inundações. Essa solução amenizou apenas os eventos de baixa intensidade pluviométrica.

No ponto onde ocorre a confluência dos dois arroios, ocorre o efeito de remanso das águas do arroio Sapucaia, caso esse apresente um nível mais alto que o das águas do arroio Esteio, causando o represamento desse último. Ambos arroios recebem grande quantidade de esgoto cloacal, de forma que qualquer inundação pode causar problemas não apenas de ordem material, mas também de saúde pública.

Segundo estudo do IPH (2006), "com a interligação dos arroios, a vazão no arroio Sapucaia aumentou, o que compromete a capacidade de drenagem do mesmo, principalmente quando ocorrem precipitações de maior intensidade. Uma vez reduzida a capacidade de drenagem do arroio Sapucaia, pode haver refluxo de vazões para o arroio Esteio, agravando os problemas de inundação. Desta forma, a análise isolada dos problemas do arroio Esteio não eliminou as enchentes no local, sendo que as mesmas são frequentes no local".

1.3.3.2 Arroio Esteio

A urbanização do trecho pelo qual passa o arroio Esteio faz com que uma grande quantidade de esgoto cloacal seja lançada diariamente no arroio. Além disso, as modificações realizadas ao longo dos anos em seu leito em nada lembram o curso natural de um corpo de água. Em alguns trechos, o arroio foi canalizado em seção retangular e trapezoidal com alvenaria de blocos de arenito e laje de grês. Nestes trechos o arroio possui declividade de fundo regular; já em outros locais a sua seção foi alargada não tendo sido revestida.

No município de Esteio, a montante da travessia do arroio Esteio com a Rua Rio Grande, o mesmo foi interligado ao arroio Sapucaia, na tentativa de minimizar as frequentes inundações naquela região. Essa solução amenizou as situações de inundação apenas para eventos de menor intensidade pluviométrica. É também nesse trecho que o arroio Esteio apresenta inversão de sua declividade de fundo, combinada com a redução de seção de sua calha.

A interligação dos arroios foi uma medida paliativa cujos resultados ficaram aquém do esperado. Com a interligação dos arroios, a vazão no arroio Sapucaia aumentou, o que compromete a capacidade de drenagem do mesmo, principalmente quando ocorrem precipitações de maior intensidade. Uma vez reduzida a capacidade de drenagem do arroio Sapucaia, pode haver refluxo de vazões para o arroio Esteio, agravando os problemas de inundação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Para a elaboração do referencial teórico deste trabalho, os eixos de pesquisa foram revisados buscando facilitar a compreensão do todo analisado. O primeiro deles aborda a compreensão do conceito de **Inundação**. O segundo explana sobre o conceito de **Suscetibilidade a inundações e Inundações em áreas urbanas**; na terceira parte do referencial será abordada a temática de **Medidas estruturais e Não-estruturais**, com destaque para as **Bacias de contenção**, devido à sua importância nesse estudo. Por fim, a última parte do referencial aborda o **Projeto de Renaturalização do arroio Sapucaia**, essencial para o entendimento desta dissertação.

2.1 Inundação

O conceito de inundação é amplo e abordado de diferentes maneiras por um grande número de pesquisadores (Tucci, 1995; Castro, 1998; Kobiyama, 2006; Rojas *et al.*, 2013; Blöschl et al, 2013) que estudam o tema. Kobiyama (2006) ressalta que existe uma grande divergência entre os cientistas sobre as definições a serem adotadas devido às diferentes percepções e terminologias utilizadas para as inundações, havendo uma dificuldade em padronizar as categorias das mesmas.

Segundo Christofletti (1974), os leitos fluviais correspondem aos espaços que podem ser ocupados pelo escoamento das águas. Enquanto o leito menor é bem delimitado e encaixado pelas margens fluviais ou diques marginais, o leito maior pode ser mais amplo, o que se configura como planície de inundação (Figura 6). De uma forma mais ampla, de acordo com Castro (2003), inundação pode ser definida como o transbordamento de água proveniente de rios, lagos, canais e áreas represadas, de modo que água invada os terrenos adjacentes, provocando danos.

Para o IPT (2004), inundação consiste no processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais (planície de inundação, várzea ou leito do rio), e que se origina de altas precipitações que se fazem presentes no ciclo hidrológico. O leito maior periódico, ou sazonal, é regularmente ocupado pelas cheias, que são normalmente

ocasionadas por eventos extremos de pluviosidade, ou seja, aqueles que possuem baixa frequência de ocorrência e alta magnitude (Christofolletti, 1980).

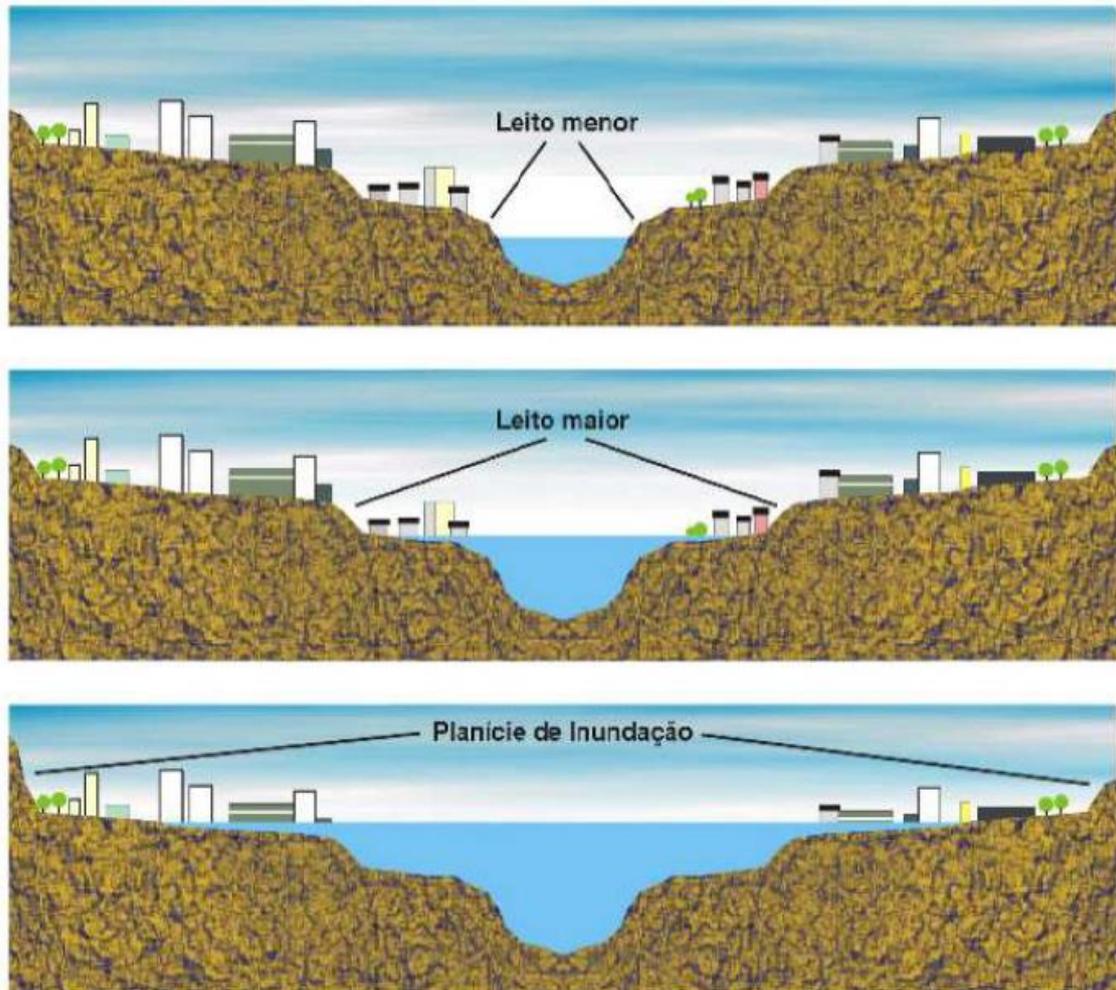


Figura 6 - Perfil transversal dos leitos menor, maior e da planície de inundação.

Fonte: Eckhardt, 2008

Autores como Julião *et al.* (2009), tratam inundação como um fenômeno hidrológico extremo, de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste na submersão de terrenos usualmente emersos. Ou seja, o fenômeno engloba as cheias (transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, que pode ser rápido ou lento), que se refere à subida do lençol freático acima da superfície topográfica e à sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais dos aglomerados urbanos.

Como complementação aos autores citados anteriormente, para Castro (2003), inundação corresponde ao transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e

açudes, ou acumulação de água por drenagem deficiente, em áreas não habitualmente submersas.

Para Oliveira (2010), inundação está associada ao extravasamento das águas do leito menor de um corpo hídrico para a planície de inundação (leito maior), em virtude do excesso de água não drenada pela falta de capacidade fluvial.

As inundações ocorrem devido a precipitações abundantes ao longo de vários dias ou semanas (cheias lentas e subida do lençol freático) ou a precipitações intensas com duração de poucas horas ou minutos (cheias rápidas e sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais).

Por fim, o COBRADE (2012) (Classificação e Codificação Brasileira de Desastres), define inundações como a submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. Sendo que o transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas. No mesmo documento, enxurradas se diferenciam de inundações por estarem associadas ao escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, com alto poder destrutivo e de alagamentos, que é associado à extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana.

Esse trabalho utilizará o conceito de inundação definido por Castro (2003), de modo que a área de estudo apresenta tanto enxurradas, com a elevação súbita dos cursos de água, quanto inundações, geralmente provocadas pelo estancamento do rio dos Sinos e consequente represamento das águas na área urbanizada do município, ambos contemplados com o referido conceito.

2.2 Suscetibilidade a inundações

O termo suscetibilidade pode se aplicar a diferentes agentes causadores de desastres, como deslizamento de massa, enxurradas e inundações, devido às condições intrínsecas ao local. Pode ser definida como a maior ou menor predisposição de ocorrência de um determinado processo em uma área específica, sem considerar os possíveis danos e seu período de recorrência (Capacitação em Gestão de Riscos, 2014).

Para Trentin *et al.* (2013), a suscetibilidade corresponde à possibilidade de ocorrência de um determinado evento na área analisada compreendida através de parâmetros que definem uma possibilidade real de registros históricos de inundações, onde se identificam as áreas inundadas e os períodos de recorrência.

Segundo Toro *et al.* (2013), suscetibilidade é considerada o grau de predisposição que tem uma área a ser submetida a uma ameaça devido às suas condições intrínsecas. O termo se diferencia de vulnerabilidade, que tem a ver com as condições preexistentes que fazem com que a infraestrutura, os processos, os serviços, a produtividade e as vidas humanas sejam mais propensos a ser afetados por um perigo externo; e de perigo, que indica a probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente prejudicial em uma determinada área, em um determinado período de tempo.

Julião *et al.* (2009) tratam do conceito de suscetibilidade de maneira mais abrangente. Para esses autores, suscetibilidade consiste na incidência espacial do perigo, ou seja, representa a propensão de uma área a ser afetada por um determinado perigo, por tempo indeterminado. É avaliada a partir dos fatores de predisposição para a ocorrência de processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.

Souza (2005) utiliza o termo suscetibilidade como correspondente ao grau de probabilidade que os atributos naturais têm em condicionar, induzir ou acelerar a ocorrência de um determinado perigo. A mesma autora utiliza ainda o termo suscetibilidade morfométrica das bacias de drenagem para definir a parcela de responsabilidade do comportamento geométrico das bacias no desencadeamento de inundações.

O conceito de suscetibilidade definido por Souza (2005) pode ser comparado com o conceito de perigo, o qual relaciona este com a probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente prejudicial, em uma determinada área, em um determinado período de tempo. Dessa forma, o mapa de perigo de um local se daria pela relação entre suscetibilidade, intensidade da precipitação e probabilidade. A autora considera a escala de três classes para a suscetibilidade morfométrica (alta, média e baixa) para definir a parcela de responsabilidade do comportamento geométrico das bacias hidrográficas no desencadeamento das inundações, levando em conta para tal os parâmetros morfométricos do terreno.

Segundo o IPT (2004), suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência.

Diversos autores utilizam diferentes métodos ao trabalhar com a temática da suscetibilidade como, por exemplo, Nakamura & Manfredini (2007) analisam a suscetibilidade associada a enxurradas por meio da análise das características físicas e antrópicas dos elementos que compõem e contribuem no processo de escoamento.

Lima (2010) aborda a suscetibilidade com base na análise da geomorfologia, solos e ação antrópica. O autor considera suscetibilidade como um ou mais atributos físicos que uma determinada área possui e que a torna potencialmente sujeita a ocorrência de desastres relacionados à dinâmica hídrica. Utiliza ainda a ação humana como agente intensificador da suscetibilidade, pois ao impermeabilizar o solo, por exemplo, o homem pode contribuir significativamente para uma alteração da dinâmica hídrica natural.

Brubacher *et al.* (2011) determinaram a suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, por meio da análise de variáveis morfométricas das sub-bacias, identificando a região do Paranhana como uma das que apresentaram mais características que favorecem ao rápido escoamento das águas, de acordo com os índices morfométricos. Essas características indicam a ocorrência de enchentes de curta duração nessas regiões, com possibilidade de enxurradas.

2.3 Inundação em áreas urbanas

As inundações possuem suas origens em processos naturais, sendo importantes na manutenção da dinâmica hidrológica e dos processos geomorfológicos. No entanto, quando esses processos se desenvolvem em ambiente urbanizado, uma série de fatores de influência antrópica podem potencializar a ocorrência de desastres.

O aumento da impermeabilização do terreno se destaca como a modificação gerada pela ocupação humana que promove as alterações mais importantes no ciclo hidrológico (Cavalheiro, 1995; Porto *et al.*, 2001). Outros fatores, como a canalização de cursos fluviais e a remoção da vegetação, desencadeiam ou agravam os processos de erosão e de inundações (Fritzen e Binda, 2011).

Segundo Britto e Silva (2006), poucos dos 250 rios existentes na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, ainda são visíveis. Isso acontece devido ao processo de ocupação urbana da cidade, que fez com que a maior parte deles fosse canalizada e coberta. Essa canalização, além de ser considerado sinônimo de desenvolvimento, por vezes é um meio de evitar o mau cheiro causado pela poluição.

Nas áreas urbanas, a impermeabilização do terreno é materializada pelas edificações e pavimentações inerentes ao crescimento das cidades, enquanto que, nas áreas rurais, pela substituição da vegetação natural por cultivos que, na maioria das vezes, diminuem a infiltração de água na superfície (Oliveira, 2010).

Castro (2003) define como alagamento a água acumulada no leito das ruas e no perímetro urbano em virtude de fortes precipitações, principalmente em cidades com sistemas de drenagens deficientes, fato que pode ser observado na área de estudo. Essa definição, segundo o autor, é utilizada especificamente para áreas urbanas, muitas vezes localizadas em regiões características da planície de inundação.

Tucci (2007) destaca que as enchentes em áreas urbanas podem ocorrer devido à urbanização ou à inundação natural da várzea ribeirinha. No primeiro caso, as inundações ocorrem devido à impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, entre outros; no segundo caso, se trata das enchentes naturais que ocupam os leitos de rios por falta de planejamento do uso do solo.

Bazzan (2011) realizou um mapeamento das áreas com risco de inundação no município de São Leopoldo/RS. O município de São Leopoldo está localizado a apenas 12 km do município de Esteio, o que faz com que os processos que ocorrem nas duas cidades sejam muito semelhantes. O objetivo do autor foi determinar a vulnerabilidade do uso e ocupação urbana no município. Para tanto, utilizou pesquisa documental e imagens de satélite.

Oliveira (2010) gerou modelos de previsão e espacialização das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí/RS, em diferentes escalas de detalhamento, a partir de dados hidrológicos, topográficos e de sensoriamento remoto, além de mapeamento com informações coletadas em campo.

Fernandez e Lutz (2010) realizaram um zoneamento do perigo de inundação urbana para as cidades de Yerba Buena e Tucumán, na Província de Tucumán, na Argentina, devido à recorrência de inundações nas duas cidades. Os autores destacam o fato de que as áreas mais afetadas nas cidades são conjuntos habitacionais localizados em áreas anteriormente permeáveis.

Muitas vezes, as inundações urbanas são ocasionadas nas bacias de pequeno porte, de alguns quilômetros quadrados, de córregos e arroios que cortam os municípios, muitos dos quais afetados por ações antrópicas, como os impactos do elevado número de habitações no entorno ou mesmo a canalização do canal, o que altera a velocidade de escoamento natural.

Este tipo de inundação (em áreas urbanas) está exemplificado no trabalho de Lima (2010), realizado na bacia hidrográfica do arroio Dilúvio em Porto Alegre, com 80 km², que

atravessa uma região densamente urbanizada; para o estudo, o autor realizou uma análise ambiental com ênfase geomorfológica, englobando fatores naturais e antrópicos.

2.4 Medidas Estruturais e Não estruturais

Os ambientes urbanos das cidades mais afetadas por inundações limitam a possibilidade de renaturalização do curso natural dos rios e arroios, de modo que as medidas de controle se tornam necessárias visando minimizar o extravasamento das águas para as áreas de risco.

Segundo Tucci (1997), o controle de inundações urbanas é um processo permanente que deve ser mantido pelas comunidades, visando a redução do custo social e econômico dos impactos. Os controles de inundações ribeirinhas podem ser realizados de duas maneiras: a) através de medidas estruturais (obras hidráulicas para reter, confinar ou escoar mais rapidamente a água das chuvas), como a construção de diques, de bacias de contenção de água e a canalização do escoamento superficial; b) através de medidas não estruturais (modelagens, mapeamentos, previsão e planejamento).

As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto que as medidas não estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes (Cordero *et al.*, 1999). Na Figura 7 são apresentadas, de forma sistemática, as diversas medidas de controle.

As medidas não-estruturais caracterizam-se geralmente por ações que abrangem a bacia como um todo, e são destinadas à redução dos efeitos das inundações ou à adaptação dos habitantes das áreas atingidas para uma melhor convivência com a ocorrência periódica desses fenômenos. Essas medidas têm caráter predominantemente preventivo, e dispensam a alocação de enormes quantias de recursos para a execução das ações estruturais (Oliveira, 2011).

Segundo Canholi (2005), as medidas adotadas para conter os problemas ocasionados por inundações quase sempre apresentam caráter localizado e imediatista. Os trechos dos canais ampliados reduzem os prejuízos das áreas afetadas; porém, devido a transferência de vazões, as inundações agravam-se para jusante e às planícies utilizadas pelos rios ou córregos nas cheias, suprimidas pelas obras de urbanização, serão sempre requeridas a jusante.

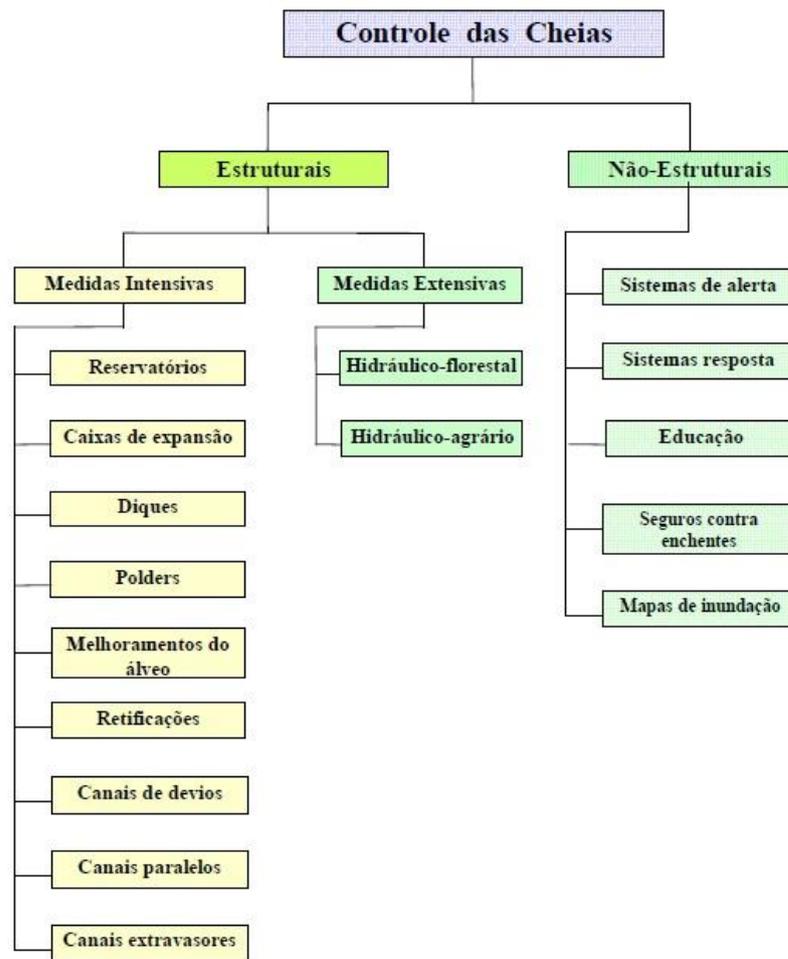


Figura 7 - Medidas para controle de inundações (Cordero et al., 1999)

2.4.1 Bacias de contenção

As bacias de contenção podem ser consideradas medidas estruturais de controle de cheias do tipo intensivo, ou seja, agem diretamente no curso de água e objetivam diversas formas de controle, dependendo do tipo de obra. Dessa forma, os reservatórios são construídos para reter parte da onda de cheia durante a fase de crescimento da onda e restituir esse volume ao curso de água durante a fase de recessão da cheia ou logo após a onda de cheia ter passado (Cordero *et al*, 1999).

Segundo Tucci (1995), os reservatórios de detenção (ou de retenção) são uma das formas de controle de escoamento na microdrenagem tradicionalmente utilizada, e consiste em drenar a área desenvolvida através de condutos pluviais até um coletor principal ou riacho urbano.

Em geral, os diques e os reservatórios são mais apropriados em planícies de inundação que são utilizadas antropicamente de forma mais intensiva. Nessas áreas, as estruturas à prova de inundação e as medidas de proteção das linhas de comunicação podem reduzir seus efeitos debilitantes para a economia (Barbosa, 2006).

O objetivo dessas bacias é minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica, no entanto, esse tipo de solução acaba transferindo para jusante o aumento do escoamento superficial com maior velocidade, já que o tempo de deslocamento do escoamento é menor do que nas condições preexistentes.

A diferença entre as bacias de detenção e retenção se dá pelo fato de que, as bacias de detenção, que podem conter uma lâmina d'água ou mesmo ser secas, liberam o volume de água de forma levemente mais rápida do que as bacias de retenção. No entanto, para a Engenharia Sanitária, os termos detenção e retenção costumam ser sinônimos (CORSINI, 2014).

A bacia de detenção a ser instalada na região da sub-bacia do arroio Sapucaia será do tipo para controle de vazão máxima, ou seja, desenvolvida para atuar contra o efeito de inundações em áreas urbanas, de modo que o reservatório possa amortecer o pico a jusante, reduzindo a seção hidráulica dos condutos e mantendo as condições de vazão preexistentes na área.

2.5 Projeto de Renaturalização do arroio Sapucaia

O projeto de renaturalização do arroio Sapucaia teve início em junho de 2010. O projeto foi viabilizado com recursos do PAC (Programa de Aceleração ao Crescimento) do Governo Federal, no valor de 19,5 milhões de reais, sendo que desses, 1 milhão de reais foi dado como contrapartida pela prefeitura de Esteio.

Segundo Escher (2010), o Projeto de renaturalização do arroio Sapucaia está descrito como “Projeto urbanístico e paisagístico de reestruturação da malha urbana do município de Esteio e renaturalização do arroio Sapucaia, através da recuperação da sua vegetação natural”.

Entre os principais objetivos do projeto, se destacam: a proteção dos bairros da região sul de Esteio dos constantes transbordamentos do arroio Sapucaia, com plantio de árvores nativas, além de promover a integração viária e uma "nova entrada" para a cidade de Esteio, inserir o meio de transporte não motorizado (ciclotrilha) e transformar o arroio em pólo turístico para a comunidade e visitantes (Escher, 2010).

Além do projeto paisagístico, de mobilidade e de contenção de enchentes, o projeto previa a construção de condomínios para o assentamento de 142 famílias ribeirinhas, pelo programa Minha Casa Minha Vida.

Apesar das obras terem iniciado em 2010, o estudo que permitiu a Prefeitura estabelecer a melhor alternativa para o controle de inundações foi realizado em 2006, pelo IPH-UFRGS, a título de anteprojeto, para a concepção dos subsistemas de drenagem dos arroios Esteio e Sapucaia. O estudo foi encomendado pela Prefeitura de Esteio após os frequentes casos de inundações desde a década de 1990.

A Avenida Brasil foi construída para funcionar como dique para o arroio Sapucaia, além de desafogar o trânsito no centro da cidade. No entanto, embora enfoque a visão do desenvolvimento de baixo impacto e os princípios ecológicos, o revestimento de 650 metros do canal do arroio Sapucaia, com a construção de um dique de 1.800 metros ao longo do arroio, provoca o questionamento em relação ao título de "renaturalização".

Após a inauguração da Avenida Brasil, ocorrida em 20 de dezembro de 2015, Esteio deu início a mais uma obra, em conjunto com o município de Canoas, para combater inundações. No dia 11 de janeiro de 2016, uma equipe iniciou a construção do revestimento de concreto da base do arroio Sapucaia sob a ponte da Avenida Presidente Vargas. O revestimento de concreto tem como objetivo dar mais velocidade as águas, evitando o represamento das águas (Prefeitura de Esteio..., 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução dos objetivos propostos nesse trabalho, foi definida a metodologia explicitada no seguinte fluxograma (Figura 8):

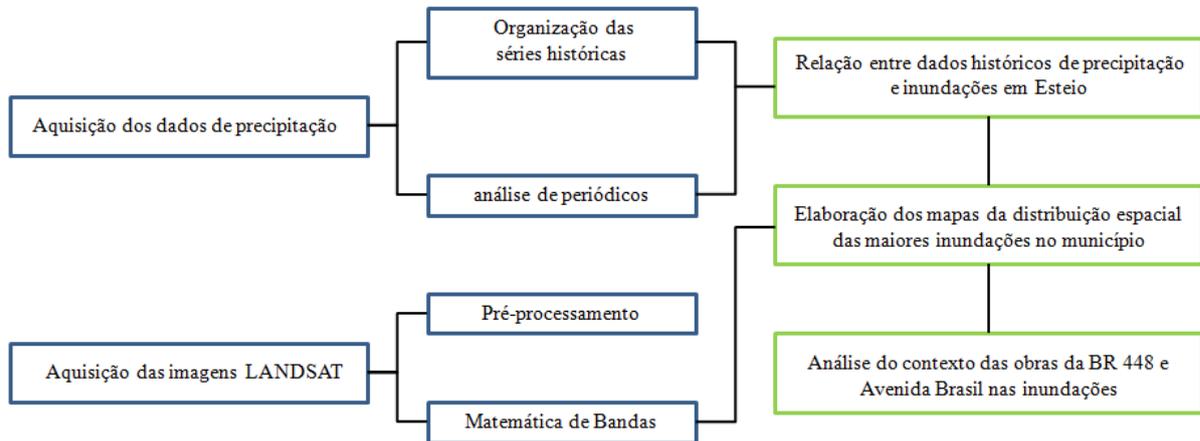


Figura 8 - Fluxograma simplificado do desenvolvimento do trabalho

3.1 Material

Para alcançar os objetivos propostos foram utilizados os seguintes materiais:

a) Dados SRTM, com resolução 30 m, disponibilizados pela NASA a partir de 2014 para toda a América Latina; <http://earthexplorer.usgs.gov/>

b) Dados da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) – Curvas de nível, pontos cotados, hidrografia e banhados – digitalizados e vetorizados;

c) GPS de navegação, com precisão de posicionamento aproximada de 10m, disponibilizado pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS);

d) Séries históricas de precipitação de postos pluviométricos disponíveis no portal HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas, compreendendo um período de 1984 a 2014;

e) Software ArcGIS 10.3; IDRISI Selva; Google Earth PRO; ArcGIS Earth;

f) Imagens Landsat, sensor *Thematic Mapper* (TM), órbita 221, ponto 081, bandas 2 e 5, obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

- g) Cotas fluviométricas da régua linimétrica operada pela CPRM (Companhia de Recursos Minerais) em São Leopoldo (Figura 9);
- h) Periódicos de grande circulação na região.



Figura 9 - Régua linimétrica com cota fluviométrica máxima de 6 m. Fonte: Bazzan, 2011.

3.2 Análise das inundações na região do baixo rio dos sinos

Para a realização do trabalho, foram utilizadas imagens do satélite/sensor Landsat-5/TM, órbita/ponto 221/081, que compreendem o município de Esteio/RS, considerando as datas 19/11/1990, 3/03/2004 e 01/10/2007. Essas cenas foram obtidas do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e foram escolhidas de acordo com o percentual de cobertura de nuvens na cena, devido à dificuldade de se obter imagens, principalmente considerando a análise de um período chuvoso, com baixa quantidade de nuvens.

Visando a análise pluviométrica da região, foi utilizada a série histórica de precipitação de posto pluviométrico 83967, operado pelo INMET, no município de Porto

Alegre, disponibilizado pelo portal HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas. Os dados foram manipulados no software Hidro e uma planilha exportada para o software EXCEL.

Na etapa de pré-processamento, as imagens foram processadas no software ArcGIS10.3, georreferenciadas e exportadas para que cada imagem de cada banda ficasse com a definição 32 Bit Float, para que os resultados da álgebra de bandas no software pudesse apresentar o resultado em valores decimais entre -1 e +1.

A data de 01/10/2007 está compreendida em um período relativamente úmido, a precipitação nos 30 dias antecedentes à imagem foi de 246,4 mm. A régua linimétrica com cota fluviométrica no município de São Leopoldo, que fica a cerca de 12 Km do município de Esteio, chegou a cinco metros, limiar que de acordo com Bazzan (2011), é o suficiente para provocar inundações no rio dos Sinos. Durante os seis dias anteriores à imagem, a média do rio se manteve em cinco metros.

A data de 19/11/1990, também compreendida em um período relativamente úmido, com precipitação acumulada de 231,1 mm nos 30 dias anteriores. Já as datas 30/08/1984 e 30/03/2004 possuem um acúmulo de precipitação relativamente pequeno, com 27,9 e 27,7 mm, respectivamente.

Segundo Ji et al. (2009), o índice espectral para determinação de água é um número único, derivado de uma operação aritmética (que pode ser proporção, diferença ou diferença normalizada) de duas ou mais bandas espectrais. A concepção de um índice espectral de água foi baseada no fato de que a água absorve energia em comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR/IVP) e ondas curtas de infravermelho (SWIR/infravermelho médio).

Essa operação, além de melhorar os sinais espectrais, contrastando a reflectância entre diferentes comprimentos de onda, também é capaz de diminuir ruídos nas imagens, muitas vezes causados por iluminação, topografia e condições atmosféricas.

Adotando o formato de diferença normalizada da vegetação (NDVI), McFeeters (1996), desenvolveu o índice de água por diferença normalizada como:

$$NDWI = (p_{green} - p_{IVP}) / (p_{green} + p_{IVP}) \quad (1)$$

Em que: p_{green} e IVP são as bandas de reflectância do verde e infravermelho próximo, respectivamente.

A fórmula geral do NDWI é expressa como a diferença normalizada entre a faixa verde e NIR banda (ou SWIR). A razão para o uso da faixa verde, em vez da banda de vermelho é que o solo e vegetação têm uma reflectância similar na banda do verde, no entanto, tem uma reflectância de vegetação muito mais baixa na faixa vermelha do solo devido à absorção de clorofila na vegetação verde. Portanto, a faixa verde é relativamente insensível aos componentes de fundo.

Xu (2006) observa que Mcfeeters não foi capaz de separar completamente as demais características do terreno em relação aos recursos hídricos. O NDWI proposto por McFeeters apresenta valores positivos em características construídas que eram semelhantes à água, porque a reflectância do IVP foi menor do que a reflectância do pgreen. Para compensar as desvantagens do NDWI de McFeeters, Xu (2006) propôs substituir a faixa do IVP pela faixa do SWIR, gerando o MNDWI (índice de água por diferença normalizada modificada):

$$\text{MNDWI (Xu, 2006)} = (\text{pgreen} - \text{pSWIR}) / (\text{pgreen} + \text{pSWIR}) \quad (2)$$

Em que: pgreen e pSWIR são as bandas de reflectância do verde e infravermelho médio, respectivamente.

Lacaux et al. (2007) desenvolveram um índice de diferença normalizada para lagos (NDPI) para classificar lagos na África Ocidental. O NDPI é expresso como a diferença normalizada do SWIR e a reflexão do pgreen:

$$\text{NDPI (Lacaux et al, 2007)} = (\text{pSWIR} - \text{pgreen}) / (\text{pSWIR} + \text{pgreen}) \quad (3)$$

Em que: pSWIR e pgreen são as bandas de reflectância do infravermelho médio e do verde.

3.3 Análise da distribuição espacial das inundações no município de Esteio

A partir da análise das inundações na região do baixo rio dos Sinos, foram utilizados pelo menos dois períodos, nos quais haviam ocorrido inundações de grande relevância, para a realização do mapa de distribuição espacial das inundações no município de Esteio. O propósito da realização desses mapas será traçar um panorama das inundações em relação à ocupação do espaço no município.

Para essa análise, a metodologia utilizada terá o auxílio de pesquisas de campo e análise de periódicos, buscando um maior entendimento das áreas atingidas por inundações, além da utilização de GPS para demarcação dessas áreas e comparação entre a distribuição espacial dos eventos de inundação. A utilização dos dados interpolados de precipitação para a bacia do rio dos Sinos se faz importante uma vez que, dessa forma, será possível avaliar as condições do terreno anteriores às chuvas responsáveis por causar as inundações estudadas.

3.4 Contexto das obras viárias nas inundações do município

Esse item será abordado com base nas informações contidas no EIA-RIMA da obra da BR 448 e nos documentos e informações adquiridas em relação ao andamento e objetivos da obra da Avenida Brasil. A análise se dará em torno das áreas a ser beneficiadas com a construção de um dique de contenção de cheias e os documentos que apresentam informações gerais relativas as obras.

O município de Esteio é interceptado pela BR 448 na parte Oeste, relativamente próximo a margem esquerda do rio dos Sinos. De acordo com o EIA-RIMA da obra, parte do município se enquadra tanto na Área de Influência Direta quanto na Área de Influência Indireta. De modo que o estudo considera a dimensão dos principais impactos quanto as seus aspectos físicos, biológicos, sociais, econômicos e culturais.

Em relação aos aspectos físicos abordados, o estudo das características hidrogeológicas e dos recursos hídricos, disponível nos documentos, é o que apresenta maior importância para essa dissertação, visto que deve ter incluído a previsão do comportamento dos arroios Esteio e Sapucaia, assim como o escoamento das águas para o rio dos Sinos.

Com base nas análises das inundações e da distribuição espacial das inundações, a Avenida Brasil também será analisada, do ponto de vista dos objetivos iniciais da execução da obra e a avaliação dos resultados preliminares alcançados até o momento, de modo que essa dissertação aborde tão somente a relação entre as obras e as inundações, sendo que não está entre os objetivos a análise construtiva da obra.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Precipitação e ocorrência de eventos extremos em Esteio

Os dados de chuva disponibilizados pela estação meteorológica de Porto Alegre 83697, operada pelo INMET, localizada a 15 km de Esteio, podem ser vistos nas suas médias mensais e anuais nas Figuras 10 e 11. Para a realização do cálculo das médias, foram utilizados os anos entre 1984 e 2015, em consonância com as imagens disponíveis pelo satélite LANDSAT, desconsiderados os anos que continham dados incompletos ou inconsistentes.

A precipitação anual média entre os anos de 1984 e 2015 foi de 1449,5 mm. Os anos que apresentaram maior precipitação acumulada foram os anos de 1987, 2002 e 2015, com 1751 mm, 1707 mm e 1815 mm, respectivamente. Os anos que apresentaram menor precipitação acumulada foram os anos de 1988, com 1059 mm, e 2006, com 1144 mm (Figura 10).

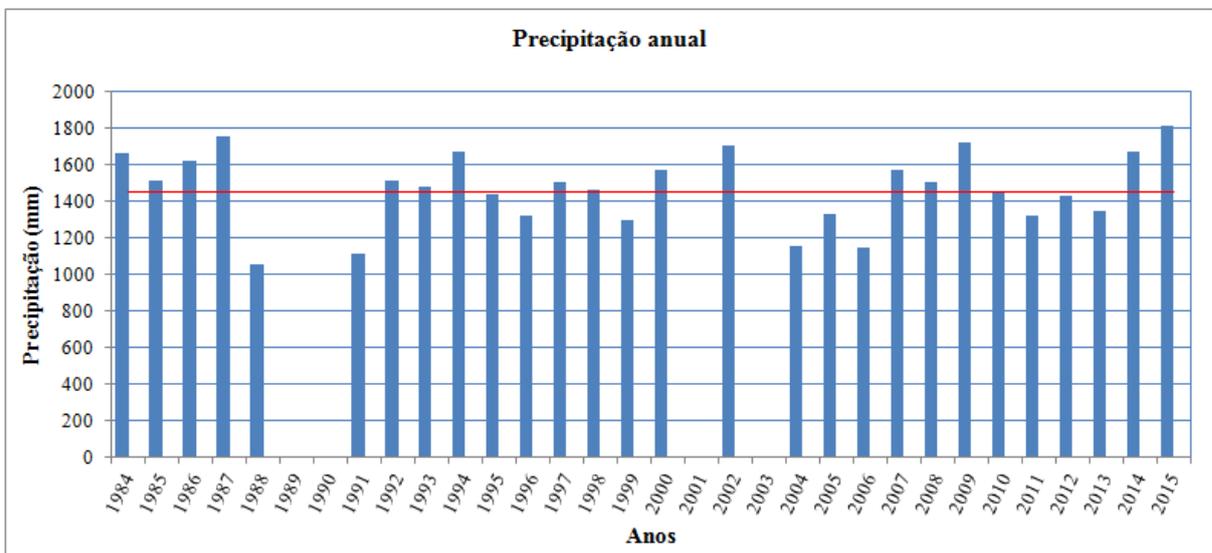


Figura 10 - Precipitação Média Anual entre 1984 e 2015, estação meteorológica de Porto Alegre/RS

A Figura 11 demonstra o comportamento médio mensal das chuvas durante o período compreendido entre 1984 e 2015. De acordo com o gráfico, os meses de junho a outubro são os mais chuvosos, enquanto fevereiro e março apresentam uma média de chuvas

relativamente menor. Nos meses de julho e setembro, as precipitações médias foram de, respectivamente, 150 mm e 151 mm. Nos meses de fevereiro e março os valores foram de 106,6 mm e 98,9 mm.

Essa característica não é diferente da média de chuvas calculada para a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, segundo Brubacher *et al.* (2012), no qual os autores destacam o período entre junho e outubro como o mais chuvoso, com uma média de 147 mm por mês, e o período entre outubro e março como menos chuvoso e marcado por chuvas convectivas, ou seja, geralmente de ocorrências mais localizadas.

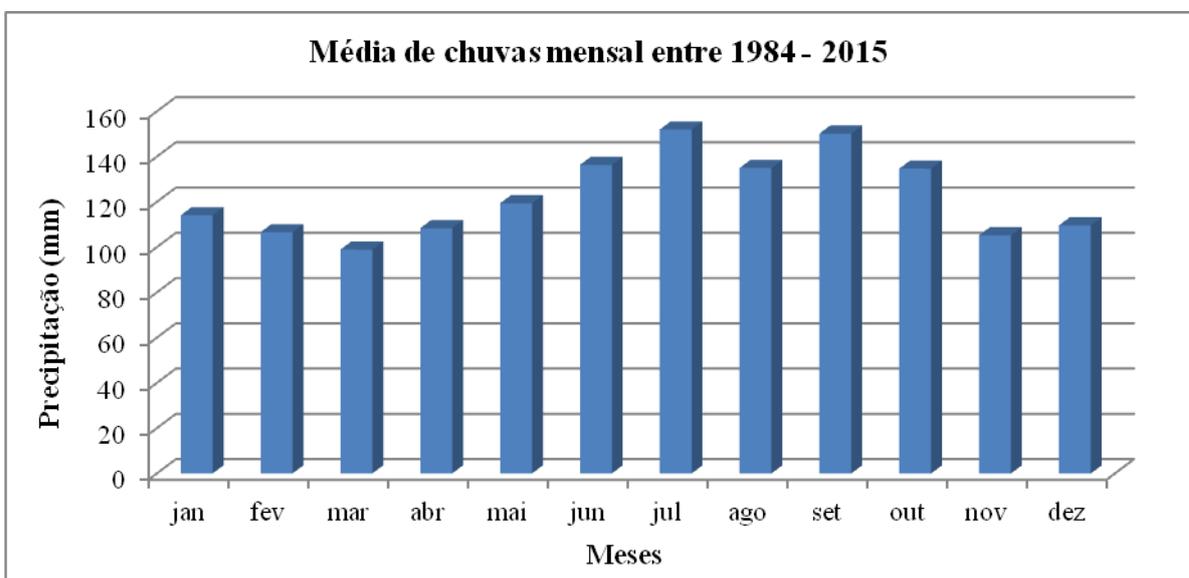


Figura 11 - Precipitação Média Mensal entre 1984 e 2015, estação meteorológica de Porto Alegre/RS.

Segundo matéria do Jornal Eco dos Sinos (Esteio terá..., 2015), as frequentes inundações que atingem o município de Esteio são um problema histórico, desde quando os arroios Esteio e Sapucaia fluíam livres, sem quaisquer obstáculos, há mais de 50 anos. Embora os relatos de antigos moradores careçam de documentos comprobatórios, não se pode ignorar o fato de que boa parte do município era considerada área de banhado e, conseqüentemente, sujeita a inundações frequentes.

Entre 1984 e 2015, o município de Esteio contabilizou um crescente número de desastres em função da elevação dos arroios, o que nem sempre se dá simplesmente pela precipitação elevada; muitas vezes os desastres são conseqüências de falhas no escoamento

nos cursos de água, provocadas, entre outros fatores, pelos pontos de bloqueio na drenagem e excesso de lixo nas galerias.

A Tabela 3 apresenta uma análise mais detalhada dos maiores eventos de precipitação. Para a elaboração da tabela, foram selecionadas somente as chuvas acumuladas superiores aos valores correspondentes a um Tempo de Retorno de 5 anos (Tabela 2, elaborada para a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, segundo Brubacher *et al* (2012)).

Tabela 2 – Valores de precipitações a partir do Tempo de Retorno, bacia do rio dos Sinos (Brubacher et al, 2012).

Precipitação (mm) para períodos (de 1 a 5 dias)					
TR (anos)	1 DIA	2 DIAS	3 DIAS	4 DIAS	5 DIAS
5	77	104	124	138	153
10	88	118	140	156	175
20	99	131	157	174	195
50	113	148	177	196	222
100	123	161	193	213	242

Os meses de abril, setembro e outubro foram os que apresentaram, segundo a Tabela 3, a maior quantidade de eventos extremos de precipitação. O período compreendido pelos meses de abril a outubro (meses mais frios) é o predominante, com 24 das 30 ocorrências. É importante ressaltar que a localização da estação pluviométrica pode influenciar os resultados, considerando uma análise extremamente local no município de Esteio, no entanto, a ausência de dados no município força a busca por estações mais próximas do mesmo.

De acordo com pesquisa documental, nem todos os eventos extremos apontados na Tabela 3 resultaram em desastres. No entanto, segundo pesquisa documental em periódicos, alguns eventos se destacam como grandes inundações no município, o que não reflete, necessariamente, na quantidade de precipitação.

As chuvas causadas em 08/10/2005 somaram 79,9 mm, o que foi o suficiente para provocar uma grande inundação no município, principalmente entre os trechos dos arroios

Esteio e Sapucaia. Esse evento resultou, inclusive, em uma ação movida contra o município por danos morais e materiais, indeferida pelo órgão competente. Esse é um dos eventos que resultou na solicitação do estudo de drenagem ao IPH-UFRGS, essencial para as obras recentes no município. A Tabela 4, que representa a precipitação máxima em 24 horas do Aeroporto da Base Aérea de Canoas, localizada mais próxima ao município de Esteio, corrobora os valores de precipitação em outubro de 2005.

Outros eventos que podem ser destacados de acordo com a Tabela e a pesquisa documental são as inundações ocorridas em agosto de 2013, outubro de 2013 e julho de 2015, ocorridas já com a Avenida Brasil em construção, e que resultaram, segundo relatos de moradores, em uma mancha de inundação, até então, nunca vista.

O principal local afetado por essas inundações foi justamente as áreas entre os arroios Esteio e Sapucaia, o que levou os moradores a questionarem as obras da Avenida Brasil e da BR 448. Em relação ao evento de julho, que vai ser tratado no próximo item, a Prefeitura de Esteio divulgou os dados de precipitação, para o período entre 13 e 22 de julho, que divergem dos dados colhidos pela estação pluviométrica de Porto Alegre. Nos dados divulgados pela prefeitura de Esteio, a chuva ocorrida entre a noite do dia 12 de julho para a manhã do dia 13 de julho, a precipitação somou 141,8 mm, mais do que o dobro do registrado em Porto Alegre.

Tabela 3 - Ocorrência de eventos extremos, estação meteorológica 83967

Data do evento	5 dias	4 dias	3 dias	2 dias	1 dia
13-17/04/1984	153,4	147,2			
16-20/05/1984	162,9		135,2		
15-19/06/1984	172,8	147,6	134	134	
23-26/12/1985		146,5	141	141	
16/03/1986					82,7
12-15/09/1986		140,5			
12/09/1990					94,5
03-08/10/1990	155,2				
12-15/04/1991	158,8	150,3	137,7		
17-18/04/1991				112,8	93
19-23/01/1992	164,5	158,5	135,3		
24-25/09/1992				112,8	
12-15/11/1993		146	144,5	105,1	
23-24/12/1995				112,8	
10/06/1999					95,1
27/07/2002					81,3
25-26/10/2003				107,3	
01/04/2005					84
08/10/2005					79,7
06-10/06/2007	158,5		128,5	124	
27-30/04/2008	179,8	151,4			
29/04-03/05/2008	164,5	160,4	157,8	156	149,6
04-08/08/2009	168,3	168,3	167,8	107,2	
11-15/09/2012	214,6	214,6	190,5		
17-18/09/2012				162,5	85,4
19-23/08/2013	169,9	157,8	127,3		
08-11/11/2013			137,8	137,6	105,5
04/07/2014					95,5
14-17/10/2014			124,6		80,3
13-17/07/2015	141,4	129,3	107	100,5	
07-08/10/2015	174,5	171,2	138,8	105,1	83,1

Tabela 4 - Precipitação máxima em 24 horas 1991-2010².

Data	Precipitação (mm)
07/10/2005	61,5
04/11/2005	52,6
10/06/2007	64,4
23/09/2007	49
11/02/2008	35,1
13/04/2008	62,2
02/05/2008	74,6
29/07/2008	55,8
19/01/2009	61
02/03/2009	40,4
09/08/2009	49,1
11/12/2009	58,2

Fonte: Dados da Tabela Climatológica do Aeroporto de Canoas

A dinâmica das inundações do município depende da quantidade de precipitação, mas principalmente da localização das chuvas acumuladas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Em caso de um acúmulo maior de chuvas nas nascentes do rio dos Sinos, como na região do Paranhana e Alto Sinos, por exemplo, a elevação do Sinos pode demorar até alguns dias para chegar ao município de Esteio, sendo que, eventualmente, não causa maiores danos ao município.

No entanto, quando os maiores acúmulos de precipitação ocorrem nas cabeceiras da sub-bacia do arroio Sapucaia, a chance de os arroios que passam pelo município atingirem as residências aumenta consideravelmente. O efeito das chuvas concentradas nas cabeceiras dos Sinos com a consequente elevação do mesmo, pode dificultar o escoamento das águas dos arroios Esteio e Sapucaia, caso esses também estejam acima de seu nível comum, provocando remanso das águas, que sem ter para onde escoar, extravasam do seu leito. Nestes casos, são atingidos principalmente os bairros São José, Navegantes, Ezequiel e as Moradas de Esteio 1 e 2.

4.2 Espacialização das inundações utilizando MNDWI e NDPI

Nos comprimentos de onda do infravermelho, a maior parte da resposta espectral da radiação que chega à água é absorvida. Desse modo, a utilização do infravermelho médio se configura em uma boa alternativa no estudo de inundações. Na faixa do visível, na banda do verde, utilizada nas equações de MNDWI e NDPI, há maior penetração da luz no fundo da água.

A Tabela 5 apresenta a precipitação acumulada para as quatro datas selecionadas, considerando um período de precipitação acumulada de 5 e 30 dias, e as médias dos valores de pixels de MNDWI para o município de Esteio e apenas para a área a Oeste da BR 116, considerando à área de várzea do rio dos Sinos.

Tabela 5 - Precipitação acumulada em 5 e 30 dias; Médias de MNDWI para o município de Esteio e para a área de várzea

DATA	30/08/1984	30/03/2004	19/11/1990	01/10/2007
MNDWI Médio	-0,33	-0,33	-0,31	-0,11
MNDWI Médio na área de várzea	-0,31	-0,31	-0,29	0,19
Precipitação acumulada (mm) 5 dias	0	3,3	68,7	6,7
Precipitação acumulada (mm) 30 dias	27,9	27,4	231,1	174,9

Os resultados apontam as datas de 30/08/1984 e 30/03/2004 com baixa precipitação acumulada no período de 30 dias, ou seja, relativamente mais secas, em comparação com as datas 19/11/1990 e 01/10/2007. Embora a precipitação acumulada em 5 dias para a data 01/10/2007 possa ser considerada baixa, a precipitação considerando os 30 dias anteriores demonstra um acúmulo que pode influenciar na planície de inundação. Esses dados são importantes para avaliar a influência da precipitação em relação às inundações.

Em relação às comparações entre os índices MNDWI e NDPI, os resultados das médias dos valores dos pixels são opostos, ou seja, a mudança na ordem dos fatores (no caso, bandas 2 e 5 do satélite LANDSAT) modifica o sinal da resposta da equação de cada pixel. Como nesse tipo de cálculo o intervalo de resposta será entre -1 e +1, no NDPI, um corpo de água será dado pelo valor mais próximo de -1, enquanto que no MNDWI, corpo de água será dado pelo valor mais próximo de 1, o que pode ser visualizado na análise das imagens das Figuras 11 e 12.

Na Figura 12, as quatro imagens representam o índice MNDWI, sendo duas com baixa precipitação acumulada em 30 dias e duas com precipitação mais elevada. O contraste entre as imagens é perceptível, principalmente, na imagem relativa à data de 01/10/2007. Embora a precipitação acumulada em 30 dias seja menor do que na data de 19/11/1990 (c), ao analisarmos a bacia hidrográfica como um todo, ocorreu precipitação de 220.7 mm na região de montante, favorecendo a elevação das águas na área do baixo rio dos Sinos, chegando ao ponto de inundar a área do município a oeste na planície de inundação do rio dos Sinos.

Outro fator importante na análise da imagem do dia 01/10/2007 se refere ao valor do MNDWI médio, bastante superior às demais imagens. Embora a data 19/11/1990 apresente um acúmulo maior de precipitação, esse acúmulo não representou um extravasamento das águas do rio dos Sinos e dos arroios que cortam o município.

O valor médio de MNDWI se sobressai, principalmente, quando é considerado apenas a máscara da área a Oeste do município, que pega a parte da área de várzea do rio dos Sinos. Nesse caso, o valor médio de MNDWI chega a 0,19, o que ressalta a grande influência do cúmulo de água na área de várzea.

As imagens de 30/08/1984 e 30/03/2004, por outro lado, apresentaram o esperado, ou seja, praticamente não se observam áreas de acúmulo de água, a não ser nos meandros do rio dos Sinos. Esse fato se reflete nos valores de MNDWI, mais baixos do que nas imagens de 19/11/1990 e 01/10/2007, com uma média de -0.33.

Na Figura 13, as quatro imagens representam o Índice NDPI. O resultado inverso em relação ao MNDWI pode facilitar a compreensão da lâminas de água, de acordo com a necessidade do estudo, de forma que a utilização dos índices MNDWI ou NDPI pode ser complementar.

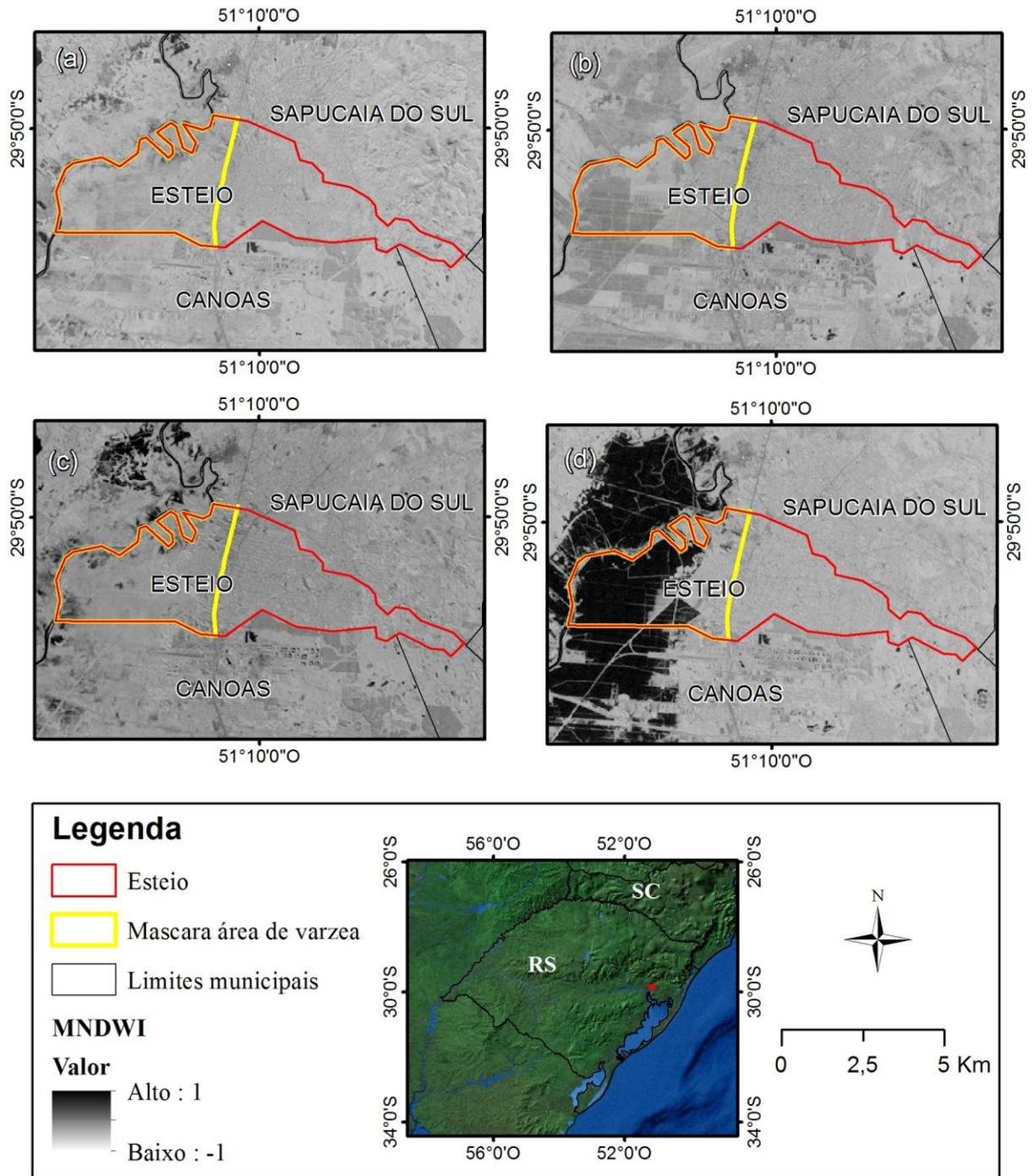


Figura 12 - Distribuição espacial de MNDWI para as datas: (a) 30/08/1984, (b) 30/03/2004, (c) 19/11/1990 e (d) 01/10/2007, município de Esteio - RS.

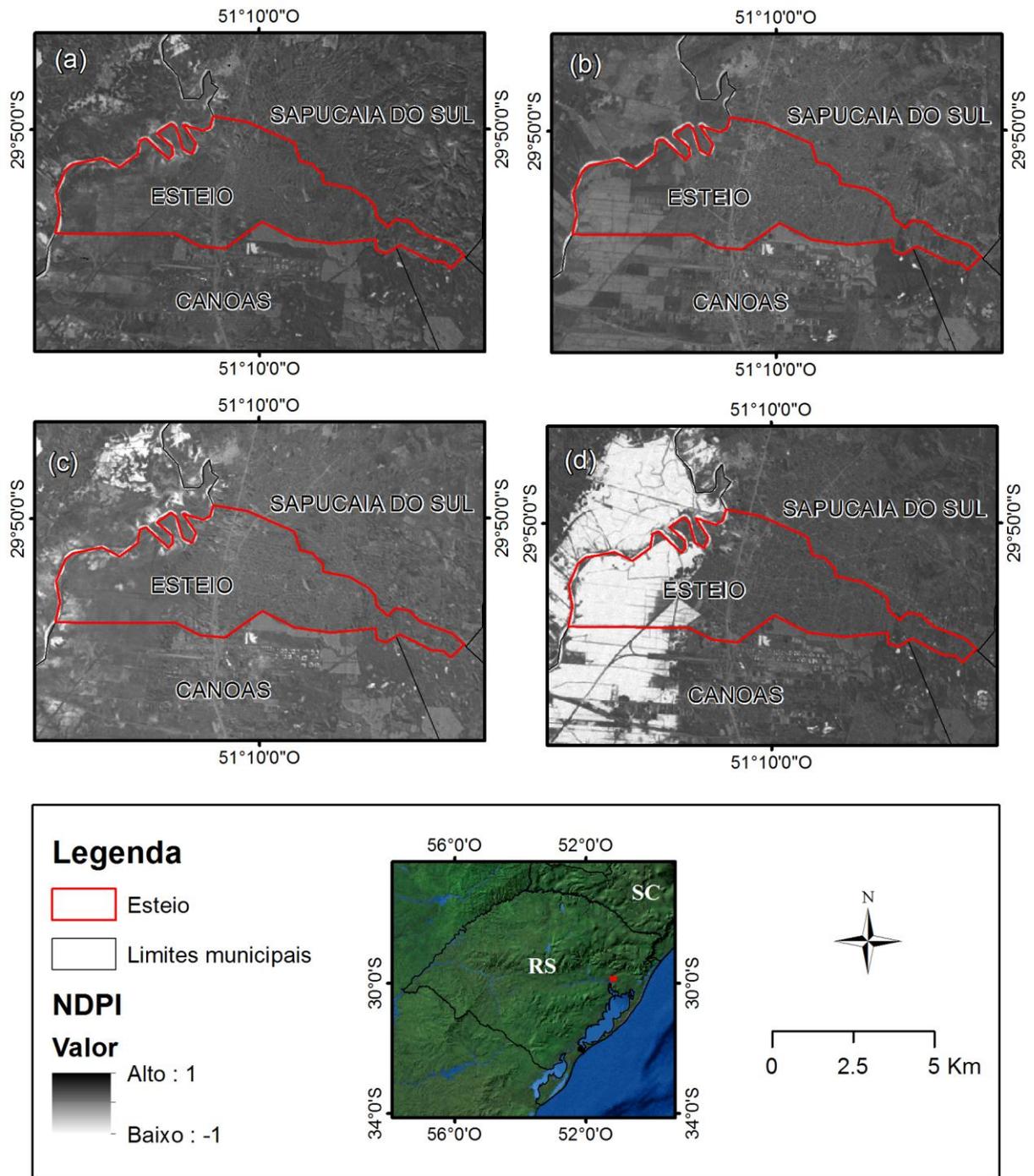


Figura 13 - Distribuição espacial de NDPI para as datas: (a) 30/08/1984, (b) 30/03/2004, (c) 19/11/1990 e (d) 01/10/2007, município de Esteio - RS.

Na Figura 14, está sobreposta a mancha de inundação da data 01/10/2007, na planície de inundação do rio dos Sinos, em relação à área do município de Esteio e dos municípios vizinhos. Nessa imagem, é possível ter noção do alcance da mancha, que aparece com cor mais escura, na Figura 12 (d).

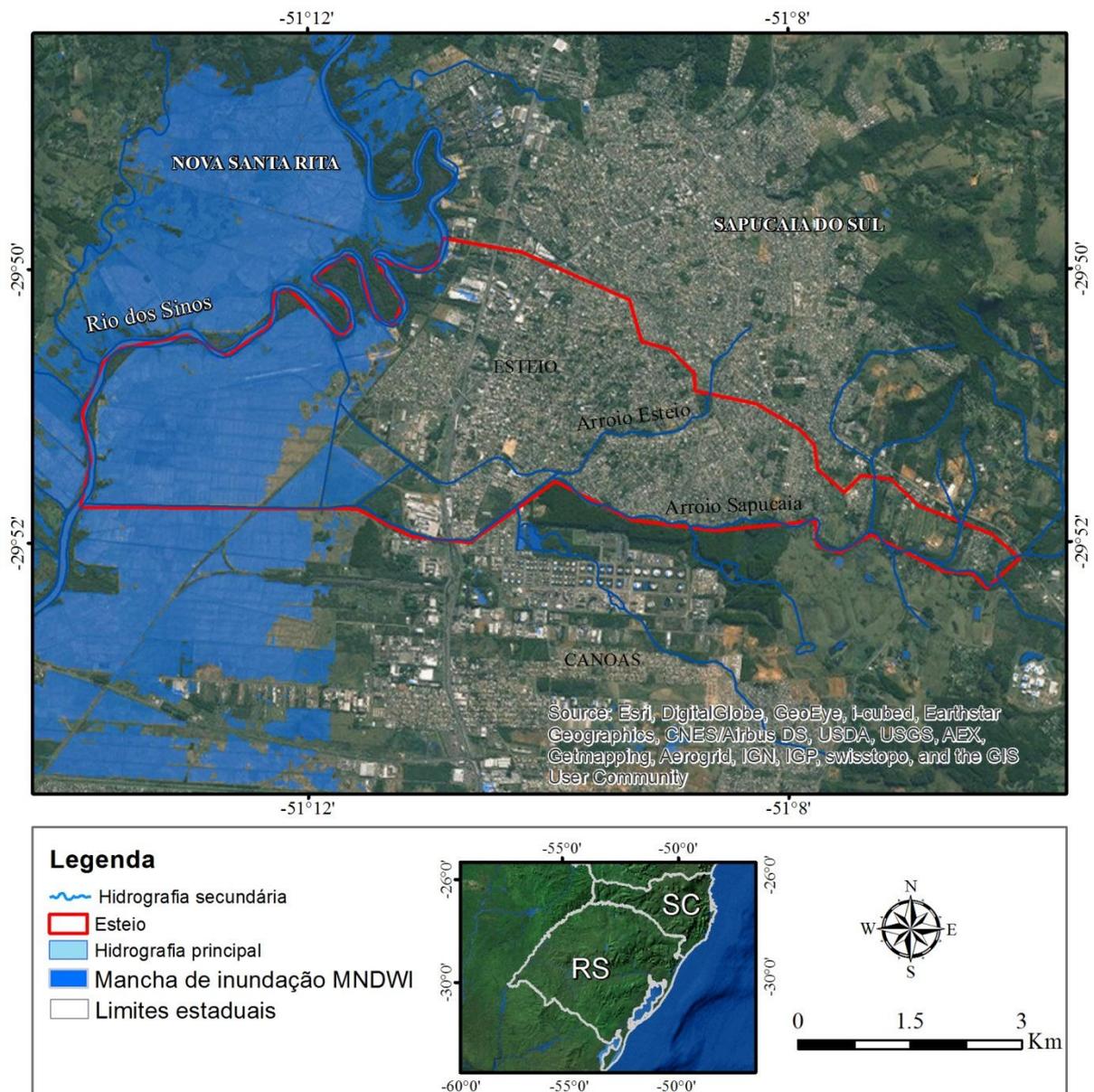


Figura 14 - Mancha de inundação a partir de MNDWI em 01/10/2007, município de Esteio - RS.

A mancha de inundação, observada na imagem da Figura 13, dá a real noção do alcance da inundação utilizando a imagem originada pelo índice MNDWI. Destaca-se a proximidade da mancha com a área urbana de esteio. Essa proximidade tem influência direta no escoamento dos arroios Esteio e Sapucaia, principais fontes de inundação das áreas urbanas no município.

Por se tratarem de arroios de pequeno porte, torna-se difícil a identificação dos canais dos arroios Esteio e Sapucaia por meio da imagem LANDSAT. O arroio Sapucaia, por

exemplo, apresenta uma variação na sua largura de cerca de 2 a 6 metros. A vazão média do arroio Sapucaia, embora possa variar consideravelmente em eventos extremos de precipitação, fica em torno de 0,45 m³/s no ponto anterior a jusante do arroio Guajuviras (que conta com despejo de efluentes da REFAP); e 0,39 m³/s no ponto logo após a foz do arroio Guajuviras (Franzen, 2001).

Por meio da análise dos dados de precipitação, é possível perceber que não existiram fortes chuvas nos cinco dias anteriores à imagem de 01/10/2007, no entanto, segundo dados do jornal Correio do Povo, a elevação das águas em São Leopoldo chegou a 6 metros, o suficiente para causar inundações em diversas localidades da região do baixo Sinos.

No município de Novo Hamburgo, 25 km a montante, o pico de inundação 27/09/2007, ou seja, na data da imagem o rio já estava recuando, mesmo assim, a mancha de inundação ficou bem explícita na região da várzea do rio dos Sinos, na Figura 14. Embora as chuvas não tenham sido suficientes para causar inundações na área urbana do município entre os arroios Sapucaia e Esteio, os bairros mais próximos ao rio dos Sinos, como Três Portos e Novo Esteio, foram atingidos pela elevação do rio dos Sinos.

Para efeitos de comparação, a imagem de 30/04/2004, por exemplo, apresenta somente a linha referente ao rio dos Sinos, ou seja, com toda planície de inundação seca dentro da área do município. A utilização de uma imagem LANDSAT como essa pode, inclusive, ser de grande relevância na delimitação de cursos de água, desde que os mesmos não tenham grandes interferências da vegetação, de modo a não ter a resposta espectral da água alterada pelo efeito dossel.

O escoamento dos arroios Esteio e Sapucaia em direção ao rio dos Sinos pode ser afetado em um momento de cheia do rio, provocando o efeito de remanso das águas, fazendo que os mesmos inundem boa parte da região em torno dos arroios. Esse fato, aliado aos pontos de bloqueios encontrados em diversos pontos dos arroios (pontes, drenagem insuficiente, excesso de lixo...), é apenas um dos fatores que fazem com que o entorno dos arroios seja suscetível a inundações.

A área do município compreendida pela mancha de inundação é equivalente a 7,76 km². Mesmo que a maior parte se encontre na área de várzea do rio dos Sinos, é importante destacar que os pontos de bloqueio que existem em relação aos arroios Sapucaia e Esteio, em conjunto com a área de várzea inundada, auxiliam no efeito de remanso dos arroios, que faz

com que as águas não escoem livremente para o rio dos Sinos. A Figura 15 demonstra dez pontos de bloqueio ao longo dos arroios Esteio e Sapucaia; estão considerados na Figura até mesmo os pontos onde foram construídas as novas galerias de escoamento.

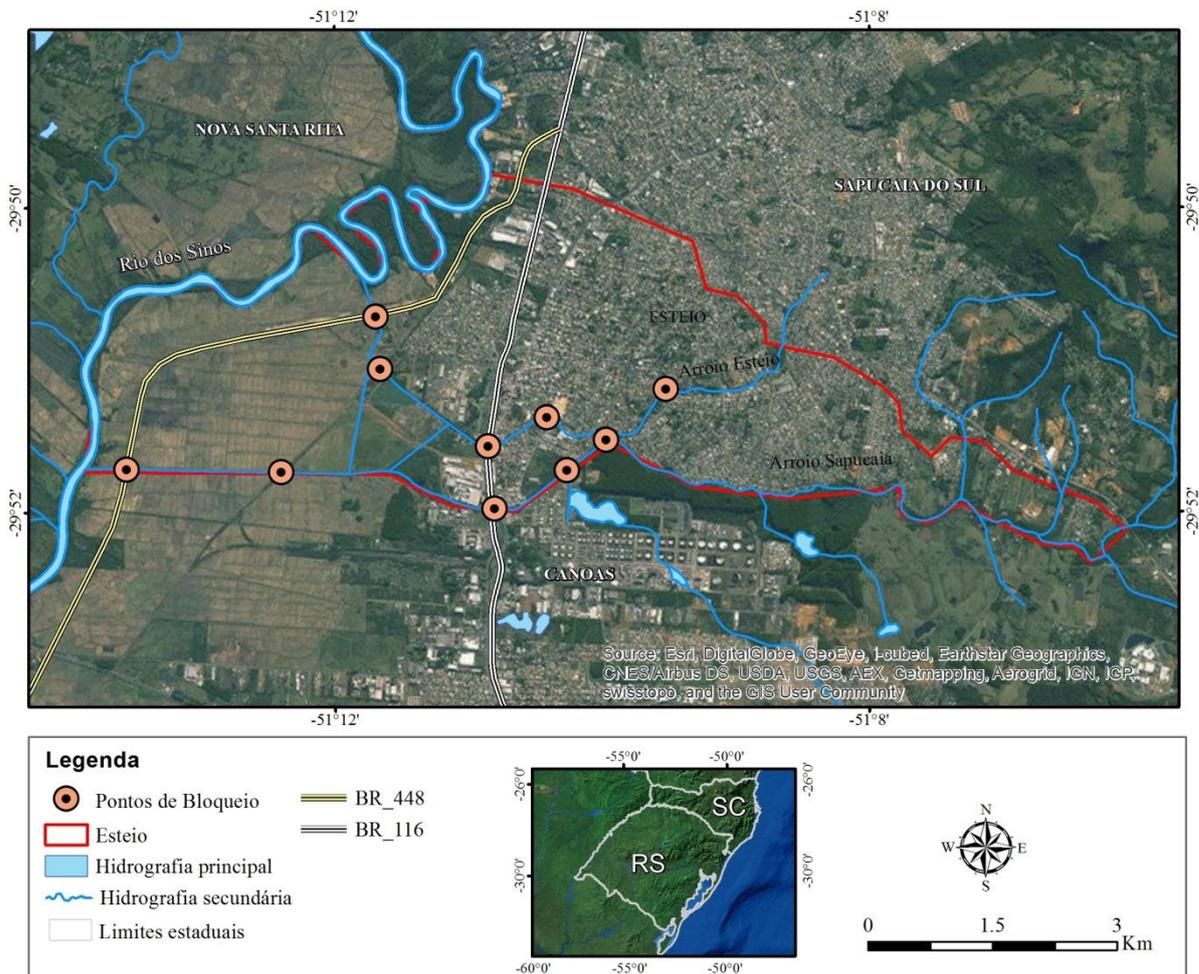


Figura 15 - Pontos de Bloqueio nos arroios Esteio e Sapucaia

4.3 Mancha de inundação dos eventos ocorridos em agosto, outubro e dezembro de 2013

No ano de 2013, três eventos severos de inundação atingiram o município. Esses eventos podem ser contextualizados da seguinte maneira, em relação às obras viárias no município: em 2013, a BR 448 estava prestes a ser inaugurada (sua inauguração se deu na data de 23 de dezembro de 2013), e as obras de construção da Avenida Brasil já estavam em andamento, ainda que passassem por um período de conflito jurídico, que paralisou as obras.

Os eventos extremos de 2013 alarmaram a população, que passou a questionar a funcionalidade das referidas obras, tanto da BR 448 quanto da Avenida Brasil, quanto a possibilidade de reduzirem o risco de inundações. Mesmo que a Avenida Brasil ainda estivesse com as obras em andamento e as chuvas tivessem sido torrenciais, a inundação nos bairros próximos aos arroios revoltou a população atingida.

Segundo relatos nos periódicos locais, o evento de agosto teve um total de 202 mm de precipitação acumulada entre os dias 22 e 25 de agosto. Esse evento foi caracterizado como enxurrada nos registros da Defesa Civil de Esteio. A área afetada se concentrou entre os arroios Sapucaia e Esteio, afetando bairros como São Jose, Liberdade, Vila Navegantes, Moradas de Esteio 1 e 2 e São Sebastião, no setor Leste da BR 116, e também os bairros Três Marias, Industrial e Novo Esteio, no lado Oeste da rodovia.

O evento de outubro de 2013 teve 90 mm de precipitação acumulada; já no evento de dezembro de 2013 a precipitação foi de cerca de 80 mm em cerca de duas horas no arroio Sapucaia. A mancha de inundação desses três eventos pode ser vista na Figura 16. Um dos destaques da evolução dessas inundações fica por conta da região de confluência dos arroios Esteio e Sapucaia.

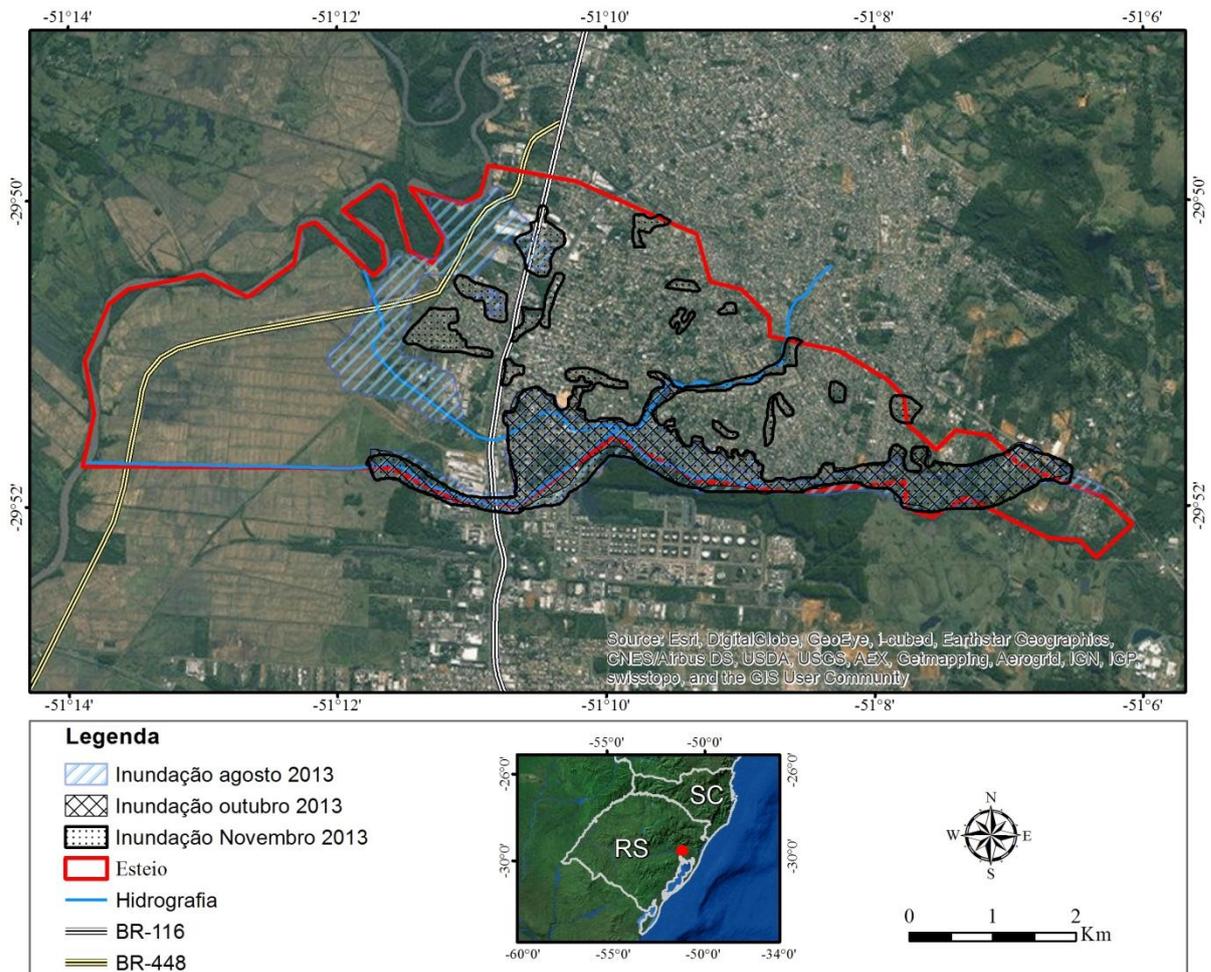


Figura 16 - Mancha de inundação dos eventos extremos de agosto, outubro e novembro de 2013. Fonte: Adaptado de METROPLAN (2014)

Em relação à área afetada na parte Oeste do município, a BR 448 foi eleita como uma das principais culpadas, tanto pelo fato de ter provocado a diminuição da área de várzea do rio, quanto a um suposto sub-dimensionamento dos canais responsáveis, por escoar a vazão dos arroios em direção ao Sinos.

A BR 448 foi construída com a potencialidade de se tornar um dique contra as cheias do rio dos Sinos. No entanto, para que esse fato se concretize, existe a necessidade de instalação de casas de máquinas. Uma das medidas que poderiam ser adotadas em relação à manutenção das características da várzea dos Sinos seria a elevação da rodovia, no entanto, a explicação foi de que essa medida oneraria muito o custo da obra. Os relatos, no entanto, são de que diversos locais, até o ano de 2013, ainda não haviam sido alvo de inundações.

4.4 Estudo de caso da inundação ocorrida em julho de 2015

No mês de julho de 2015, grande parte do município foi inundada. Segundo dados divulgados pela prefeitura de Esteio, as precipitações chegaram ao valor de 359,4 mm em oito dias, sendo que na madrugada do dia 12 para o dia 13, a precipitação foi de 141,8 mm, o equivalente a média calculada para todo o mês de julho (Figura 17). Devido aos grandes danos causados pelo evento sem precedentes, a prefeitura decretou estado de emergência no dia 15/07/2015 (ANEXO 1).

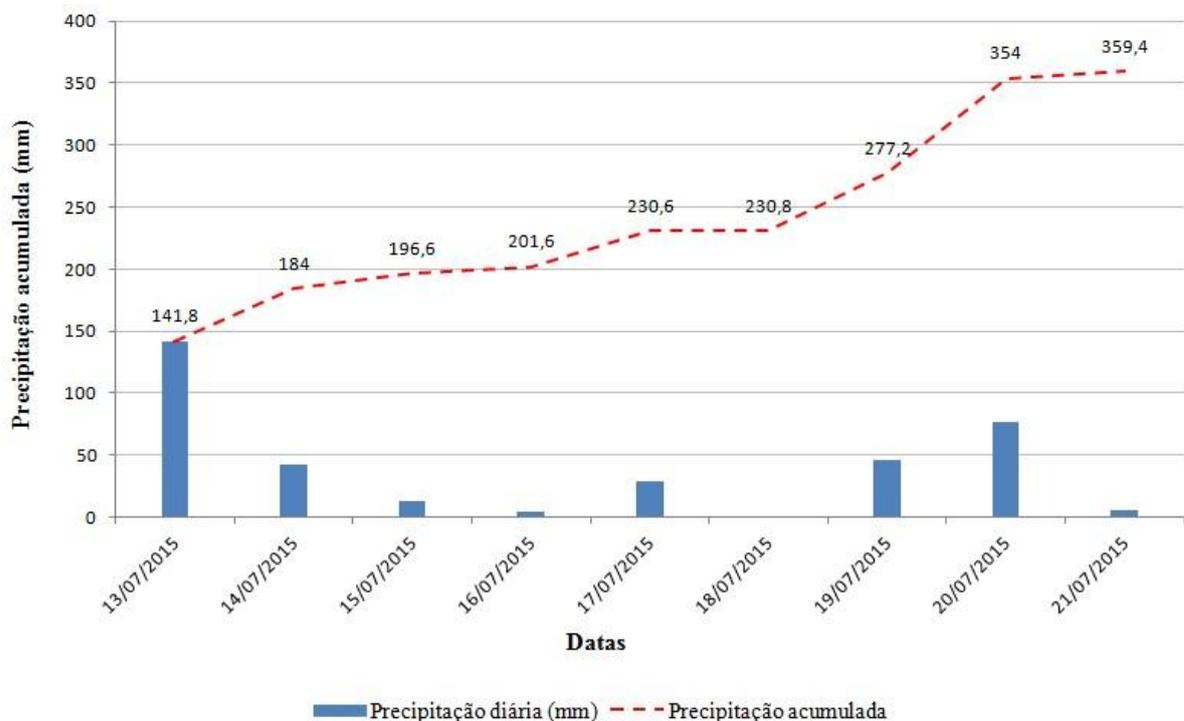


Figura 17 - Dados de precipitação diários e acumulados de 13 a 22/07/2015. Fonte: Site da Prefeitura de Esteio

Entre as principais características desse evento extremo, destacam-se os valores de precipitação acumulada em um curto período de tempo, provocando uma elevação súbita dos arroios Esteio e Sapucaia, configurando a ocorrência de enxurrada, e posteriormente, o represamento das águas dentro da cidade, causado pelo estancamento do rio dos Sinos, configurando a ocorrência de inundação.

Embora os dados do gráfico acima tenham sido disponibilizados pela prefeitura de Esteio, cabe destacar que não há disponível uma série mais consistente de dados e com maior

período disponível para a avaliação das precipitações no município, como as estações pluviométricas disponibilizadas no site da ANA (Agência Nacional de Águas), por exemplo..

O estudo realizado pelo IPH (2006), apresentou três diferentes cenários, considerando os Tempos de Retorno para 2, 10 e 25 anos (Figuras 18, 19 e 20). Para a confecção desses mapas, o IPH utilizou como área de estudo a região de encontro entre os arroios Esteio e Sapucaia até a Avenida Presidente Vargas.

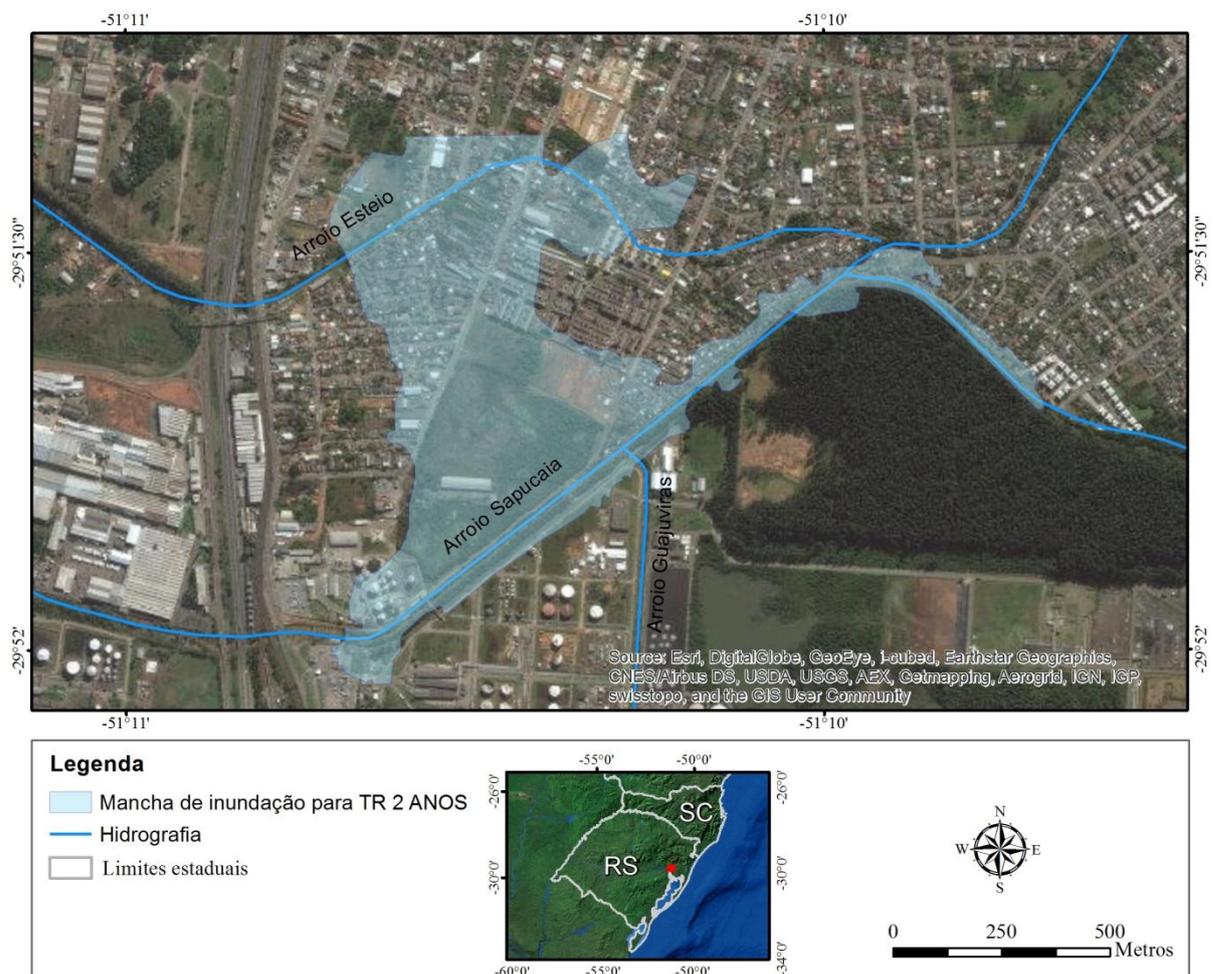


Figura 18 - Mancha de inundação para chuvas com TR=2 anos. Fonte: Adaptado de IPH, 2006

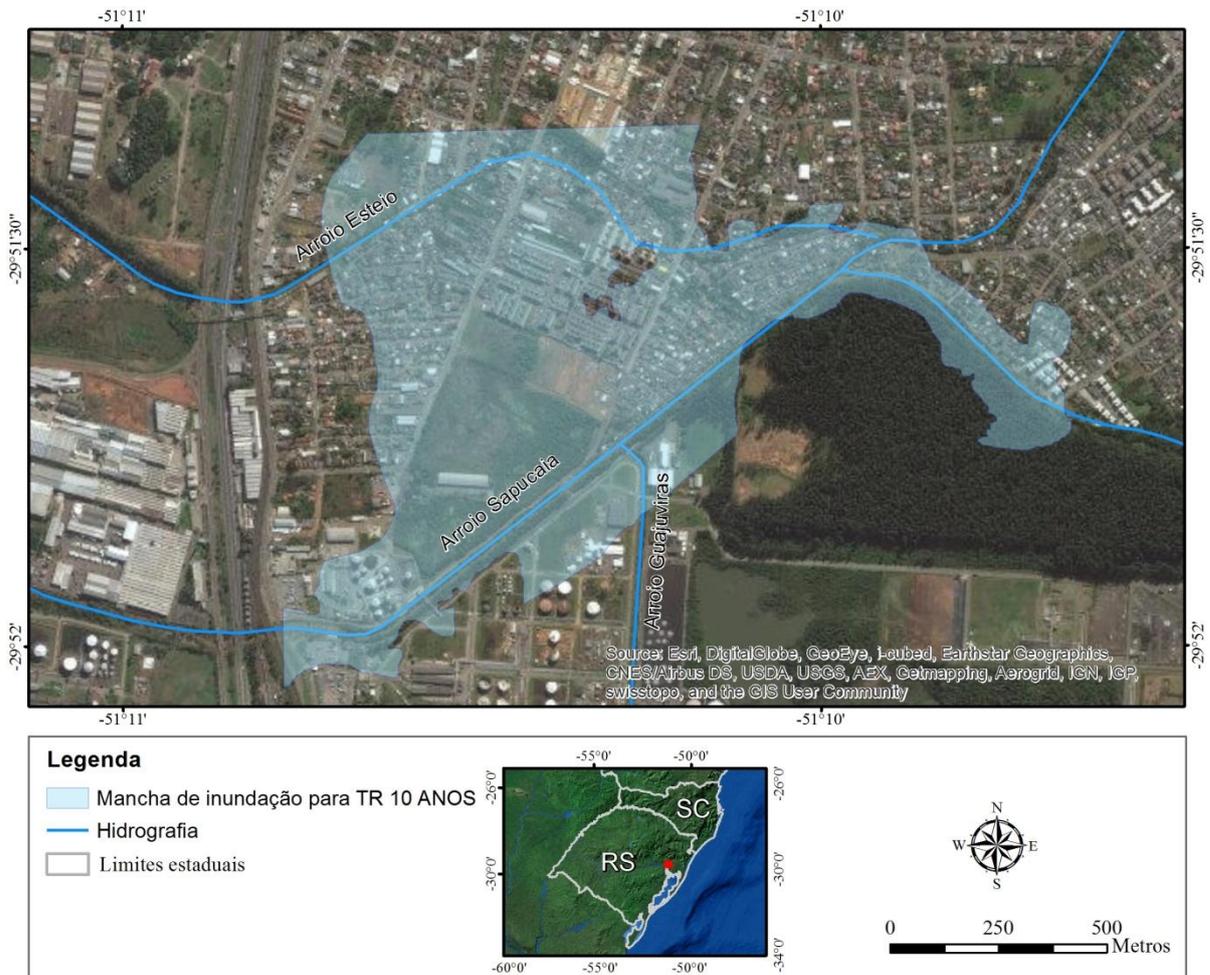


Figura 19 - Mancha de inundação para chuvas com TR=10 anos. Fonte: Adaptado de IPH, 2006

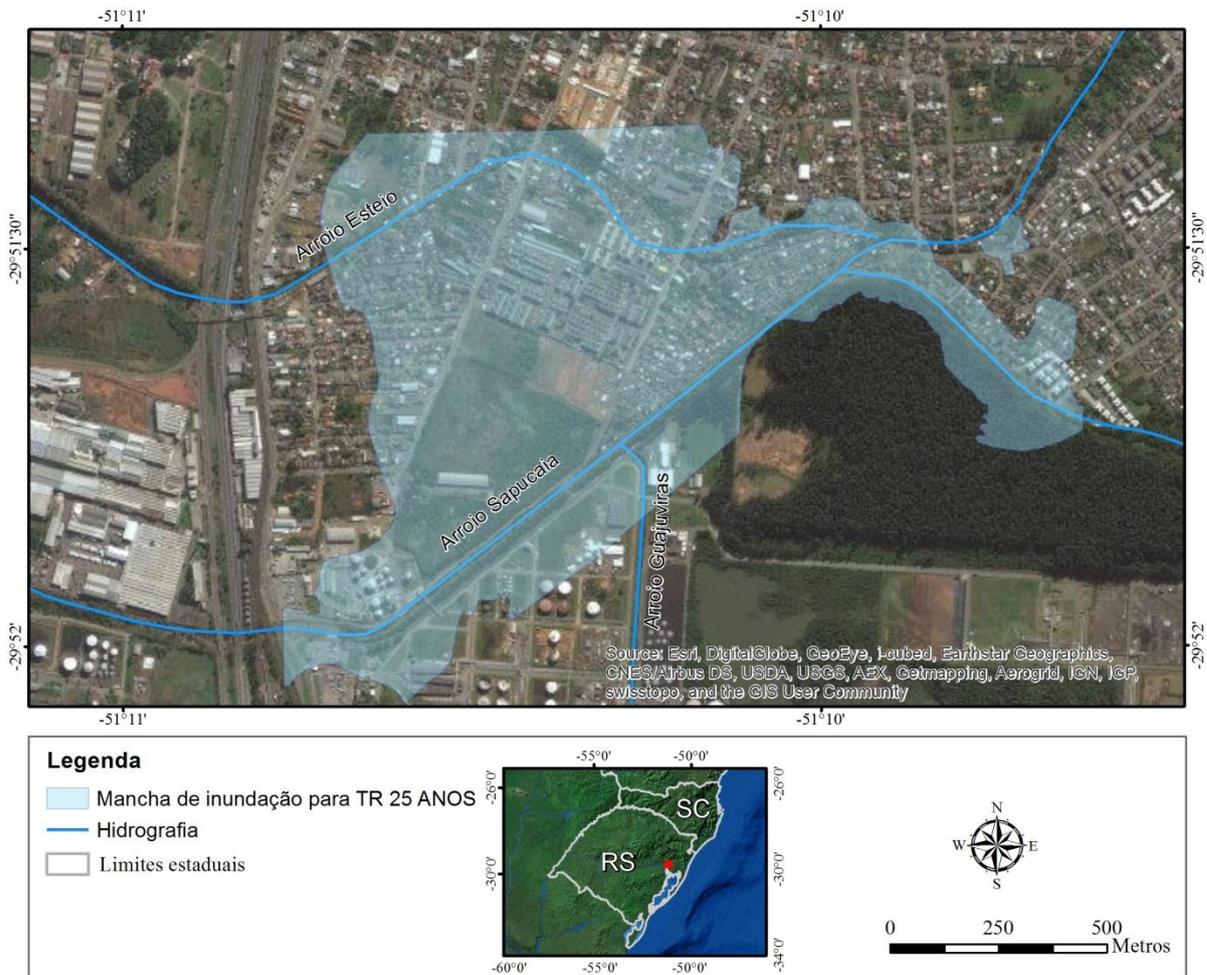


Figura 20 - Mancha de inundação para chuvas com TR=25 anos. Fonte: Adaptado de IPH, 2006

A Figura 21 apresenta a mancha de inundação de julho de 2015 e permite fazer uma relação com as manchas geradas pelo IPH para diferentes Tempos de Retorno. Esse evento é considerado histórico e sem precedentes; a própria precipitação corresponderia, de acordo com o estudo de Brubacher *et al.* para a bacia do rio dos Sinos, a um Tempo de Retorno de mais de 100 anos, tanto se for considerado a precipitação de apenas um dia (141,8 mm) quanto a precipitação acumulada de cinco dias (230,6 mm entre 13 e 17/07/2015).

A mancha de inundação foi gerada por meio do auxílio de moradores locais e análise de periódicos. Os moradores consultados foram unânimes em falar sobre o ineditismo do alcance da inundação, bem como a altura da lâmina da água em diversos pontos próximos aos arroios. A área de estudo foi extrapolada, inclusive, para os bairros na parte Oeste da BR 116.

Tanto na parte leste da BR 116 quanto na parte Oeste, a inundação de julho de 2015 chegou a lugares em que, anteriormente, não havia chegado, além do fato da altura da lâmina de água em diversos bairros ser superior a eventos anteriores. Esses fatos em conjunto proporcionaram aos moradores os questionamentos em relação às obras viárias no município.

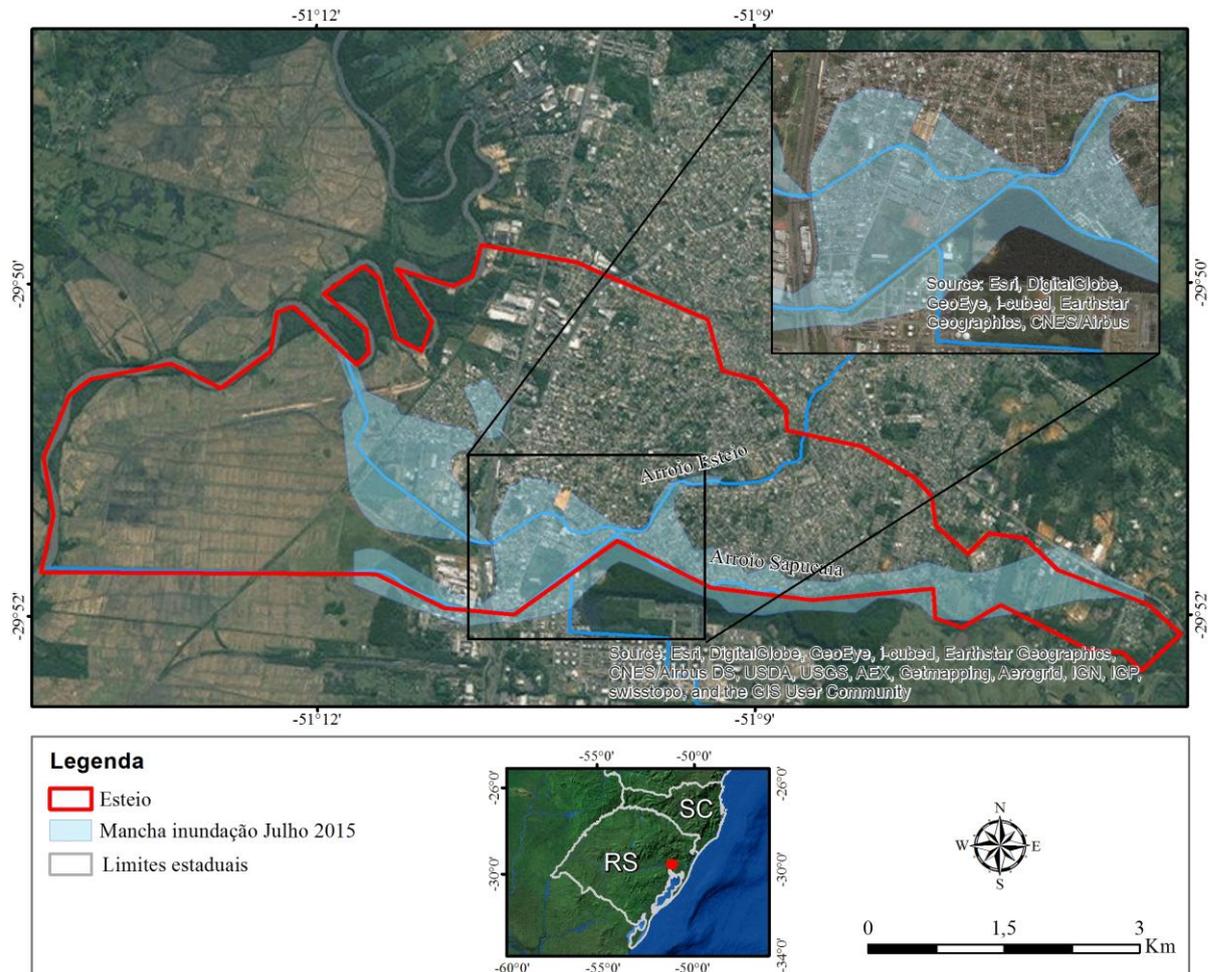


Figura 21 - Mancha de inundação de Julho de 2015

4.5 Contexto das obras viárias nas inundações do município de Esteio

O início do povoamento de Esteio é marcado pela construção da Ferrovia Porto-Alegre Novo Hamburgo, ainda no século XIX, e pelas obras da BR 116, na década de 1930. Embora a divisão territorial do município não fosse, naquele momento, tão visível, essas duas obras criaram os primeiros obstáculos à livre passagem dos arroios Sapucaia e Esteio em direção ao rio dos Sinos.

A construção da estação do trem, embora tenha trazido benefícios em questões econômicas e de mobilidade, dividiu, de fato, Esteio em duas partes. Na margem esquerda do sistema BR 116 - TRENSURB, (Sentido Capital-Interior) encontram-se os Bairros Novo Esteio (onde se localiza a Expointer), Três Marias, Três Portos, Industrial e Vila Osório; na margem direita, ficam os demais bairros do município, inclusive o centro administrativo.

Ao longo das décadas, o que era apenas um curso natural de uma sub-bacia que desaguava no rio dos Sinos, foi gradualmente sendo modificada, criando-se uma série de pontos de bloqueios, além da ocupação das planícies de inundação desses arroios e do consequente aumento da impermeabilização do solo.

O traçado da BR 448 foi elaborado, principalmente, para ser uma alternativa ao trânsito da BR 116. No entanto, outro objetivo era que o mesmo também servisse como dique contra inundações do rio dos Sinos, com a possibilidade futura de utilização como polder (inclusive, sob demandas das prefeituras de Esteio e Canoas, visando a utilização dessa área para expansão urbano/industrial).

Embora o projeto tenha previsto obras complementares para que as vazões de escoamento dos arroios das Áreas de Influência Direta e Indireta (AID E AII) não fossem alterados, o EIA-RIMA (Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental) da BR 448 (EIA-RIMA BR-448/RS, 2009) deixa claro que isso pode acontecer.

Já a Avenida Brasil, nos seus 2,3 km de extensão, teve sua construção baseada na ideia da necessidade de um dique de contenção de inundações, alterando os pontos que bloqueavam o fluxo da água dos arroios e permitindo um melhor escoamento das águas, sem que os acúmulos extrapolassem para a planície de inundação.

4.5.1 BR 448 (Rodovia do Parque)

Uma das principais rodovias do Rio Grande do Sul é a BR 116, que liga a região metropolitana de Porto Alegre à capital. Desde a década de 1990 a rodovia convive com congestionamentos frequentes e uma clara saturação na sua capacidade diária de veículos. A construção da BR 448 foi a alternativa encontrada para desobstruir o trânsito da BR 116. Essa obra, nos municípios de Sapucaia do Sul, Esteio, Canoas e Porto Alegre, teve início no ano de

2009 com previsão de término para 2011; no entanto, as obras só foram concluídas no ano de 2013.

A Figura 13, mostrada anteriormente, exemplifica o comportamento da várzea de inundação do rio dos Sinos, na porção oeste do município, e que pode chegar até a área urbanizada de Esteio. A mancha de inundação foi baseada na imagem LANDSAT do dia 01/10/2007, ou seja, pouco antes do início das obras da BR 448.

Essa imagem se torna importante para compreender o contexto não só da BR 448, mas também da implantação do distrito industrial de Esteio, que contou com aterro da várzea, para que fosse possível a preparação do terreno e servindo como dique, além do avanço do estacionamento do Parque de Exposições Assis Brasil e pavimentação de uma via ligando a BR 116 com a BR 448.

A Figura 22, retirada do software Google Earth Pro, mostra uma imagem de 2015, evidenciando a área de várzea aterrada, além da localização da Escola Estadual de Ensino Médio Bairro do Parque, que foi inundada no evento de julho de 2015, e que pode ser vista na Figura 23, antes da inundação; e na Figura 24, durante a inundação.



Figura 22 - Bairro Novo Esteio e Parque de Exposições Assis Brasil, com área de várzea aterrada, 2015. Fonte: Adaptado de Google Earth



Figura 23 - Escola Bairro do Parque, Bairro Novo Esteio. Fonte: Google Earth



Figura 24 - Inundação na Escola Bairro do Parque, Bairro Novo Esteio. 13/07/2015. Fonte:
Duarte de Esteio

Embora a inundação de julho de 2015 seja considerada sem precedentes, tanto pela administração pública quanto pelos próprios moradores, alguns trechos entre os bairros Industrial, Novo Esteio, Vila Osório e Três Portos já haviam sido inundados em outros eventos, como por exemplo em outubro de 2013, pouco antes da conclusão da BR 448, como mostra a Figuras 25, durante a inundação de outubro de 2013.



Figura 25 - Vila Osório inundada 23/10/2013

Com base nessas imagens, é possível perceber que não são apenas fatos isolados que compõem os componentes necessários para a ocorrência de um desastre. No entanto, a BR 448 pode ter influência nas inundações, em função da alteração do ambiente proporcionado pela construção da rodovia.

A Figura 26 mostra o Parque de Exposições Assis Brasil, que fica à Oeste da BR 116, parcialmente inundado. Entre os motivos do alcance dessa inundação, além das chuvas excessivas, podem se destacar, assim como em toda área à Oeste da BR 116, a dificuldade de escoamento do arroio Esteio, que passa atrás do Parque, assim como a ampliação do parque em direção a várzea do rio dos Sinos e, como dito anteriormente, o dique construído para a expansão da área industrial de Esteio, impulsionado após a construção da BR 448.



Figura 26 - Inundação no Parque de exposições Assis Brasil (Expointer) em 13/07/2015.
Fonte: Fagner Almeida/ABCCC

As Figuras 27 e 28 demonstram a BR 448 atuando como dique durante a inundação de outubro de 2013. Uma das explicações possíveis para as figuras abaixo, vai ao encontro do que alguns moradores estão reclamando nas redes sociais, ou seja, a atuação da BR 448 como um dique negativo, de forma que a várzea de inundação não tem livre acesso ao rio dos Sinos, represando os arroios Esteio e Sapucaia, fazendo com que o efeito de remanso extravase para as áreas urbanizadas do município.

Segundo a empresa responsável pela obra e o DNIT, "as galerias foram corretamente construídas ao longo da rodovia, viabilizadas através de estudos e análises do local" (DNIT NEGA..., 2013). No entanto, as imagens sugerem uma reflexão em relação a essa afirmação, levando a acreditar que, de fato, a BR 448 estaria atuando como dique negativo.

Outra interpretação possível diz respeito ao fato da área inundada não ter afetado o município, de modo que a inundação da área de várzea teria se dado após as águas dos arroios Esteio e Sapucaia baixarem, e posterior elevação do rio dos Sinos.



Figura 27 - BR 448 atuando como dique de contenção de inundações, outubro de 2013. Fonte: Belfoto imagens aéreas



Figura 28 - BR 448 atuando como dique de contenção de inundações, outubro de 2013. Fonte: Belfoto imagens aéreas

Mesmo sabendo da importância da área de várzea do rio dos Sinos, a prefeitura de Esteio, já em seu Plano Diretor de 2006, definiu áreas estratégicas de desenvolvimento na região. A Figura 29 apresenta o mapa da Unidade Territorial 1, referente ao PDDUE, 2006. Nessa figura, já estão destacadas as áreas próximas a várzea como Zona Industrial, conforme demonstrado anteriormente; e Zona Residencial.

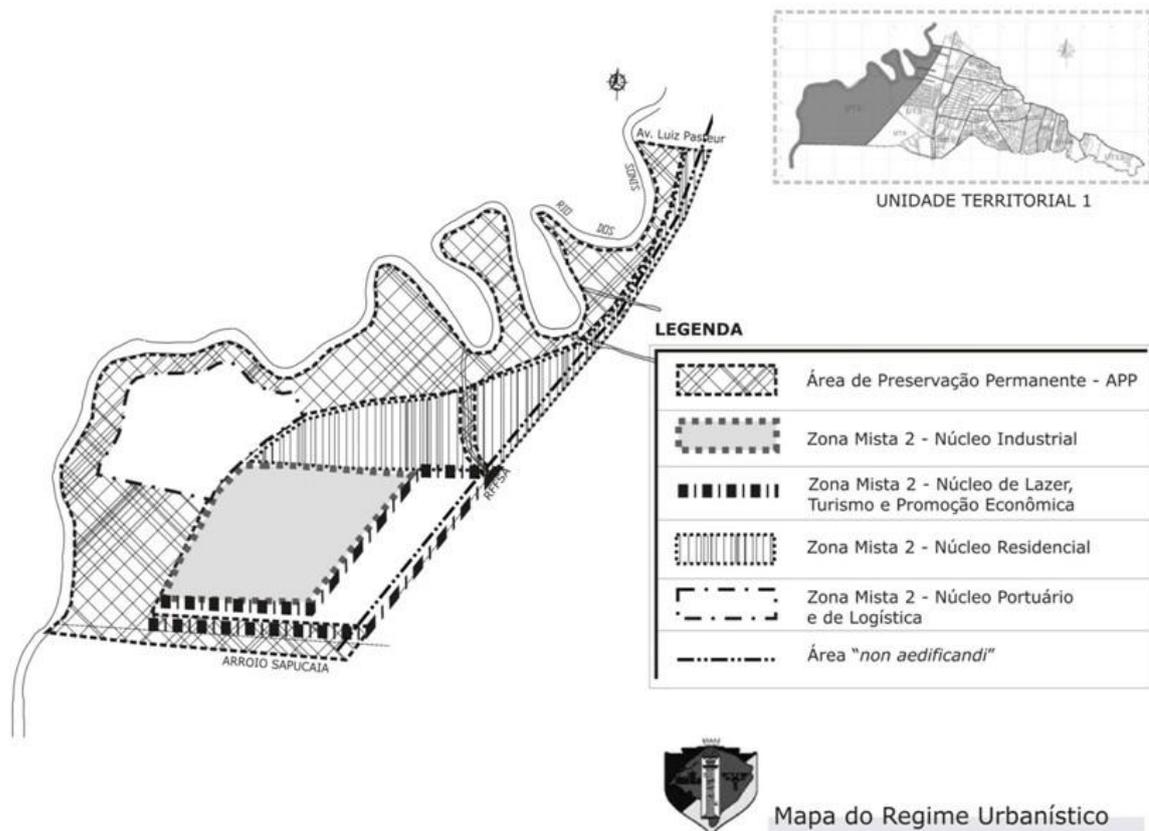


Figura 29 - Mapa da Unidade Territorial de Esteio (UT1). Fonte: PDDUE, 2006.

O governo do estado do Rio Grande do Sul, ao qual pertence a área do Parque de Exposições Assis Brasil, assinou em julho de 2015 a concessão do Parque para a iniciativa privada. O contrato com a Bolognesi Empreendimentos Ltda prevê, nos primeiros doze meses, a construção de um dique para a contenção das águas do arroio Esteio e nos próximos dez anos uma série de empreendimentos para exploração residencial e comercial do local (Sartori assina..., 2015).

A construção de um dique no local pode facilmente impedir que as águas do arroio invadam o Parque. No entanto, não há como garantir que a população residente próximo ao Parque

deixará de sofrer com as consequências das inundações, tendo em vista que um dique fará com que se aumente a velocidade do fluxo de água do córrego que passa atrás do Parque e que deságua no arroio Esteio e, se o mesmo não for readequado para suportar a nova situação, o remanso de um dos cursos de água e o consequente extravasamento será inevitável.

A Figura 30, imagem retirada da internet, mostra uma crítica a um *outdoor* de propaganda do futuro empreendimento residencial da Bolognesi na região, chamado Bellvia, durante a inundação de julho de 2015. A área destinada para os empreendimentos residenciais e industriais, e que pertence a área de várzea dos Sinos têm a previsão de que, em 30 anos haverá uma ocupação total da área, além de que em dez anos vinte mil pessoas já estejam morando no local (ESTEIO TERÁ..., 2009).



Figura 30 - Crítica a propaganda da Bolognesi na área de inundação. Fonte: De olho em Esteio

4.5.2 Avenida Brasil

Uma das piores inundações presenciadas pelos moradores de Esteio aconteceu em 2005. No evento, a precipitação estimada foi de 79,7 mm, no entanto, foi o suficiente para o extravasamento dos arroios Esteio e Sapucaia, atingindo praticamente os mesmos bairros atingidos nas inundações de 2013 e 2015.

A grande diferença entre os eventos de 2005 e 2015 está na magnitude dos eventos. Se, por um lado, a inundação de 2005 atingiu locais que, segundo relatos, nunca haviam sido atingidos, as inundações de 2013 e 2015 extrapolaram a antiga marca histórica de alcance da inundação.

O evento de 2005 foi um dos fatores preponderantes para que as autoridades municipais buscassem junto ao Governo Federal verbas para um levantamento das inundações e a posterior construção de diques para proteção dos bairros da região sul do município das constantes inundações dos arroios Esteio e Sapucaia.

O estudo realizado pelo IPH (2006), deu origem ao Projeto de Renaturalização do arroio Sapucaia. O projeto foi elaborado em 2009 e contou com recursos do Programa de Aceleração ao Crescimento (PAC). Segundo descrição do projeto, o mesmo conta com os seguintes objetivos: "proteção dos bairros da região sul dos constantes transbordamentos do Arroio Sapucaia; renaturalização do arroio com plantio de árvores nativas; promover a integração viária e uma “nova entrada” para a cidade de Esteio; inserir o meio de transporte não-motorizado (ciclotrilha) e transformar o arroio em pólo turístico para a comunidade e visitantes.

A obra teve início do dia 28 de outubro de 2010 e foi inaugurada no dia 20 de dezembro de 2015. As Figuras 31 e 32 apresentam a realidade da área de implantação da obra antes do início, e a Figura 33 demonstra a perspectiva do projeto concluído.



Figura 31 - Apresentação e localização do projeto de renaturalização do arroio Sapucaia.
 Fonte: Passado três anos..., 2013.



Figura 32 - Área do projeto a ser protegida contra as inundações. Fonte: Passado três anos..., 2013.



Figura 33 - Perspectiva do projeto de renaturalização do arroio Sapucaia após a conclusão das obras. Fonte: Passado três anos..., 2013.

Entre o início das obras e sua conclusão, Esteio foi alvo de pelo menos quatro eventos extremos severos, sendo três no ano de 2013 e um no ano de 2015, entre outros que ocorreram no período e fizeram com que a prefeitura tivesse que declarar situação de emergência no município.

Tanto os eventos de 2013 quanto o de julho de 2015 atingiram diretamente a área no entorno da Avenida Brasil e entre os arroios Esteio e Sapucaia. Os pontos de bloqueio existentes ao longo dos arroios não foram solucionados durante as obras, sendo que o próprio canteiro de obras pode ter agravado as inundações no período entre 2010 e 2015.

Um dos pontos de bloqueio, que influencia diretamente no escoamento das águas, ocorre na ponte da Rua Dona Isabel, sobre o arroio Esteio (Figura 34). Nesse ponto o arroio passa por uma galeria sob a rua, no local onde termina a Avenida Brasil. Fatores como a capacidade da galeria e excesso de lixo no arroio (Figura 35), além da confluência com o arroio Sapucaia alguns metros adiante, provocam o remanso das águas, colaborando com o transbordamento do arroio.



Figura 34 - Ponto de bloqueio, Rua Dona Izabel, antes das obras da Av. Brasil. Fonte: Google Earth, 2011



Figura 35 - Ponto de bloqueio na Rua Dona Izabel, e lixo acumulado impedindo a passagem do arroio pelas galerias. Fonte: Atavismo guasca

Na Figura 36 é possível ver a Escola Alberto Pasqualini, na Rua Dona Izabel, que localiza-se próximo ao ponto do arroio Esteio. Na Figura 37, é possível perceber o arroio Esteio ocupando toda a extensão da rua no evento ocorrido julho de 2015. Segundo relatos dos moradores do local, o pico enxurrada foi entre 4 e 5 horas da madrugada, de forma que nessa foto o arroio já havia baixado, estima-se que o mesmo alcançou até um metro nas residências mais próximas.



Figura 36 - Escola Alberto Pasqualini, localizada na Rua Dona Izabel. Fonte: Google Earth, 2011



Figura 37 - Escola Alberto Pasqualini, inundação em julho de 2015. Fonte: Duarte de Esteio.

A inundação de julho de 2015 pode ter encontrado na constru o das obras da Avenida Brasil mais um agravante no escoamento das  guas. No trecho de confluência entre os arroios Esteio e Sapucaia, conforme mencionado, ocorre o efeito de remanso do arroio Esteio quando o arroio Sapucaia está com uma vazão muito superior. Nesse trecho, há também um braço morto do arroio Esteio, para o qual a água escoo quando há excesso de vazão. Na inundação de julho de 2015, toda essa área ficou inundada. As Figuras 38 e 39 mostram o trecho durante e após a inundação.



Figura 38 - Meandro abandonado do arroio Esteio, inundação em julho de 2015. Fonte: Silvio Telles



Figura 39 - Meandro abandonado do arroio Esteio, inundação em julho de 2015. Fonte: Silvio Telles

As Figuras 40 e 41 mostram imagens da área antes e durante a construção da Avenida. Na Figura 41, é possível perceber o solo exposto devido às obras da Avenida e na Figura 42, o acúmulo de sedimentos da obra e o canal temporário que teve que ser aberto para a conclusão da obra.

A Figura 42 data de 10/08/2015, menos de um mês após a grande inundação. Embora a quantidade de chuvas tenha sido incomum, a concentração de sedimentos no local, combinada com o desvio do curso do arroio Esteio visando a finalização das obras, tiveram influência direta no represamento das águas na Rua Dona Izabel, extravasando para os bairros Navegantes e São José. O excesso de sedimentos oriundos da construção da Avenida também pode ter sido levado para a jusante, influenciando toda a extensão do arroio.



Figura 40 - Imagem aérea da confluência entre arroio Esteio e arroio Sapucaia. Fonte: Google Earth



Figura 41 - Imagem aérea da Confluência entre os arroios Esteio e Sapucaia em obras
30/08/2015 Fonte: Google earth



Figura 42 - Confluência entre os arroios Esteio e Sapucaia em obras. Data: 10/08/2015 Fonte:
Duarte de Esteio 2015

As Figuras 43 e 44 mostram a situação da Rua Dona Isabel antes e depois da inundação de julho de 2015. Por meio da visualização dos tubos de concreto e das residências, é possível ter uma noção da cota que o arroio alcançou. Conforme relatos de moradores, o pico de cheia ocorreu durante a madrugada, por volta das quatro horas da manhã, portanto, a

probabilidade é que o arroio alcançou uma cota ainda maior do que se pode verificar na Figura 38.



Figura 43 - Rua Dona Izabel, ponto sobre arroio Esteio. Data: 17/07/2015. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 44 - Dona Izabel, inundação no ponto sobre arroio Esteio. Data: 14/07/2015. Fonte: Silvio Telles

Outro ponto de bloqueio ocorre na Rua Bento Gonçalves, em ponte sobre o arroio Esteio. Embora as residências no entorno do arroio Esteio, nesse trecho, não sejam necessariamente de estrutura mais simples, estão muito próximas ao canal, extremamente suscetíveis a inundações.

A Figura 45 mostra uma casa localizada próxima ao canal do arroio. A prefeitura construiu um muro de contenção, visando proteger o terreno da casa (e da ponte) da erosão do solo, evitando assim um desabamento de parte do terreno. Na Figura 46, é possível perceber algumas pequenas pontes precárias de madeira para passagem sobre o arroio. Esses fatores em conjunto dificultam a passagem do arroio em momentos de vazão elevada, inundando rapidamente as residências ao entorno. O extravasamento nesse trecho provoca um encontro com as águas do arroio Sapucaia, praticamente unindo as duas planícies de inundação.



Figura 45 - Rua Bento Gonçalves, ponte sobre arroio Esteio. Muro de contenção de pedras construído pela Prefeitura, para evitar erosão do terreno.



Figura 46 - Rua Bento Gonçalves, ponte sobre arroio Esteio.

As Figuras 47 e 48 mostram uma imagem aérea da Rua Bento Gonçalves, além dos condomínios Morada de Esteio 1 e Morada de Esteio 2. Na Figura 47, a imagem do Google Earth mostra o local sem inundação, já na Figura 48, toda a região aparece inundada, no evento de julho de 2015. Na imagem 48, também é possível perceber que, devido à baixa altimetria da região e à grande quantidade de chuvas, praticamente ocorre a ligação entre os arroios Esteio e Sapucaia.

Nesse trecho da Rua Bento Gonçalves, os dois arroios ficam distantes cerca de 1,2 km em linha reta, com uma diferença altimétrica de cerca de três metros. Em diversas residências mais próximas do arroio Sapucaia, as águas chegaram a uma altura de 1,6 metros.



Figura 47 – Bairro Morada de Esteio 1 e 2 e Rua Bento Gonçalves. Fonte: Google Earth.



Figura 48 – Bairro São Sebastião, Morada de Esteio 1 e 2 e Rua Bento Gonçalves, inundação dia 14/07/2015 Fonte: Defesa Civil de Esteio

As Figuras 49 e 50 mostram o trecho da Rua Bento Gonçalves entre os arroios Esteio e Sapucaia. Na Figura 50, aparece a lâmina de água da inundação cobrindo a rua. Segundo relatos de moradores, neste trecho as águas chegaram a 1,2 metros. A Figura 51 apresenta o mesmo trecho da rua após a inundação, com diversos entulhos e móveis inutilizáveis em função da inundação.

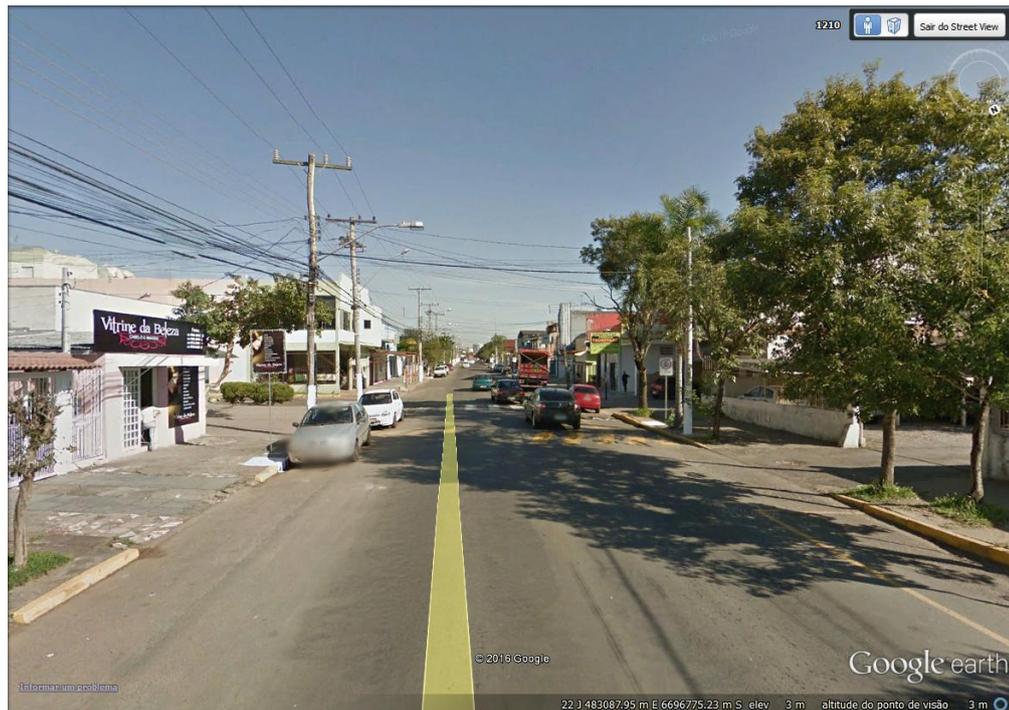


Figura 49 - Rua Bento Gonçalves. Fonte: Google Earth.



Figura 50 - Inundação Rua Bento Gonçalves 15/07/2015



Figura 51 - Rua Bento Gonçalves pós-inundação 17/07/2015.

As Figuras 52, 53 e 54 demonstram o Residencial Village, na Rua Bento Gonçalves, a cerca de 600 metros do arroio Sapucaia em diferentes momentos. Na Figura 53, aparece o condomínio em uma imagem do Google Earth, para efeitos de comparação. Na Figura 54 aparece o Residencial inundado no evento de 2005; e na Figura 55, a inundação de julho de 2015.

São 10 anos de diferença entre uma foto e outra. As explicações acerca das influências da construção da BR 448 e da Avenida Brasil não convenceram os moradores, mesmo tendo em vista a elevada precipitação do evento de 2015. Em outras palavras, os moradores acusam a influência das obras da Avenida Brasil e da BR 448 em provocar tamanha inundação, quando deveriam funcionar justamente para evitar esse tipo de desastre.

As afirmações foram rebatidas pela Prefeitura de Esteio, alegando que a elevada precipitação e o fato de as obras não estarem finalizadas em julho, contribuíram para as inundações. E que após a inauguração da Avenida e construção das bacias de contenção, desastres com essa magnitude não devem mais acontecer.



Figura 52 - Residencial Village, Rua Bento Gonçalves 05/2015 Fonte: Google Earth.



Figura 53 - Inundação Residencial Village, Rua Bento Gonçalves, junho de 2005 Fonte: Click indiscreto



Figura 54 - Inundação Residencial Village, Rua Bento Gonçalves, 13/07/2015. Fonte: Duarte de Esteio

Outro ponto em que ocorre o bloqueio das águas do arroio Sapucaia é a ponte da Avenida Presidente Vargas sobre o arroio Sapucaia, justamente onde se inicia a Avenida Brasil. Em um trecho de cerca de cem metros, o arroio passa por baixo da Avenida Presidente Vargas, da linha férrea e da BR 116.

A Figura 55 dá uma ideia de como as alterações urbanísticas no município, ao longo das décadas, influenciaram diretamente na dinâmica de escoamento dos arroios Esteio e Sapucaia em direção ao rio dos Sinos. Na primeira foto (a), aparece o pórtico de entrada no ano 1944, quando Esteio ainda tinha a denominação de Vila. Na segunda foto (b), de 1971, já é possível visualizar a prefeitura ao fundo e uma certa "modernização e crescimento". A terceira foto (c) mostra ao fundo o pórtico de entrada, e manifesta o modo como a BR 116 e os trilhos do trem dividem o município de Esteio e, obviamente, alteram o escoamento.



Figura 55 - Pórtico de entrada do município em diferentes décadas: a) pórtico de entrada em 1944; b) pórtico de entrada em 1971, já com o prédio da prefeitura ao fundo; c) estrutura do pórtico de entrada ao fundo, com a BR 116 e a Estação de Esteio do TRENSURB.

As Figuras 56 e 57 mostram as estruturas construídas em função da Avenida Brasil. Essas estruturas foram afetadas negativamente no evento de julho de 2015, inclusive com queda de alguns blocos utilizados na construção da Avenida e com extravasamento das águas. Mesmo com a reclamação de moradores, a prefeitura garantiu que a distância entre o leito normal do arroio e a ponte não foi diminuída para o projeto da Avenida Brasil.



Figura 56 - Ponto de bloqueio, Av. Presidente Vargas, foto tirada no dia 17/07/2015, antes da finalização das obras da Av. Brasil

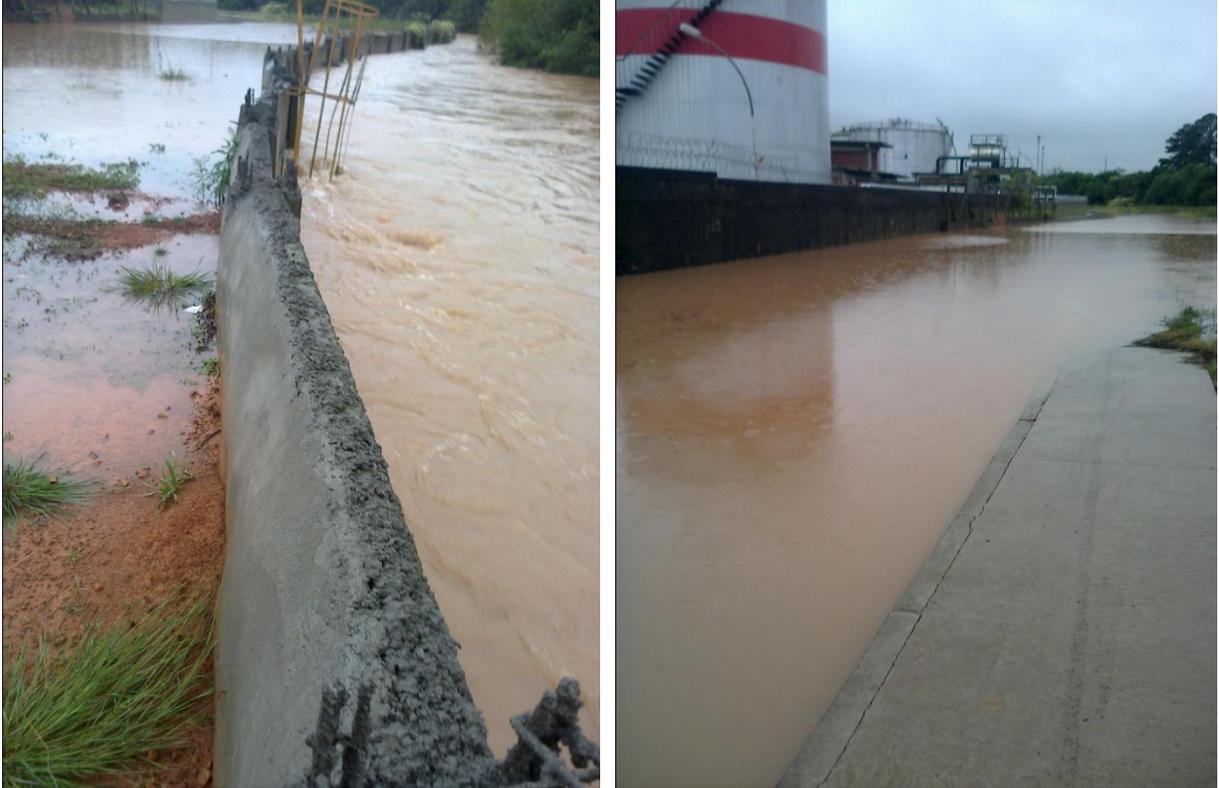


Figura 57 - Dique da Avenida Brasil, ainda em obras, 17/07/2015. Fonte: Arquivo Pessoal.

4.2.3 Bacias de Contenção

Segundo o atual prefeito de Esteio, Gilmar Rinaldi (Bacias de contenção..., 2015), a recorrência das inundações é um problema complexo, que demanda soluções compartilhadas entre diferentes municípios do entorno. Para uma ação mais efetiva contra as inundações, seria necessária a construção de onze bacias de contenção, ou seja, áreas para a destinação do excesso de águas, como obras complementares ao dique da Avenida Brasil..

O estudo realizado pelo IPH (2006) previa a necessidade de implantação das bacias de contenção, sugerindo que a simples construção da Avenida Brasil não seria o suficiente para acabar com as inundações dos bairros próximos, ou seja, o dique sozinho não resolve o problema, ou seja, sem as bacias de contenção, não funciona.

Essas bacias servem para conter temporariamente o excesso de águas no leito de um curso de água, para subseqüente liberação, de forma a evitar o extravasamento das águas para a planície de inundação (Canholi, 2005). No caso das bacias de contenção do arroio Sapucaia e do arroio Guajuviras (afluente do arroio Sapucaia), as bacias são projetadas para encher nos momentos extremos e esvaziar lentamente após os eventos. A Figura 58 mostra um esquema que representa o funcionamento de uma bacia de contenção.

Segundo estudo da METROPLAN (2014), uma questão importante da utilização deste dispositivo de amortecimento é que não há um limite de volume de água em que o sistema falhe por completo, como no caso de proteção por diques. Mesmo que ocorra uma cheia superior àquela definida no projeto, a bacia de contenção irá funcionar, amortecendo parte da cheia e minimizando seus efeitos no entorno. Em outras palavras, os eventos extremos superiores ao previsto em projeto teriam sempre menor impacto e os prejuízos seriam conseqüentemente reduzidos.

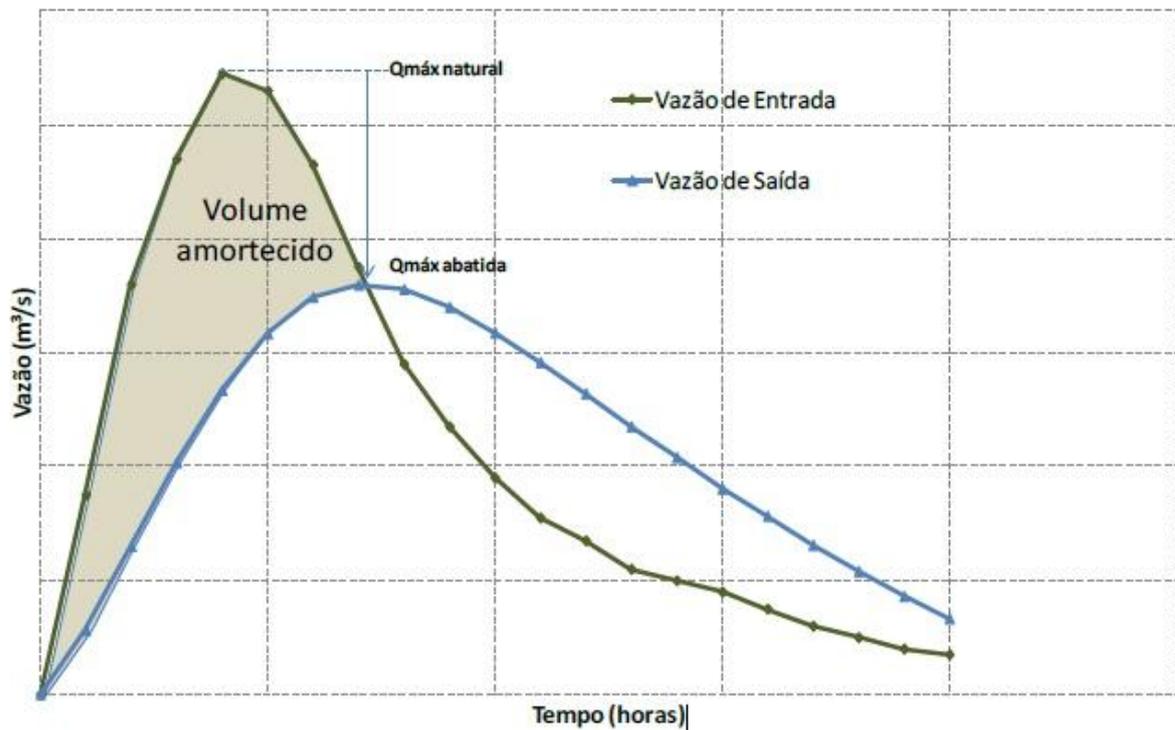


Figura 58 - Esquema de abatimento de onda de cheia em uma bacia de contenção. Fonte: METROPLAN, 2014.

A bacia de contenção prevista para o arroio Sapucaia é do tipo *off-line*, ou seja, uma área próxima ao arroio será inundada somente nos eventos extremos. Essa área pode ter outros tipos de uso na maior parte do tempo, como, por exemplo, parques e espaços de lazer. Nesse tipo de bacia, a área é mais funda do que o nível da água e da rua, de modo que são necessárias bombas para que a água volte ao seu curso inicial (Figura 59).



Figura 59 - Bacia de contenção do tipo off-line/off-stream, modelo previsto para o arroio Sapucaia. Fonte: IPH, 2006.

Já para o arroio Guajuviras, a previsão é que sejam construídas seis bacias de contenção (Figura 60), mas do tipo *in-line*, ou seja, o próprio leito do arroio será utilizado como reservatório durante a cheia, captando o excesso de água e operando em paralelo ao curso do arroio. Quando o mesmo ultrapassar um determinado nível, a água passa para esse reservatório (Figura 61) (Canholi, 2005).

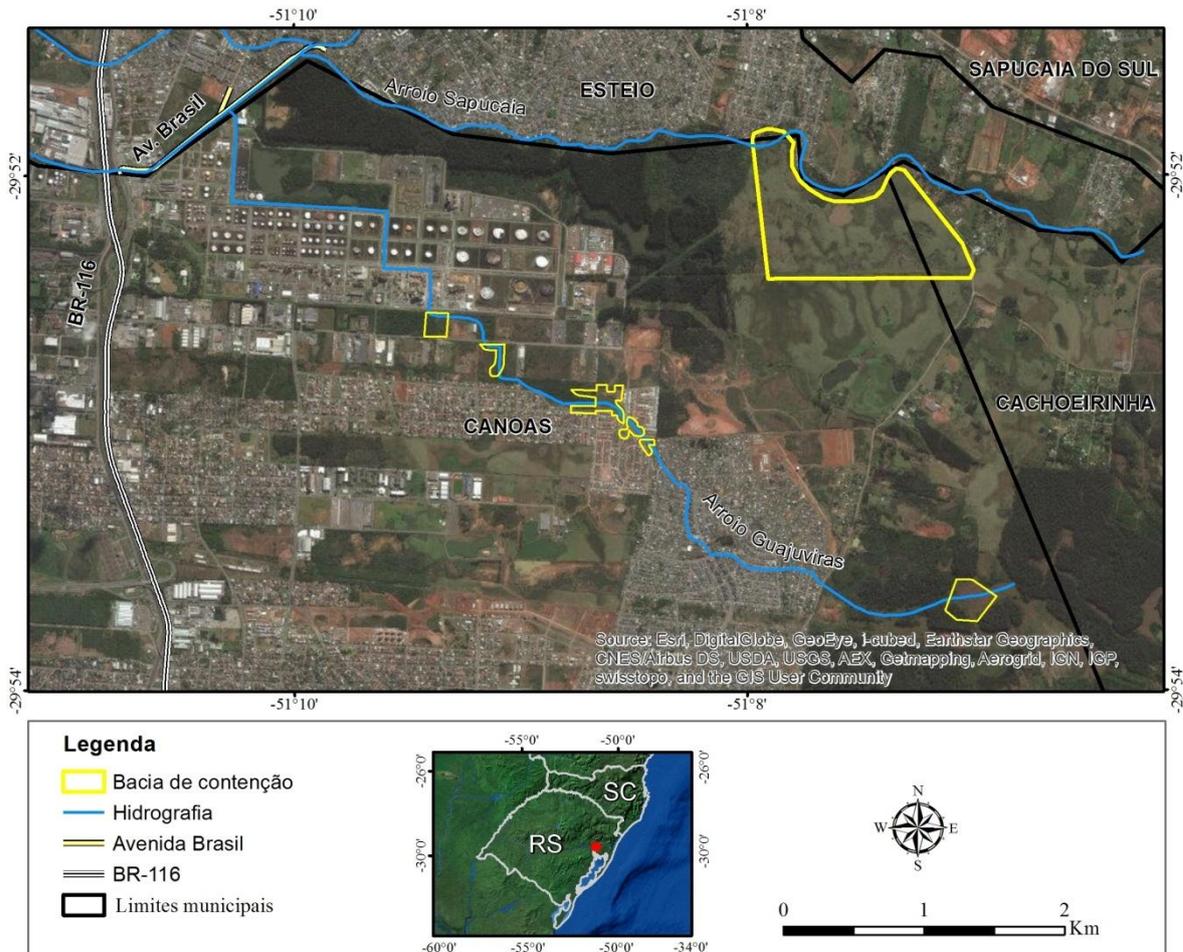


Figura 60 - Localização das bacias de contenção para os arroios Sapucaia e Guajuviras.
Fonte: Adaptado de METROPLAN, 2013.



Figura 61 - Bacia de contenção do tipo in-line, arroio Guajuviras, com contenção de margens por enrocamento. Fonte: Canoas, 2011.

O investimento necessário previsto é de aproximadamente R\$ 145 milhões, recurso aprovado pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) Drenagem Urbana. Assim que os recursos forem liberados, a obra será licitada. A obra foi protocolada pela Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional (Metroplan), com o apoio da Refinaria Alberto Pasqualini (Refap) (Prefeitura de Esteio, 2015).

Com a construção de bacias de contenção em uma área de quase 62 hectares, a capacidade de armazenamento de água chegaria a 1,39 milhão de m³. Para efeitos de comparação, os investimentos para o Projeto de Renaturalização do arroio Sapucaia ficaram em torno de 19 milhões de reais.

A construção da bacia de contenção entre os arroios Guajuviras e Sapucaia ainda está em processo de levantamento de verbas para o início das obras. Essa obra será um acréscimo importante no que diz respeito às ações contra inundações na região. As bacias de contenção deverão atender aos volumes de reserva necessários para evitar que as águas extrapolem os leitos dos arroios, mesmo se tratando de um evento extremo.

Como essas obras se encontram sob análise, não há prazo para liberação de verbas por parte do Governo Federal. Dessa forma, o município de Esteio segue com mais uma etapa no processo de renaturalização do arroio Sapucaia, com a concretagem da base do arroio, que visa dar mais velocidade e fluidez na vazão das águas do arroio.

Somente com uma análise à longo prazo, será possível confirmar se as medidas estruturais foram ou não suficientes para minimizar os efeitos das frequentes inundações dos arroios Esteio e Sapucaia. Com as bacias de contenção prontas, a tendência é que, de fato, o município de Esteio tenha menos problemas com esse tipo de desastre. No entanto, é importante ressaltar que obras estruturais como as bacias de contenção podem ser saturadas em eventos de chuvas contínuas e os diques sobrepostos pelas águas. Por mais que se tenha levado em conta um Tempo de Retorno de 20 anos, os números não são definitivos e sempre correm o risco de ser superados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A procrastinação de diversos municípios para lidar com assuntos de extrema importância, como prejuízos provocados por eventos extremos, assim como a falta de medidas mitigadoras e ações equivocadas no passado, fez com que a situação das inundações na bacia dos Sinos chegasse a níveis alarmantes.

A ocupação das várzeas dos arroios Esteio e Sapucaia, remonta ao período desenvolvimentista de Esteio que, com a isenção de tributos, atraiu um grande número de empresas em um curto período de tempo, assim como um grande número de pessoas que passaram a ocupar as áreas de risco no município.

Os eventos de inundação nessas áreas não são recentes, sendo que registros antigos remontam a um tempo em que as áreas de várzea e de planície de inundação dos arroios Esteio e Sapucaia, hoje muito urbanizadas, eram consideradas um banhado.

A análise das séries históricas de precipitação dos últimos 31 anos, bem como a ocorrência de eventos extremos para os períodos de um a cinco dias, permitiram compreender que a dinâmica das inundações e eventos extremos não é novidade no município, no entanto, os eventos referentes a agosto, outubro e novembro de 2013, além do evento de julho de 2015 foram, de fato, acima da média histórica.

A análise da área do município por meio da utilização das imagens LANDSAT, embora não tenha sido possível mensurar a mancha de inundação dentro da área urbana do

município, auxiliou na compreensão da dinâmica da várzea do rio dos Sinos, fator relevante no escoamento das águas dos arroios Esteio e Sapucaia para o rio dos Sinos.

A partir espacialização das maiores inundações, por meio da comparação de relatos de moradores e da análise feita por outros estudos, foi possível diagnosticar alguns dos motivos que levaram não só à construção da Avenida Brasil, mas também às críticas realizadas pelos moradores em relação à funcionalidade da obra enquanto agente minimizador de desastres.

As áreas do município afetadas pelas inundações praticamente se repetem a cada evento extremo. A construção da BR 448 e da Avenida Brasil, coincidiu com o aumento das inundações no município, o que não é explicado apenas pelo aumento da precipitação. A falta de mecanismos para evitar o efeito de remanso das águas dos arroios próximos a BR 448, bem como as alterações na várzea do rio dos Sinos, podem ter contribuído com os últimos eventos, de forma que é impossível não inserir as recentes inundações no contexto das obras da BR 448 e da Avenida Brasil.

A Avenida Brasil, embora tenha sido construída com o objetivo de servir de dique contra as inundações do arroio Sapucaia, também pode ter contribuído com a magnitude dos últimos eventos extremos, devido às suas obras. No entanto, não é possível duvidar da eficácia da obra, tendo em vista que a mesma estava inacabada em julho de 2015, apesar de que medidas estruturais não são garantia de resolução dos problemas causados por esse tipo de desastre.

A inauguração da Avenida Brasil ocorreu somente no dia 20 de dezembro de 2015; no entanto, a ampliação da calha do arroio Sapucaia e do revestimento de concreto do leito e das margens do mesmo, com a finalidade de aumentar a velocidade de escoamento das águas ainda segue em andamento.

Além dessas obras, as bacias de contenção, que até a finalização desse estudo não haviam saído do papel, serão de grande importância para a minimização dos desastres no município, de forma que sem elas a interpretação imediatista dos efeitos da obra ficam comprometidas, sendo necessário um tempo maior de análise e a verificação de um novo evento extremo para concluir se as obras serão ou não suficientes para a minimização das inundações.

REFERÊNCIAS

APÓS CHUVA, DEFESA CIVIL alerta para aumento no nível dos rios no RS. G1. 15/07/2015. Disponível em <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2015/07/apos-chuva-defesa-civil-alerta-para-aumento-no-nivel-dos-rios-no-rs.html>> Acesso em: 16 de julho de 2015.

BACIAS DE CONTENÇÃO: **Prefeito entrega projeto à presidenta em Canoas.** Disponível em: <http://www.esteio.rs.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=8173:bacias-de-contencao-prefeito-entrega-projeto-a-presidenta-em-canoas&catid=20:gabinete-do-prefeito&Itemid=191> Acessado em: 11 de novembro de 2015.

BARBOSA, F. A. R. **Medidas de Proteção e Controle de Inundações Urbanas na Bacia do Rio Mamanguape/PB.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). UFPB. João pessoa, 2006. 115 p.

BAZZAN, T. **Mapeamento das Áreas com risco de inundação do rio dos Sinos no município de São Leopoldo, RS.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre. 135p. 2011.

BLÖSCHL, G.; NESTER, T.; KOMMA, J.; PARAJKA, J. PERDIGÃO, R. A. P. **The June 2013 flood in the Upper Danube Basin, and comparisons with the 2002, 1954 and 1899 floods.** Published in *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 5197–5212. 2013

BRITTO, A. L. & SILVA, V. A. C. **Viver às margens dos rios: uma análise da situação dos moradores da favela Parque Unidos de Acari.** In *Rios e paisagens urbanas em cidades brasileiras*. Costa, L. M. S. A. (Org.) Rio de Janeiro: Viana & Mosley: Ed. PROURB. 2006.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. **Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR). Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE. p.1863-1870. DVD. ISBN: 978-85-17-00057-7. 2011.

BRUBACHER, J.P.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A. **Identificação e análise de eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS**. In: Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais, Rio Claro. **Anais**. p. 1-10, CD-ROM. 2012.

CANHOLI. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2005

CAPACITAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS. **Capítulo 2: Entendendo os Conceitos**. Ministério da Integração Nacional. UFRGS e CEPED/RS. 2014

CASTRO, A. L. C. de. 2003. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília (DF): Ministério da Integração Nacional, 174 p. Disponível em: http://www.esdec.defesacivil.rj.gov.br/documentos/publicacoes_da_secretaria_nacional/6_desastres_naturais_voII.pdf.

CAVALHEIRO, F. **Urbanização e alterações ambientais**. In: Análise ambiental: uma visão multidisciplinar. 2ª ed. Ed. UNESP, pp. 114-124. 1995.

CHRISTOFOLETTI, A., **Geomorfologia**. Ed. Edgard Blucher. São Paulo. 1974.

COBRADE. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (2012). Disponível em http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f9cdf8bf-e31e-4902-984e-a859f54dae43&groupId=10157> Acesso em 08 de fevereiro de 2015.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Tese de Doutorado (Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 270P. 2001.

CORDERO, Ademar; MEDEIROS, Péricles Alves; TERAN, Albanella Leon. **Medidas de Controle de Cheias e Erosões**. 1999.

CORSINI, Rodnei. **Piscinões para controle de cheias**: Dimensionamento, projeto, custos e manutenção de reservatórios de contenção de enchentes em espaços públicos. 2011. Disponível em: <http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/4/artigo220142-2.aspx>>. Acesso em: 26 nov. 2015.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Estudo de Impacto Ambiental da Obra de Implantação e Pavimentação da BR-448/RS, trecho: Entr. BR-116/RS - Entr. BR-290/RS, segmento km 0,0 ao km 22,0.** Porto Alegre: STE – Serviços Técnicos de Engenharia S.A. 2008.

DNIT NEGA que **obra da BR 448 seja responsável pelas últimas enchentes.** Disponível em < <http://www.esteio.rs.leg.br/institucional/noticias/banco-de-noticias/banco-de-noticias-2013/13-11-2013-dnit-nega-que-obra-da-br-448-seja-responsavel-pelas-ultimas-enchentes>> Acessado em 20 de dezembro de 2015.

ECKHARDT, R. R. **Geração de Modelo Cartográfico Aplicado ao Mapeamento das Áreas Sujeitas a Inundações Urbanas na Cidade de Lajeado/RS.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2008.

ESCHER (Oscar Escher Arquitetos e Urbanistas). 2010. Disponível em: <www.escher.arq.br>. Acesso em 23 de junho de 2014.

ESTEIO MPG. Disponível em: http://esteiosmpg.blogspot.com.br/2009_12_01_archive.html. Acessado em 05 de novembro de 2014.

ESTEIO TERÁ **novo empreendimento atrás do Parque de Exposições.** Eco dos Sinos online. Disponível em: < <http://www.ecodosinos.com.br/destaques.php?codigo=1083&categoria=cidade>>. Acesso em 23 de janeiro de 2015.

FERNÁNDEZ, D.S.; LUTZ, M.A. **Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis.** Engineering Geology 111. 90-98. 2010.

FRANZEN. M. *et al.* **Impacto antropogênico no arroio Sapucaia (RS): Aplicação de Balanço de Massas aos Fluxos Hidrogeoquímicos e índices de Contaminação nos Sedimentos.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 11, n. 1. Jan/Mar. 2006.

FRITZEN, M; BINDA, A.L. 2011. **Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente.** Ateliê Geográfico. Goiânia-GO. v.5, n.3. Dezembro de 2011. p.239-254.

GUHA-SAPIR, D. **Disaster Data: A Balanced Perspective.** **Cred Crunch.** Issue No. 11. 2008.

IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007.

IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010.

IBGE. **Censo Demográfico 2010.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014.

INUNDAÇÕES NA EUROPA Central vão custar milhões de Euros. **G1**, 07/06/2013. Disponível em: < <http://g1.globo.com/mundo/noticia/2013/06/inundacoes-na-europa-central-vao-custar-milhoes-de-euros.html>> Acesso em 23 de outubro de 2015

IPH. **Estudo de concepção, em nível de anteprojeto, para os subsistemas de drenagem dos arroios Esteio e Sapucaia, a jusante da Rua São Borja.** Relatório Final. 2006.

IPT. **Material de Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações.** Ministério das cidades. 2004.

JI, L.; ZHANG, L.; WYLIE, B. **Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.** Vol. 75, No. 11, November 2009, pp.1307-1317.2009.

JULIÃO, R. P.; NERY, F.; RIBEIRO, J.L.; BRANCO, M.C.; ZÊZERE, J.L., **Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal.** Edição: ANPC. Instituto Geográfico Português. 2009.

KOBYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais: Conceitos básicos**. Curitiba - PR. 1ª ed. Ed. Organic Trading. 2006.

LIMA, M.M.L. **Mapeamento da suscetibilidade a inundação na baixa hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre/RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRGS, 174p. 2010.

LUERCE, T.D.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A.; BRUBACHER, J. P. 2013. **Mapeamento geomorfológico a partir de dados SRTM: bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR). Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE. p.1863-1870. DVD. ISBN: 978-85-17-00057-7.

MCFEETERS, S.K. **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features**. International Journal of Remote Sensing, v.17, n.7, p.1425-1432.1996.

METROPLAM. **Áreas de Inundações na RMPA**. 1994.

METROPLAN – Fundação para o Planejamento e Desenvolvimento da Região Metropolitana de Porto Alegre. **Caracterização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Sapucaia**. Relatório do Programa Integrado de Recuperação de Áreas Degradadas, Porto Alegre, RS. 2001.

NAKAMURA, E.T.; MANFREDINI, S. **Mapeamento das Áreas Suscetíveis às Enxurradas na Bacia do Córrego Taboão, Município de São Paulo**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR). Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE. p.5411-5418. DVD. ISBN: 978-85-17-00057-7. 2007.

OLIVEIRA, G.G.; PENTEADO, A.F.; SALDANHA, D.L.; ROSS, J.L.S. **Mapeamento e análise da distribuição das áreas inundáveis na bacia do rio dos Sinos/RS**. XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.4173-4180. 2009.

OLIVEIRA, G. G. **Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, UFRGS, 148p. 2010.

OSTROWSKY, M. S. B.; ZMITROWICZ, W. **Urbanização e controle de enchentes: o caso de São Paulo: seus conflitos e inter-relações**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 1991.

PDDUE. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Esteio**. Lei municipal nº 4247 de 06 de dezembro de 2006.

PENTEADO, A. **Mapeamento e análise geomorfológicos como subsídio para identificação e caracterização de terras inundáveis, estudo de caso da bacia Hidrográfica do rio dos Sinos**. Tese (Doutorado em Geografia Física). Universidade de São Paulo, São Paulo, 333p. 2011.

PEREZ, J. T. **Monografia da Villa do Esteio**. Porto Alegre, 1944.

PLHIS – Plano Local de Habitação e Interesse Social. Prefeitura Municipal de Esteio. Fevereiro de 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ESTEIO. Disponível em: <http://www.esteio.rs.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1524:empresarios-conhecem-area-do-loteamento-industrial&catid=20&Itemid=191> Acessado em: 11 de novembro de 2014.

PREFEITURA DE ESTEIO dá início a mais uma obra para combater cheias. Jornal Vale dos Sinos. Disponível em: <http://www.jornalvs.com.br/_conteudo/2016/01/noticias/regiao/261485-prefeitura-de-esteio-da-inicio-a-mais-uma-obra-para-combater-cheias.html> Acessado em: 14/01/2016.

PORTO, R. *et al.* **Drenagem Urbana**. In: Hidrologia: ciência e aplicação. TUCCI, C. E. M. (Org). 2ª Ed., Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, p. 805-847. 2001.

PRÓ SINOS. Disponível em: <http://www.portalprosinos.com.br/baixas/conteudo_esteio.php?id=home_esteio>. Acessado em 11 de novembro de 2014.

REAGER, J.T.; THOMAS, A.C.; SPROLES, E.A.; MATTHEW, R., BEAUDOING, H.K.; LI, B.; FAMIGLIETTI, J.S. **Assimilation of GRACE Terrestrial Water Storage Observation into a Land Surface Model for the Assessment of Regional Flood Potential**. Remote Sensing Journal, 7, 14663-14679. 2015.

REICHENBACH, P.; CARDINALI, M; DE VITA, P.; GUZZETTI, F. **Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River Basin (central italy)**. Environmental Geology 35 (2-3) August. 1998.

RISSO, A.; GIUGNO, N.B. **Áreas de Inundação, Alagamentos e Banhados da Região metropolitana de Porto Alegre - RS**. 1v. Porto Alegre: CPRM/METROPLAN. 1994.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, Tendências e Tipologia**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 253p. 2011.

SALDANHA, D.; VERDUM, R.; CARRARO, C. C.; KUPLICH, T.M.; OBARA, M.L. **Mapeamento e avaliação de áreas inundáveis do rio dos Sinos através de utilização de imagens TM - Landsat 5**. Revista de Geografia da UNESP, v. 13/14, 1996.

SARTORI ASSINA **concessão do Parque da Expointer à iniciativa privada**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/campo-e-lavoura/noticia/2015/07/sartori-assina-concessao-do-parque-da-expointer-iniciativa-privada.html>> Acessado em: 23 de janeiro de 2016.

SARTORI, M. G. B. **A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico.** Terra Livre. São Paulo. Ano 19 - Vol. I - n.20. jan/jul. 2003.

SOUZA, C. R. G. **Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras.** Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 6, Nº 1, P.45-61. 2005.

THOMAS, C. **Síntese da evolução populacional no espaço sul-riograndense.** Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul. N. 20-23. 1980

TORO, J et al. **Apostila de Apresentações de Movimentos Gravitacionais de Massa.** Teh World Bank. Abril e Maio de 2013.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SILVEIRA, V. S. **Zoneamento do Risco de Inundação do rio Vacacaí no Município de São Gabriel, RS.** Revista Geo UERJ. Ano 15, nº. 24, v. 1. 2013.

TUCCI, C. E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: princípios e concepção.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 2, Jul/Dez, 1997, pp. 5-12.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Org.). **Inundações Urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 150p. 2003

TUCCI, C.E.M.. **Modelos Hidrológicos.** Ed. UFRGS/ABRH. 2005.

XU, H. **Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water in remotely sensed imagery.** International Journal of Remote Sensing. Vol. 27, No. 14, 20 July 2006.

ANEXOS

ANEXO A - Declaração de Situação de emergência nas áreas do município de Esteio afetadas pela enxurrada



**Estado do Rio Grande do Sul
Prefeitura de Esteio**



DECRETO nº 5.373, de 14 de julho de 2015.

**Declara Situação de Emergência nas
Áreas do Município de Esteio Afetadas
por Enxurrada (COBRADE 12.200) E dá
Outras Providências**

GILMAR ANTÔNIO RINALDI, Prefeito Municipal de Esteio, no uso das atribuições que lhe conferem a Lei Orgânica Municipal, e pelo Inciso VI do artigo 8º da Lei Federal nº 12.608, de 10 de abril de 2012, e

Considerando, as fortes chuvas que atingiram o Município nos dias, 13 e 14 de julho de 2015, com média superior à prevista para esta época do mês que atingiram diversas cidades do Estado do Rio Grande do Sul, bem como o Município de Esteio, com aproximadamente 180,8mm de precipitação pluviométrica, sendo 102mm de precipitação num período de 10 horas do dia 13/07/2015 (entre 05:00 horas às 15:00 horas), que consequentemente teve diversas áreas inundadas, principalmente nos Bairros: Três Marias, Primavera (Jardim das Figueiras, Travessa Jorge Souza de Moraes, Barreiras, 1º de Março, 8 de Março); Planalto (Vila Boqueirão, Vila Campina, Viterbo José Machado e Travessa Bom Fim); Olímpica; Esperança; São José; Liberdade; Morada I e Morada II; Condomínio Vitória Régia, São Sebastião; Santo Inácio (João Frainer, Albino Storck); Parque Amador (Alegrete, Novo Hamburgo e Av. Claret), Novo Esteio e Centro(Ernesto Weick).

Considerando, que foram atingidas centenas de famílias nas áreas alagadas, caracterizando riscos à comunidade local.

Considerando, o tempo instável que se apresenta e resultante dos transbordos do Arroio Esteio, do Arroio Sapucaia, da Bacia do Arroio Guajuviras e da Bacia do Rio dos Sinos.

Considerando, que o Município disponibilizou todo o aparato disponível para minimizar os efeitos do desastre, bem como para assistência e socorro aos afetados.

Considerando, que em consequência deste desastre resultaram os danos materiais e os prejuízos econômicos e sociais acima descritos, constantes no FIDE;

Considerando, que concorrem como agravantes da situação de anormalidade o grande volume precipitado em um pequeno intervalo de tempo, resultaram em danos materiais e prejuízos econômicos e sociais;

Considerando, a iminência de ocorrer novas precipitações devido ao tempo instável que se apresenta:

DECRETA:

Art. 1º- Fica declarada Situação de Emergência em virtude de desastre classificado como Enxurradas - COBRADE - 12.200, conforme IN/MI nº 01/2012, de 30 de agosto de 2012.

Parágrafo Único - A situação de anormalidade é válida para as áreas comprovadamente afetadas pelo desastre, conforme o contido no FIDE.

Art. 2º- Confirma-se a mobilização do Sistema Nacional de Defesa Civil, no âmbito do município, sob a coordenação da Defesa Civil local - COMDEC e autoriza-se o desencadeamento do Plano Emergencial de Resposta ao Desastre.

Art. 3º- Autoriza-se a convocação de voluntários para reforçar as ações de resposta ao desastre e realização de campanhas de arrecadação de recursos junto à comunidade com o objetivo de facilitar as ações de assistência à população afetada pelo desastre.

Parágrafo Único - Essas atividades serão coordenadas pela Defesa Civil Municipal.

Art. 4º- De acordo com o estabelecido nos incisos XI e XXV do artigo 5º da Constituição Federal, autoriza-se as autoridades administrativas e os agentes de defesa civil, diretamente responsáveis pelas ações de resposta aos desastres, em caso de risco iminente, a:

I - penetrar nas casas, a qualquer hora do dia ou da noite, mesmo sem o consentimento do morador, para prestar socorro ou para determinar a pronta evacuação das mesmas;

II - usar da propriedade, inclusive particular, em circunstâncias que possam provocar danos ou prejuízos ou comprometer a segurança de pessoas, instalações, serviços e outros bens públicos ou particulares, assegurando-se ao proprietário indenização ulterior, caso o uso da propriedade provoque danos à mesma.

Parágrafo Único - Será responsabilizado o agente da defesa civil ou autoridade administrativa que se omitir de suas obrigações, relacionadas com a segurança global da população.

Art. 5º- Para as obras, serviços, equipamentos e outros bens necessários de emergência que a situação requer, ficam autorizados, em caráter emergencial, o uso das excepcionalidades previstas no art. 24, inc. IV e art. 26 da Lei Federal nº 8.666/93, sem prejuízo das restrições da Lei de Responsabilidade Fiscal (LC 101/2000).

Art. 6º- De acordo com a Lei nº 10.878, de 08.06.2004, regulamentada pelo Decreto Federal nº 5.113, 22 de junho de 2004, que beneficia as pessoas em municípios atingidos por desastres e, cumpridos os requisitos legais, autoriza a movimentação da sua conta vinculada ao FGTS.

Art. 7º- De acordo com o art. 4º, § 3º, inciso I, da Resolução 369, de 28 de março de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre os casos excepcionais, tem-se uma exceção para a solicitação de autorização de licenciamento ambiental em áreas de APP, nos casos de atividades de Defesa Civil, de caráter emergencial;

Art. 8º- Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 9º Revogam se disposições em contrário.

Prefeitura Municipal de Esteio, 14 de julho de 2015.

Gilmar Antônio Rinaldi

Prefeito Municipal

Registre-se e publique-se

Data supra.