

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JULIANA GUEIROS FUZATI RODRIGUES**

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E ESTUDOS HIDROLÓGICOS PARA  
MAPEAMENTO DE ÁREAS DE ENXURRADA URBANA EM MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DE CAÇAPAVA DO SUL, RS**

**Caçapava do Sul  
2015**

**JULIANA GUEIROS FUZATI RODRIGUES**

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E ESTUDOS HIDROLÓGICOS PARA  
MAPEAMENTO DE ÁREAS DE ENXURRADA URBANA EM MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DE CAÇAPAVA DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Dr. Marco Antonio Fontoura  
Hansen

Coorientador: Msc. Luiz Delfino Albarnaz

**Caçapava do Sul  
2015**

**JULIANA GUEIROS FUZATI RODRIGUES**

**USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E ESTUDOS HIDROLÓGICOS PARA  
MAPEAMENTO DE ÁREAS DE ENXURRADA URBANA EM MICROBACIA  
HIDROGRÁFICA DE CAÇAPAVA DO SUL, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em:

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Marco Antonio Fontoura Hansen  
Orientador  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. José Pedro Rebés Lima  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin  
UNIPAMPA

“Você pode lutar sem nunca ganhar, mas  
nunca ganhará sem lutar.”

Neil Peart

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo o estudo das enxurradas que ocorrem no município de Caçapava do Sul, utilizando como ferramenta estudos hidrológicos associados aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Uma microbacia na cidade de Caçapava do Sul foi utilizada como estudo de caso, já que o local sofre com alagamentos durante as chuvas. Foi realizado o mapeamento das áreas de risco a enxurradas, estudos das variáveis hidrométricas da microbacia de análise e investigação da assinatura espectral da área de estudo em período de estiagem e cheia. Dados utilizados incluem vazão, pluviosidade, relevo e imagens de satélite *LANDSAT-7*. Os resultados obtidos incluem o valor das vazões de pico nos hidrogramas e a curva-chave da microbacia na área de estudo, além dos locais de maior risco geológico a enxurradas, bem como a evidência da umidade no local em período de cheia. A importância dessa pesquisa está relacionada à necessidade de informações acerca do comportamento hidrológico das microbacias do Município, devido a grande suscetibilidade de ocorrência de enxurradas em toda a área urbana. Concluiu-se que a cidade de Caçapava do Sul apresenta grande fragilidade ambiental em relação aos desastres em estudo, evidenciado pelos picos de vazão ocasionados em curto período de tempo, necessitando de atualização da rede de drenagem pluvial.

Palavras-Chave: Enxurradas em Caçapava do sul. Mapeamento de áreas de risco. Estudos hidrológicos.

## ABSTRACT

This study aims to understand the occurrence of flash floods in Caçapava do Sul, using hydrological studies associated to Geographic Information System (GIS). A small watershed was used as a study case since the area is vulnerable to floods. A field mapping was carried out in order to localize the flash flood risk areas, the study of the hydrometric data of the analyzed watershed, which includes the creation of hydrograms and rating curves, and the investigation of the spectral signature of the study area in periods of drought and flood. The data used include flow rate, rainfall, relief of the watershed and *LANDSAT-7* satellite images. The results include the value of the flow rate peaks and the rating curve, the flash flood risk areas located in the mapping, and the evidence of soil humidity in the period of flood. The importance of the research is related to the need of information about the hydrological behaviour of the small watershed in town studied due to the large susceptibility of flash floods occurrence. The conclusion was that Caçapava do Sul presents large environmental fragility for flash floods, pointed by the flow rates peaks that occur in small periods of time, which shows that the town needs to update the pluvial drainage system.

Keywords: Flash floods in Caçapava do Sul. Mapping of risk areas. Hydrological studies.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Perfil esquemático dos processos de enchente e inundação .....	16
Figura 2 - Inundação de áreas ribeirinhas .....	17
Figura 3 – Diferenças entre a inundação brusca e gradual .....	17
Figura 4 – Hidrograma hipotético ilustrando o impacto da urbanização .....	19
Figura 5– Mapa de situação, localização e detalhe da área de estudo .....	25
Figura 6 – Climas do Rio Grande do Sul.....	27
Figura 7 - Macrobacias hidrográficas de Caçapava do Sul .....	29
Figura 8 – Modelo digital de terreno da microbacia de estudo.....	30
Figura 9 - Localização da Bacia do Camaquã, do Granito Caçapava e mapa geológico esquemático do Escudo Sul-riograndense ilustrando os principais domínios geotectônicos, elucidando os alugrupos Guaritas e Santa Bárbara na Bacia do Camaquã.....	32
Figura 10 - Mapa Geológico da região de Caçapava do sul, mostrando as fácies do Complexo Granítico Caçapava do Sul e as estruturas NW que controlam a subdivisão do corpo intrusivo.....	33
Figura 11 – Resumo da metodologia aplicada no trabalho .....	39
Figura 12 – Mapa geral das áreas de risco a enxurradas em Caçapava do Sul. ....	40
Figura 13 - Gráfico mostrando os componentes de uma hidrógrafa para uma chuva de 4 horas.....	43
Figura 14 – Esquematização do método usado para calcular a área.....	45
Figura 15 – Evento 1 .....	47
Figura 16 – Boca de lobo, evento 1.....	47
Figura 17 – Final do evento 1.....	47
Figura 18 – Pluviômetro marcando 3,25 mm.....	47
Figura 19 – Evento 2: lâmina d’água, ponto B (0,15 m de profundidade). ....	47
Figura 20 – Evento 2: Água atingindo toda a rua (0,18 m de profundidade). ....	47
Figura 21 – Evento 2: água atingindo calçada. ....	47
Figura 22 – Evento 2: água atingindo toda a rua.....	48
Figura 23 – Evento 2: força da água na boca de lobo.....	48
Figura 24 – Evento 2: lâmina d’água.....	48
Figura 25 – Evento 2: Vara de pesca como flutuador. ....	48
Figura 26 – Evento 2: Recessão da chuva.....	48
Figura 27 – Evento 2: Pluviômetro marcando 10 mm de chuva. ....	48
Figura 28 – Evento 3: Saturação do solo (1,5 mm de chuva).....	49
Figura 29 - Evento 3: Início do escoamento superficial (2 mm de chuva). ....	49
Figura 30 - Evento 3: Durante o escoamento superficial (0,06 m de profundidade)..	49
Figura 31 - Fim da chuva e posterior recesso do escoamento superficial.....	49
Figura 32 – Polígonos de Thiessen gerados para o cálculo da precipitação em Caçapava do Sul .....	52
Figura 33 – Espectro Eletromagnético .....	54
Figura 34 - Relação entre as bandas espectrais dos sensores remotos a bordo de satélites e a reflectância de objetos (alvos) na superfície terrestre .....	55
Figura 35 – Exemplo da obtenção do valor do pixel da área da área de estudo nas bandas 1, 2 e 3 em ambiente <i>SPRING 4.2</i> . ....	57
Figura 36 – Hidrograma do ponto A durante o evento 1. ....	59
Figura 37 – Hidrograma do ponto A durante o evento 2. ....	59
Figura 38 – Hidrograma do ponto A durante o evento 3. ....	60
Figura 39 – Curva-chave do ponto A.....	60
Figura 40 – Hidrograma do ponto B durante o evento 1. ....	61

Figura 41 – Hidrograma do ponto B durante o evento 2. ....	62
Figura 42 – Hidrograma do ponto B durante o evento 3. ....	62
Figura 43 – Curva-chave do ponto B.....	62
Figura 44 – Estimativa dos valores de vazão no ponto B para cotas até 1 metro de altura .....	63
Figura 45 – Hidrograma do ponto C durante o evento 2. ....	63
Figura 46 – Hidrograma do ponto E durante o evento 3. ....	64
Figura 47 – Curva-chave do ponto E durante o evento 3.....	65
Figura 48 – Hidrograma do ponto F durante o evento 3.....	65
Figura 49 – Hidrogramas de todos os pontos durante o evento 3.....	66
Figura 50 – Hidrograma da soma das vazões na microbacia durante o evento 1.....	67
Figura 51 – Hidrograma da soma das vazões na microbacia durante o evento 2.....	67
Figura 52 – Hidrograma da soma das vazões na microbacia durante o evento 3.....	68
Figura 53 - Imagem do satélite <i>LANDSAT – 7</i> do dia 18/12/2001.....	70
Figura 54 – Imagem do satélite <i>LANDSAT – 7</i> do dia 22/07/1999.....	73
Figura 55 – Gráfico com a assinatura espectral da área de estudo em período de estiagem.....	74
Figura 56 – Gráfico com a assinatura espectral da área de estudo em período de cheia.....	74
Figura 57 – Gráfico com a assinatura espectral da área de estudo em período de estiagem e cheia .....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação e conceituação de graus de risco.....	40
Tabela 2 – Características dos eventos de chuva monitorados .....	46
Tabela 3 - Estações Pluviométricas utilizadas para cálculo da precipitação média em Caçapava do Sul .....	51
Tabela 4 - Dados obtidos através do polígono de Thiessen para o dia 22/07/1999 (período de cheia) .....	53
Tabela 5 - Dados obtidos através do polígono de Thiessen para o dia 18/12/2001 (período de estiagem) .....	53

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Problema de Pesquisa .....	12
1.2	Objetivos .....	13
2	CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Desastres de natureza hidrometeorológica.....	15
2.2	Aspectos Conceituais.....	15
2.3	Desastres hidrológicos relacionados à urbanização .....	19
2.4	Sistema de Informações Geográficas: Ferramenta utilizada no gerenciamento de áreas inundáveis .....	21
3	ÁREA DE ESTUDO .....	24
3.1	Aspectos Físicos .....	24
3.2	Pedologia .....	26
3.3	Climatologia .....	26
3.4	Hidrologia.....	28
3.5	Contexto Geológico.....	30
3.5.1	Geologia Regional - Escudo Sul-Riograndense .....	30
3.5.2	Geologia Local.....	31
3.5.3	Complexo Granítico Caçapava do Sul e encaixantes.....	32
3.5.4	Complexo Metamórfico Passo Feio .....	35
3.5.5	Bacia do Camaquã .....	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	38
4.1	Materiais e Dados .....	38
4.2	Metodologia.....	38
4.2.1	Estudos Hidrológicos: Hidrograma e Curva-Chave .....	42
4.2.2	Polígonos de Thiessen – Precipitação média sobre uma bacia.....	51
4.2.3	Análise da Reflectância da Área de Estudo.....	53
5	RESULTADOS.....	59
5.1	HIDROGRAMAS E CURVAS-CHAVE .....	59
5.1.1	Hidrogramas de cada ponto para cada evento .....	59
5.1.2	Hidrogramas de toda a bacia para cada evento .....	66
5.2	Determinação da Precipitação Efetiva .....	70
5.3	Análise da Reflectância do Pixel da área de Estudo .....	70
6	CONCLUSÕES.....	76
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
8	REFERÊNCIAS .....	79

APÊNDICE A – Pranchas de Setorização das Áreas de Risco de Caçapava do Sul –

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente 80% da população do Brasil encontra-se em área urbana e grande parte deste crescimento foi acompanhado de má infra-estrutura. Os efeitos do aumento populacional nas cidades são relevantes sobre todo o aparelhamento urbano relativo aos recursos hídricos. Neste contexto, as inundações e enchentes constituem-se em um dos mais importantes impactos sobre a sociedade (TUCCI 1997).

As inundações bruscas atingem várias cidades do Brasil causando prejuízos sociais e econômicos e até mesmo perda de vidas nas regiões atingidas. Caçapava do Sul encontra-se entre os municípios com maior número de enxurradas no estado do Rio Grande do Sul. A cidade tem um histórico de oito inundações bruscas ou enxurradas ocorridas no período de 1991 a 2012 (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2012).

De acordo com a Defesa Civil, a última enxurrada ocorreu em Novembro de 2014, com águas atingindo mais de um metro de altura nas residências, além das inundações em torno dos principais rios e arroios do local. Trata-se de desastres hidrológicos que ocorrem tanto na área urbana como no interior do município, causando prejuízos para toda a população. Essas inundações são bruscas, isto é, ocorrem em um curto período de tempo.

Não existem ainda estudos que detalhem de fato as áreas sujeitas às inundações bruscas na cidade, tampouco algum que vise o estudo das características hidrométricas das microbacias do local. Tais pesquisas poderiam fornecer um subsídio para a Defesa Civil Municipal, caracterizando os locais suscetíveis a enxurradas da cidade e fornecendo informações acerca do comportamento fluvial das microbacias urbanas da área.

Dentro desse contexto, este trabalho visa estudar as enxurradas que ocorrem na área urbana. Os fatores utilizados para isso incluem o mapeamento das áreas de risco ao desastre em questão, estudo das variáveis hidrométricas em microbacia urbana que recebe enorme quantidade de água. Para isso, foi realizada a análise do hidrograma da área de estudo e posterior criação da curva-chave. Além disso, foi realizada análise de imagem de satélite referente à reflectância da área em período de cheia e estiagem que compreende um pixel de resolução espacial 30 x 30 metros. Deste modo, o principal problema a ser solucionado é a caracterização

hidrométrica da microbacia de análise, localizada em área central da cidade de Caçapava do Sul e o estudo do comportamento espectral do local.

As formas de relevo, as características da rede de drenagem da bacia hidrográfica, a pluviosidade (intensidade, quantidade, distribuição e frequência), características do solo e teor de umidade e a presença ou ausência de cobertura vegetal são condicionantes que permitem compreender a dinâmica do escoamento das águas nas bacias hidrográficas (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). Diante disso, o método proposto para a realização deste trabalho visa à obtenção das vazões medidas em área central da cidade e a geração da curva-chave, que permite prever dados de vazão para outros níveis de água. Também será analisado o relevo como fator auxiliar no estudo da ocorrência de inundações bruscas através da criação de um modelo digital de terreno.

As geotecnologias auxiliam no estudo dos fatores que condicionam a ocorrência das inundações bruscas (ZERGER; SMITH, 2003) e são utilizadas neste trabalho para uma melhor visualização da área regional e para o mapeamento das áreas de risco.

Através da correlação das variáveis ambientais utilizadas neste estudo, busca-se realizar uma análise crítica dos resultados obtidos, já que deste modo às áreas sujeitas a enxurrada podem ser identificadas, bem como o entendimento de sua gênese através dos fatores que influenciam sua ocorrência.

## **1.1 Problema de Pesquisa**

Os condicionantes que atuam em uma microbacia hidrográfica de Caçapava do Sul e que desencadeiam a ocorrência de inundações bruscas na cidade, possuindo como parâmetros de análise a caracterização hidrométrica da microbacia de estudo. Quais serão as respostas obtidas através dessas análises, para que se possa entender a dinâmica da hidrologia da área e deste modo compreender a ocorrência das enxurradas, a fim de auxiliar no planejamento territorial?

## **Justificativa**

Para entender a dinâmica de uma bacia hidrográfica é necessário analisar suas características físicas, como as formas de relevo, o uso do solo e como estes agem em conjunto desencadeando inundações bruscas.

É comum notar na área urbana do município vários pontos de alagamento quando ocorrem precipitações, com uma grande quantidade de água parada nas ruas, evidenciando a deficiência da drenagem urbana da área. Apesar da cidade não ser totalmente impermeabilizada, já que poucas ruas são asfaltadas, a água das chuvas na maioria das vezes se acumula na superfície, o que prejudica a locomoção das pessoas na região e causa transtornos econômicos em alguns bairros, onde as águas atingem as moradias, tornando clara a fragilidade ambiental do município.

É necessário compreender os motivos pelos quais este volume de água não escoar corretamente, através do estudo das variáveis de uma microbacia hidrográfica do município. A deficiência de informações a respeito do comportamento das águas fluviais do município acarreta em ocupação desordenada de locais que não deveriam ser habitados, o que leva a perdas econômicas, podendo inclusive ameaçar vidas humanas além de possibilitar a proliferação de doenças. Além disso, as enxurradas ocorrem de forma brusca, o que dificulta o sistema de alerta, e sua previsão consiste em um grande desafio para os órgãos governamentais (NOAA 2010).

Com este estudo, pretende-se colaborar com o planejamento e gestão territorial no local, através da análise das características de microbacia urbana onde ocorrem inundações bruscas e alagamentos.

## **1.2 Objetivos**

### Geral

Realizar um estudo acerca das enxurradas que ocorrem em Caçapava do sul, através de dados hidrológicos da microbacia de estudo e imagens de satélite.

### Específicos

1. Avaliar e definir as características morfológicas e hidrométricas de uma microbacia hidrográfica urbana;

2. elaborar mapas temáticos que permitam visualizar as áreas atingidas por inundações bruscas; e
3. compreender os condicionantes das inundações bruscas em área urbana do município de Caçapava do Sul;

## **2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Desastres de natureza hidrometeorológica**

A péssima aplicação de políticas públicas no Brasil resulta em ocupação de áreas ambientalmente frágeis. Em locais marcados por alta pluviosidade, o baixo padrão construtivo das moradias e a infraestrutura urbana debilitada tornam as ocupações extremamente vulneráveis, podendo causar perdas humanas e materiais. Dentro desse contexto as enxurradas e inundações representam um dos principais tipos de desastres naturais que atingem comunidades em todo o globo, sejam em áreas rurais ou urbanas. Tais fenômenos de natureza hidrometeorológica são causados na maior parte das vezes por chuvas rápidas e fortes ou intensas e de longa duração, degelo nas montanhas e outros eventos climáticos, como os furacões e os tornados, e podem ser intensificadas pela ação humana como impermeabilização do solo, retificação de cursos d'água, assoreamento e redução no escoamento de canais devido a obras (MACEDO et al., 2007).

### **2.2 Aspectos Conceituais**

Existe certa confusão a respeito dos termos alagamento, enchente, enxurrada, inundação brusca e gradual. Este tópico visa esclarecer estes diferentes tipos de processos e mencionar as diferenças nas classificações entre autores distintos.

Macedo et al. (2007) diferenciam os termos da seguinte maneira:

Ao alcançar um curso d'água, as águas da chuva causam aumento da vazão por certo período de tempo. Este acréscimo de água tem o nome de cheia ou enchente (figura 1).

Figura 1- Perfil esquemático dos processos de enchente e inundação



Fonte: Macedo et al. (2007).

O alagamento é definido como o acúmulo momentâneo de águas em certa área por problemas no sistema de drenagem, que pode ou não ter relação com processos de natureza fluvial. Diante disso, o alagamento é comum em áreas urbanas.

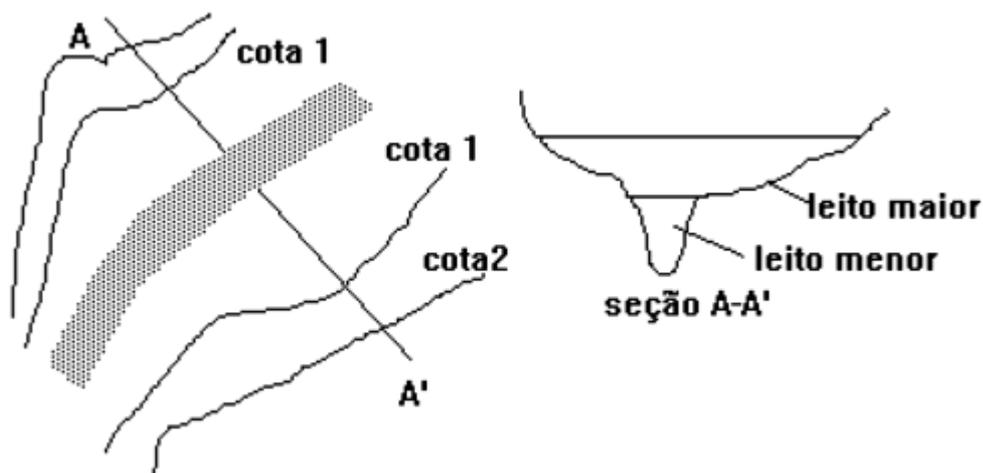
As enxurradas podem ser definidas como escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associada a áreas de domínio dos processos fluviais.

Em relação às inundações, durante o período de enchente, as vazões atingem uma magnitude que supera a capacidade de descarga da calha da drenagem e extravasam para as áreas marginais geralmente não ocupadas pelas águas. A área marginal que recebe esses excessos de água recebe o nome de várzea ou leito maior (figura 2). Ainda de acordo com o autor, a definição para áreas de risco a enchentes e inundações seriam terrenos marginais e cursos d'água ocupados por habitações precárias sujeitas ao impacto direto de processos de enchentes e inundação.

As inundações são confundidas com as enchentes até mesmo no mundo científico, mas os termos são distintos e não devem ser usados incorretamente. Kobiyama et al. (2006) aponta este erro por muitos autores e diferencia enchente de inundação através do fato de que quando o rio fica praticamente cheio, mas sem ocorrer o transbordamento, o evento é chamado de enchente ou cheia. Se as águas extravasam do leito do rio, o fenômeno é chamado de inundação, que podem ser divididas em bruscas ou graduais (figura 3). O gráfico mostra que o tempo de

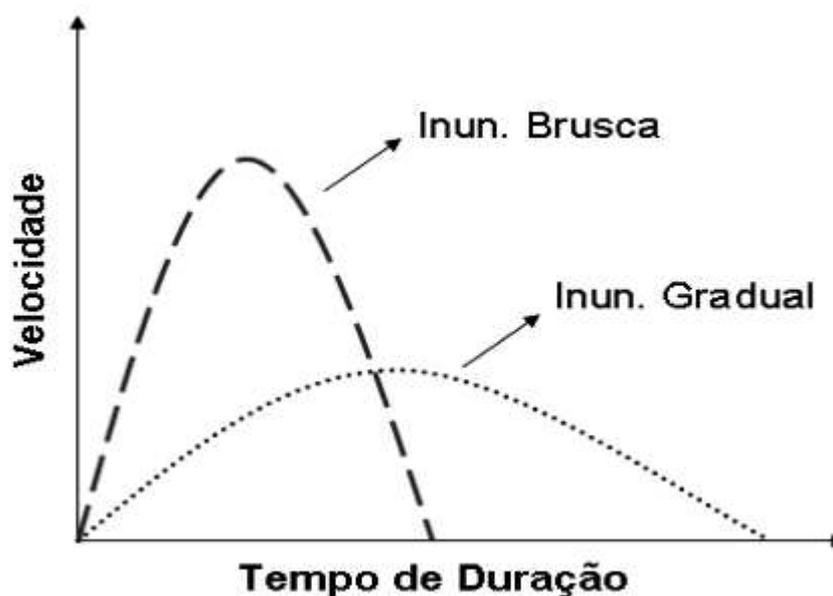
duração da inundação brusca é menor, no entanto, a velocidade de escoamento é maior.

Figura 2 - Inundação de áreas ribeirinhas



Fonte: Tucci (1997).

Figura 3 – Diferenças entre a inundação brusca e gradual



Fonte: Kobiyama et al.(2006)

Castro (2003) considera enxurradas e inundações bruscas como o mesmo evento, que se caracteriza por ocorrer em locais de relevo acidentado, provocadas por chuvas intensas e concentradas, causando súbitas elevações dos caudais, que

escoam de forma rápida e intensa. Devido à inclinação do terreno, a torrente se intensifica pelo favorecimento do escoamento, causando muitos danos.

De acordo com a COBRADE - Classificação e codificação brasileira de desastres (2012) o termo inundação brusca passou a ser chamado de enxurrada. Por meio desta classificação, os desastres naturais de natureza hidrológica são divididos em: Inundações, Enxurradas e Alagamentos.

A Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade) define as inundações da seguinte maneira:

Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionada por chuvas prolongadas em áreas de planície (COBRADE, 2012).

Para as enxurradas, a definição é a seguinte:

Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo. (COBRADE, 2012).

Em relação aos alagamentos, a definição se dá por:

Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüente acúmulo de águas em áreas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas. . (COBRADE, 2012).

É possível notar certa falta de convergência nos termos definidos entre os vários autores. No Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, em sua segunda edição, o que antes era chamado de inundação brusca, passa a ser designado como enxurrada, baseando-se na classificação da Cobrade (UFSC, 2012). Dentro desse contexto o termo enxurrada será utilizado com a mesma conotação de inundação brusca neste trabalho.

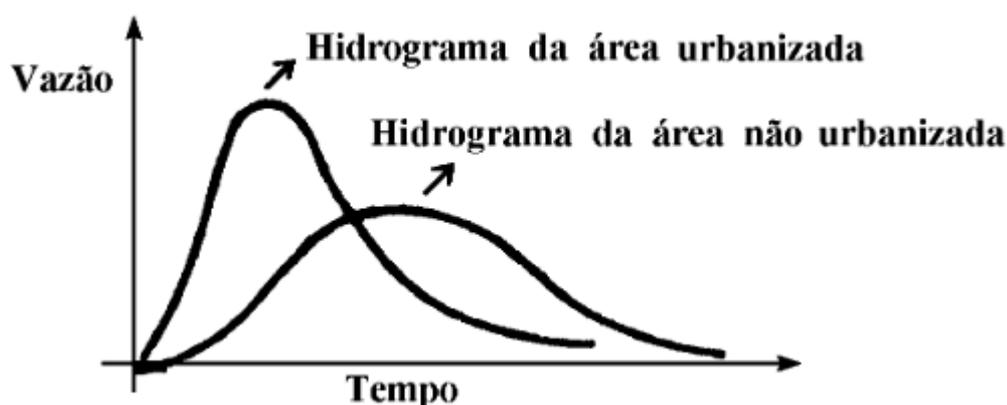
### 2.3 Desastres hidrológicos relacionados à urbanização

Apesar de cada local possuir características peculiares, as causas das enchentes urbanas obedecem a uma equação hidráulica comum: grandes volumes de água em tempos mais curtos que são escoados por drenagens naturais ou construídas, não sendo suficiente para lhes dar vazão. (SANTOS, A.R., 2012).

As enchentes urbanas podem ser consequências de dois processos distintos: enchentes em áreas ribeirinhas ou devido à urbanização. O primeiro trata-se de enchentes naturais, que acometem as pessoas que vivem próximas aos leitos dos rios e que não planejam o uso do solo. A segunda consequência das enchentes urbanas é causa direta da urbanização (TUCCI, 2003).

A atividade urbana impermeabiliza o solo, seja por calçadas, ruas, pátios e até telhados. A água que infiltraria no solo caso não houvesse esses obstáculos, fica retida na superfície e escoar por condutos, aumentando o escoamento superficial. Esta água agora escoar no canal, exigindo grande capacidade de escoamento das seções (TUCCI 2003). A figura 4 mostra um hidrograma hipotético em uma bacia natural e em uma área urbanizada. O gráfico mostra que as áreas urbanizadas sofrem aumento da vazão máxima.

Figura 4 – Hidrograma hipotético ilustrando o impacto da urbanização



Fonte: Tucci (2003).

Na cidade de Rio Claro, os primeiros eventos de inundação foram decorrentes da impermeabilização do solo (MORAES et al., 2012). O ciclo hidrológico sofre alterações nas áreas urbanas devido às mudanças na superfície e a canalização do escoamento, contaminação do ar, das superfícies urbanas e do material sólido disposto pela população. Em países subdesenvolvidos a urbanização e as obras de

drenagem são realizadas de maneira insustentável, e tais medidas já não são executadas pelos países desenvolvidos há trinta anos. Este processo é decorrente da urbanização, com a impermeabilização e a canalização do escoamento pluvial (TUCCI, 2003).

Rezende (2012) utilizou modelos hidrológicos e hidráulicos para estimar e delimitar possíveis áreas inundáveis através do levantamento de dados referentes aos aspectos hidrológicos envolvidos na drenagem urbana. A autora aponta para um dos maiores problemas relacionados à drenagem urbana no âmbito municipal, que é a falta de conhecimento da realidade de um município em relação à drenagem, bem como os problemas relativos à estrutura institucional de drenagem urbana nos municípios de pequeno e médio porte no Brasil.

Sem levar em conta a drenagem urbana e a impermeabilização do solo, mas baseando-se em dados históricos, Saueressig (2012) realizou o mapeamento das áreas de risco a inundação em Itaqui, RS, caracterizando os locais em graus de perigo a partir da infraestrutura pública e padrão construtivo das residências. A autora, no entanto, não abordou os motivos pelos quais as inundações ocorrem no município.

Para Tucci (2000) uma ferramenta importante utilizada para o planejamento e obtenção de respostas dentro de uma microbacia hidrográfica são basicamente os modelos hidrológicos. Rancy, Sampaio e Suskek (2007) encontraram um coeficiente de escoamento médio de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  para uma microbacia do Rio Cascavel com diferentes tipos de cobertura: urbano, plantio e mata.

Variáveis hidrológicas como vazão e chuva efetiva são bastante sensíveis à umidade do solo antecedente aos eventos de precipitação e devem ser incorporadas a modelagem hidrológica para previsões acerca do impacto de mudanças no uso do solo em microbacias (MELLO; LIMA; SILVA, 2007).

Para Sirangelo (2014), a suscetibilidade de inundações e enxurradas é determinada por uma soma de fatores geomorfológicos e de uso e ocupação. Os eventos de enxurrada tem seu comportamento mais relacionado à topografia do terreno e a sua geomorfologia em escala local, enquanto que os eventos de inundação refletem características em nível de sub-bacia.

Conorath (2012) afirma que as notícias sobre inundações são comuns no Brasil e que a cidade de Joinville, SC sofre frequentemente com esse tipo de desastre. O autor estudou as características morfométricas da bacia hidrográfica do

rio Cachoeira, através de sua área, perímetro, comprimento total e ordem hierárquica dos canais. Com essas informações foi possível indicar as áreas suscetíveis a inundações no município. Por outro lado, Muller (2012) estuda a mesma bacia utilizando outras variáveis ambientais atuantes no processo de inundação: declividade, solos, geomorfologia e uso do solo. Através do Sistema de Informações Geográficas, a autora executou a sobreposição e o cruzamento dos mapas temáticos utilizando o algoritmo de média ponderada, obtendo como resposta gráfica a definição das áreas de suscetibilidade a inundações.

Rocha (2011) apresenta uma proposta de mapeamento geomorfológico para as áreas inundáveis em um trecho da planície fluvial inundável do rio Paraná. Através de imagens de satélite dos níveis hidrológicos dos rios em estudo e perfil topográfico da área, o autor mapeou três zonas de inundação, sendo que a área mais frequentemente inundada se caracteriza por baixo relevo.

Ainda com relação à geomorfologia do local, as inundações no rio Negro no Paraná não são ocasionadas por fatores antrópicos, mas são decorrentes da dinâmica natural do rio quando sua bacia hidrográfica é atingida por chuvas excepcionais (KÖENE, 2013). Neste caso, além da ocupação nas margens do rio Negro, também favorece a ocorrência de inundações no interior da cidade um relevo de baixas declividades, que auxilia na propagação das inundações, principalmente através dos canais fluviais. Já no córrego Cesários em Anápolis, GO, a amplitude altimétrica da bacia hidrográfica facilita o deslocamento da água das mais altas altitudes para as mais baixas altitudes. As formas das vertentes côncavas em perfil e côncava em planta implicam na concentração de água em direção as partes mais baixas do relevo, que estão relacionadas diretamente as ocorrências de inundação (SANTOS, E. R., 2014). Diversos autores atribuem as causas das inundações à forma de relevo dos locais de estudados (ROCHA, 2011; KÖENE, 2013; SANTOS E. R., 2014).

#### **2.4 Sistema de Informações Geográficas: Ferramenta utilizada no gerenciamento de áreas inundáveis**

Os materiais utilizados para a caracterização de áreas inundáveis são as imagens de satélite visualizadas em *softwares* de Sistema de Informações Geográficas (SIG). A integração do SIG para criar mapas de áreas de risco a inundações tem sido atualizada e popularizada desde o começo do século XXI,

como resultado do aumento da disponibilidade de bases espaciais e *softwares* de SIG. Além de medidas como o ordenamento do território, o SIG pode ajudar no modelamento de cenários e interagir com a dimensão espacial de um desastre (ZERGER; SMITH 2003). As imagens aéreas são utilizadas como mapas base para áreas inundadas, pois estas podem ser adquiridas em qualquer condição climática e a qualquer momento (DUAN et al., 2009).

O SIG é altamente adequado para o gerenciamento de áreas inundáveis e previsões devido a sua capacidade de ligar e integrar dados temporais e geoespaciais. Particularmente em países subdesenvolvidos, o uso de mapas de inundação ainda é limitado devido à falta de escalas de dados apropriada e profissionais em hidrologia que trabalham com esse tipo de *software*. A demanda por sistemas baseados em geotecnologias na análise de planícies de inundação tende a aumentar no futuro, conforme as ferramentas digitais tornam-se disponíveis. Por enquanto, uma alternativa é o desenvolvimento de metodologias baseadas em avanços mais simples, que consideram um número limitado de dados como pluviosidade, declividade, características geomorfológicas e uso do solo (SIMÕES; TRANNIN, 2012).

As inundações bruscas ou enxurradas fazem parte dos desastres naturais ocorrentes nos municípios brasileiros e merecem especial atenção dos órgãos públicos, já que interferem diretamente na qualidade de vida das pessoas. Por esse motivo, se tem dado maior atenção às áreas suscetíveis a esse tipo de desastre, a fim de procurar soluções e respostas aos eventos ocorridos nos últimos anos. Esta temática é importante, pois envolve aspectos geológicos, sociais e econômicos. A mídia contribui em grande parte como meio de informação a respeito das inundações bruscas, principalmente por estarem presentes todos os anos na maioria dos estados.

As pesquisas acerca desta temática geralmente concentram-se em estudos de caso, tanto em área urbana quanto rural e muitos deles não são feitos apenas no campo das Ciências da Terra. São vistos em estudos sociais e políticos, como na Geografia, que geralmente enfocam a vulnerabilidade das pessoas que moram em regiões ribeirinhas e mapeiam as áreas de acordo com seu grau de risco. Na Engenharia, o enfoque é dado no dimensionamento inadequado, ao longo do tempo e entupimento de redes de drenagens superficiais e impermeabilização do solo como causas de inundações. Por outro lado, na geologia, os estudos

geomorfológicos e pedológicos das bacias hidrográficas são prioritários, quando se trata deste tipo de evento.

O conhecimento produzido na área de desastres naturais está crescendo cada vez mais, devido ao interesse em suas causas e remediações, já que esses eventos podem ser catastróficos. A produção de estudos sobre a temática em questão parece estar contribuindo para o entendimento dos fatores desencadeantes, que vão desde fatores antrópicos, como drenagem urbana e impermeabilização do solo e a dinâmica natural da bacia hidrográfica. Muitos locais com incidência de inundações estão sendo estudados e mapeados. Tais estudos geram consequências políticas, sociais e metodológicas, por contribuírem com o acervo de conhecimento na área. Diversas regiões apresentam ocorrência destes desastres, sendo que os resultados dos estudos podem ser integralizados a partir de suas similaridades, ajudando no desenvolvimento de políticas públicas. A partir dos estudos relacionados diretamente ao tema, as estratégias executadas parecem estar concentradas no mapeamento das áreas de risco e as causas das inundações, contribuindo de grande forma para a prevenção deste tipo de evento.

### 3 ÁREA DE ESTUDO

Na língua Tupi-Guarani, Caçapava significa “Clareira da Mata”, “Estrada na Mata” e “Fim da Travessia no Monte”. A história da cidade começou por volta de 1777, a partir de um acampamento militar localizado numa clareira cravada na mata virgem, um ponto estratégico. Este acampamento foi chamado de Clareira dos Charruas e deu origem a Vila de Caçapava, em 25 de outubro de 1831. Passou a ser chamada de cidade em 1885 (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAÇAPAVA DO SUL 2013).

Caçapava está entre os municípios mais antigos do Estado do Rio Grande do Sul, situado na Mesorregião Sudeste Rio-Grandense e na Microrregião da Serra do Sudeste, cujo território se situa na região conhecida como Zona da Campanha.

A economia se baseia nas extensas jazidas de minério, tais como zinco, cobre, calcário e cal. A criação de gado e agricultura, possíveis de serem observadas através dos grandes campos abertos, que caracterizam a paisagem da região do Pampa, também contribuem com grande parte da renda do local (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAÇAPAVA DO SUL 2013).

De acordo com a prefeitura de Caçapava do Sul (2013), o município possui 33.690 habitantes, sendo que 25% destes encontram-se na área rural. Possui área total de 3.047,120 km<sup>2</sup> com densidade demográfica de 11,6 habitantes por km<sup>2</sup>. Localiza-se entre as coordenadas geográficas: 30° 00' e 31° 00' latitude sul e 54° 00' e 53° 00' longitude oeste e sua altitude é de aproximadamente 450 metros acima do nível do mar.

#### 3.1 Aspectos Físicos

Caçapava do Sul se encontra a 260 km da capital do estado, Porto Alegre, e suas vias de acesso são pela BR 290, que liga o município a capital do estado, BR 153 que liga Bagé a Caçapava do Sul, BR 392 e RS 357, que ligam Santana da Boa Vista e Lavras do Sul a Caçapava, respectivamente (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAÇAPAVA DO SUL 2013).

A área de estudo está contida dentro do município de Caçapava do Sul, no perímetro urbano, entre as ruas Benjamin Constant e Barão do Rio Branco (figura 5). Cada esquina entre as duas ruas do local de estudo tiveram seus dados acerca do



### 3.2 Pedologia

No município de Caçapava do Sul ocorrem seis classes de solo. Os Neossolos, o tipo mais abrangente, é encontrado em 58,20% da área do município. Os Argissolos ocorrem em 28,71% da área, seguidos dos Latossolos, que abrangem 6,12%. Em menor proporção, ocorrem os Planossolos, abrangendo 3,42% da área de Caçapava do sul, Chernossolos encontrados em 2,58% da área e por fim, os Luvisolos, ocorrentes em 0,96% do município (NEOCORP DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS E SERVIÇOS LTDA 2010).

A seguir são descritas as principais características dos Neossolos, encontrados na área de estudo no município, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMPRABA).

Neossolos:

Solos constituídos por material mineral, ou orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica, ou por influência dos demais fatores de formação, que podem impedir ou limitar a evolução dos solos. (EMBRAPA, 2006, p.84)

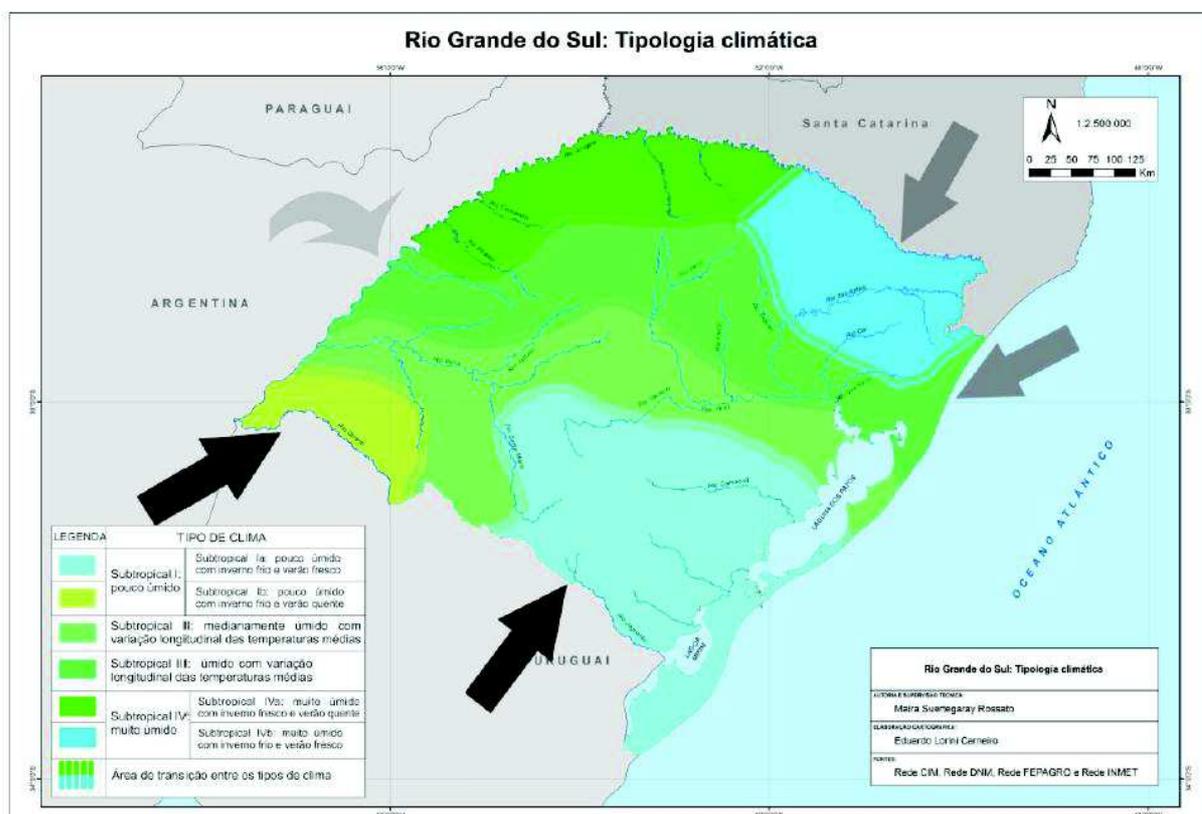
### 3.3 Climatologia

Uma nova abordagem para o clima do Rio Grande do Sul foi realizada por Rossato (2011) através do foco na variabilidade espaço-temporal dos elementos climáticos - meteorológicos, em escala de estudo regional dentro de um período de análise de 1931 a 2007.

As precipitações no estado do Rio Grande do Sul estão relacionadas aos sistemas frontais e os grandes dinamizadores do clima no estado são os sistemas polares em interação com os tropicais (ROSSATO 2011).

Através de sua nova classificação, a autora classifica a diferenciação climática do estado com maior detalhe: o RS apresenta clima subtropical compartimentado em quatro tipos climáticos principais (figura 6).

Figura 6 – Climas do Rio Grande do Sul



Fonte: Saueressig (2012).

De acordo com a figura, Caçapava do Sul está inserido na região de tipologia climática subtropical Ia: pouco úmido com inverno frio e verão fresco.

Este tipo de clima se caracteriza por:

A área tem maior influência dos sistemas polares, os quais atuam em 45-48% dos dias do ano e menor participação dos sistemas tropicais marítimos que respondem por 20-25% dos dias. Os sistemas frontais atuantes em 22-23% dos dias anuais são, em volume, os menores do estado. Chove entre 1200-1500 mm anuais, distribuídos em 80-100 dias de chuva. Mensalmente esta precipitação é distribuída em média entre 6 e 9 dias de chuva, podendo aumentar para 9-12 mais ao norte da região. Nos meses mais seco (ex. dezembro) as chuvas mensais variam entre 75 e 115 mm e nos mais chuvosos (ex. julho) o volume aumenta para 115-155 mm (ROSSATO, 2011, p.192)

Ainda, de acordo com a autora, nesta região existe uma variação de precipitação, sendo o norte o local mais chuvoso. Este núcleo de maior precipitação está localizado sobre o Escudo Sul-riograndense e é explicado pela maior altitude

desta unidade geotectônica que promove a ascensão do ar que entra de sudoeste pelo vale do rio Santa Maria e do quadrante norte pela Depressão Central.

### 3.4 Hidrologia

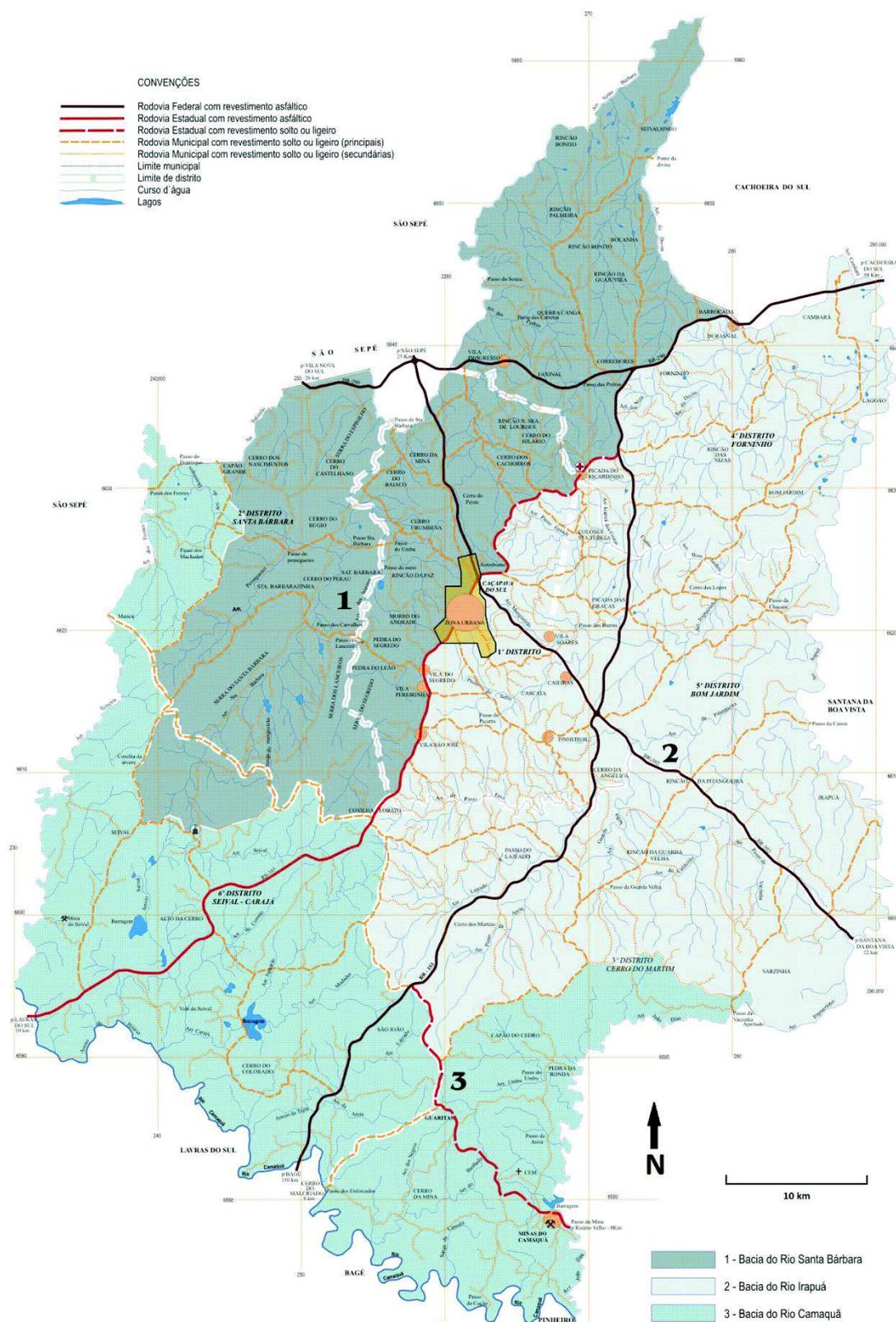
O município de Caçapava do Sul está inserido em duas regiões hidrográficas do estado: a Região Hidrográfica do Guaíba e a Região Hidrográfica do Litoral. Na região do Guaíba, o município abrange duas sub-bacias hidrográficas: a Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, que se encontra na porção centro-leste do estado e a Bacia Hidrográfica dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim, localizada na porção centro-ocidental do estado. Na Região Hidrográfica do Litoral, Caçapava do Sul abrange a Bacia Hidrográfica do Camaquã, que se encontra na região central do Rio Grande do Sul (SEMA 2008).

Em termos territoriais, a Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí abrange maior parte do município, cerca de 40% do total da área. As bacias dos rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim e Camaquã somam 30,38% e 28,82%, respectivamente. Ainda, de acordo com o SEMA (2008), a população total na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí está em torno de 25.963 pessoas, enquanto que para as outras duas bacias apenas 7.727 pessoas estão inseridas em seus domínios territoriais. A partir desses dados, observa-se que a Bacia do Baixo Jacuí possui grande importância e abrangência em Caçapava do Sul.

Com relação às macrobacias hidrográficas, Caçapava do Sul está na área da macrobacia do Rio Santa Bárbara a noroeste, macrobacia do Rio Irapuá a nordeste e na macrobacia do Rio Camaquã, abrangendo parte da porção noroeste e sul do município (figura 7).

A região urbana de Caçapava do Sul possui seis microbacias atuantes: Passinho da Aldeia, na porção noroeste, Fonte do Mato na porção nordeste, Norte, Leste, Oeste e Salço localizada na porção sudeste da cidade. O local de monitoramento de vazões neste estudo está localizado na microbacia urbana Passinho da Aldeia, região central da cidade, entre as ruas Barão do Rio Branco e Benjamin Constant, um dos locais mais castigados por alagamentos durante as chuvas.

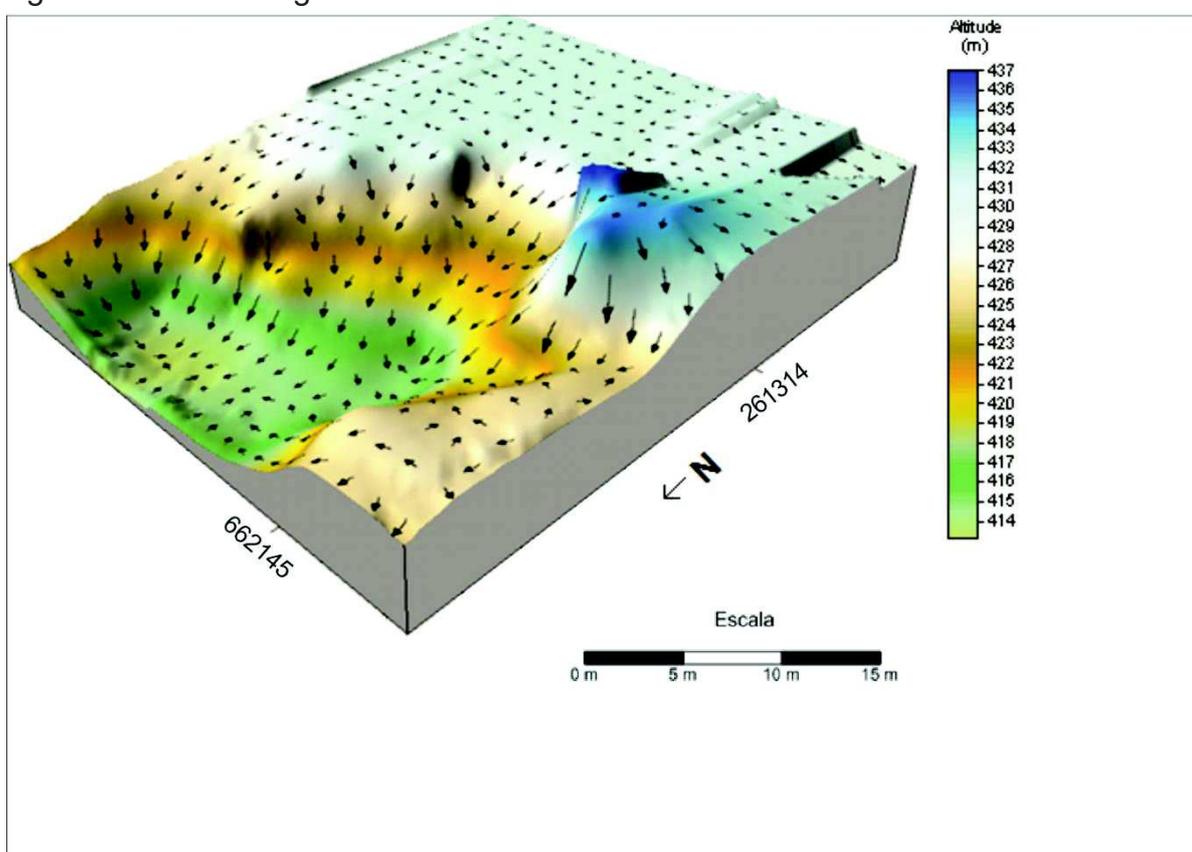
Figura 7 - Macrobacias hidrográficas de Caçapava do Sul



Fonte: Modificado de Prefeitura Municipal De Caçapava Do Sul (2015).

A figura 8 ilustra o Modelo Digital de Terreno (MDT) da microbacia de estudo, localizada entre as Ruas Benjamin Constant e Barão do Rio Branco, onde foram coletados os dados hidrométricos. As setas indicam a direção do fluxo do escoamento. O MDT foi criado a partir de 1.646 pontos de controle no *software Surfer 10*. A figura serve para ilustrar o delineamento da microbacia estudada, através dos pontos mais altos, que servem como divisores de água. O mapa foi feito através das curvas de nível extraídas do mapa do Plano Diretor do Município.

Figura 8 – Modelo digital de terreno da microbacia de estudo.



Fonte: a autora

### 3.5 Contexto Geológico

#### 3.5.1 Geologia Regional - Escudo Sul-Riograndense

O escudo Sul-Riograndense, principal unidade geotectônica regional, foi gerado através de eventos de acreção e colisão de blocos crustais durante o ciclo Transamazônico (2.1 Ga) e Brasiliano/Pan-Africano (900-540 Ma) (CHEMALE JR 2000). Quatro domínios diferentes discernidos a partir de características estruturais-

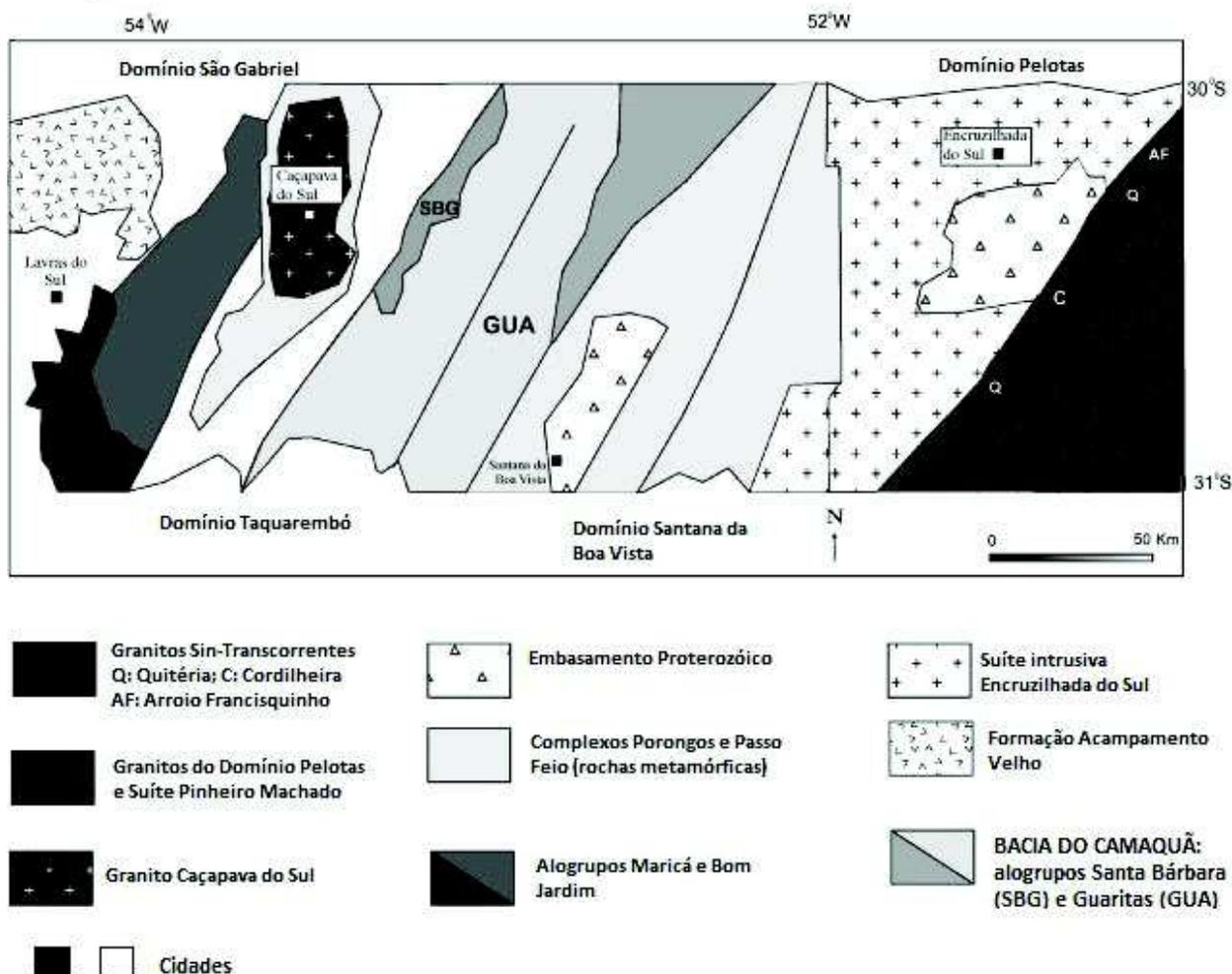
petrotectônicas são reconhecidos no escudo baseado em geofísica (SOLIANI et al., 2000). O Domínio Taquarembó é constituído de um complexo granulítico Paleoproterozóico (> 2.0 Ga) e de corpos magmáticos Brasileiros. Segundo Babinski et al. (1996) bloco São Gabriel é um terreno que representa acreção juvenil com cerca de 700 Ma, formado por rochas metamórficas ofiolíticas relacionadas a arcos, tonalitos, dioritos e unidades ultramáficas e vulcanoclásticas. O Domínio Santana da Boa Vista ou Cinturão Tijuca representa um embasamento antigo (>2.0 Ga) com rochas Neoproterozoicas supracrustais, metavulcânicas e metassedimentares de proveniência cratônica (HARTMANN et al., 2003). O Domínio Pelotas ou Cinturão Dom Feliciano é constituído de rochas do tipo granito-gnaiss-migmatitos, que representam magmatismo Neoproterozóico (650-500 Ma).

O Escudo Sul - Riograndense evoluiu durante o ciclo Brasileiro/Pan-Africano envolvendo processos arcos de ilha (900-800 Ma) e arco continental (800-700 Ma) e aproximação e colisão final das massas continentais designadas Kalahari e Rio de la Plata. Em resposta à tectônica colisional e pós-colisional, durante a colagem de Gondwana, uma série de sucessões vulcânicas e sedimentares se acumularam. Essas unidades ligadas por discordâncias, expostas em setores ligados por falhas, representam bacias do tipo antepaís, *strike-slip*, e *rift*, que dividiram um local preferencial de subsidência, a chamada Bacia do Camaquã (PAIM; CHEMALE JUNIOR; LOPES, 2000).

### **3.5.2 Geologia Local**

A área de estudo compreende unidades pertencentes ao Complexo Granítico Caçapava do sul, Complexo Metamórfico Passo Feio e Sub-bacia Santa Bárbara, pertencente à Bacia do Camaquã (figura 9).

Figura 9 - Localização da Bacia do Camaquã, do Granito Caçapava e mapa geológico esquemático do Escudo Sul-riograndense ilustrando os principais domínios geotectônicos, elucidando os alugrupos Guaritas e Santa Bárbara na Bacia do Camaquã.



Fonte: Modificado de Maraschin et al., (2010)

### 3.5.3 Complexo Granítico Caçapava do Sul e encaixantes

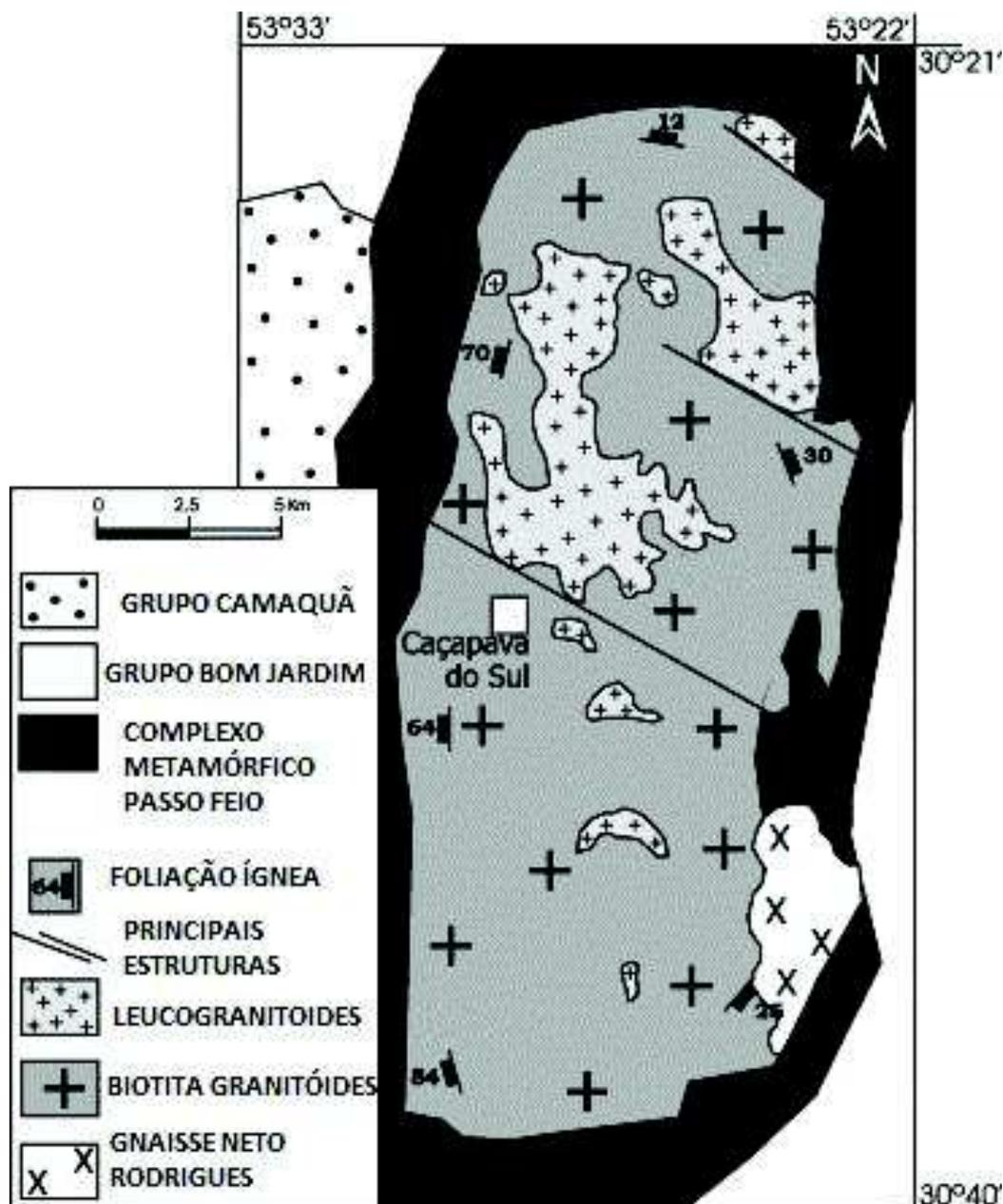
O Complexo Granítico Caçapava do Sul (CGCS), segundo BITENCOURT (1983), é um corpo intrusivo com aproximadamente 250 km<sup>2</sup> aflorantes e é constituído por sienogranitos a granodioritos, com predominância de monzogranitos e raras ocorrências de tonalitos. O CGCS apresenta foliação, principalmente nas bordas, definida por forte estiramento de quartzo e feldspato e alinhamento de minerais placóides e prismáticos.

Principalmente no centro do corpo, as rochas do CGCS são bastante fraturadas, sendo comuns falhas normais com direção NW-SE, com planos subverticais e falhas de direção N-NE, com deslocamentos laterais, responsáveis pelo desenvolvimento das zonas cataclásticas BITENCOURT (1983) (figura 10).

Com relação à espessura do corpo, estudo gravimétricos feitos por Costa et al. (1995), na sua porção N, mostram que o corpo atinge espessuras de até 4 Km. Ainda, segundo esses autores, a intrusão do CGCS foi controlada por uma inflexão em uma falha transcorrente lateral direita, em uma zona de transtensão, com direção NE-SW.

Remus et al. (1997) dataram zircões (U-Pb- SHRIMP) do CGCS e obtiveram  $565 \pm 14$  Ma para rochas de uma fácies não foliada (porção N) e  $540 \pm 11$  Ma para rochas de uma fácies foliada (porção SE).

Figura 10 - Mapa Geológico da região de Caçapava do sul, mostrando as fácies do Complexo Granítico Caçapava do Sul e as estruturas NW que controlam a subdivisão do corpo intrusivo.



Fonte: Modificado de Borba, Vignol-Ielarge e Mizusaki (2002).

O CGCS é circundado por uma espessa sequência de rochas metamórficas (figura 10). Nos contatos, geralmente a foliação granítica concorda com a dos metamorfitos. Ocorrem ainda, contatos através de falhas e intercalações de rochas graníticas ou metagraníticas com rochas metapelíticas ou portadoras de anfibólios, caso em que se observam lentes graníticas dispostas concordantemente entre a foliação dos metamorfitos. Na parte sul ocorrem os gnaisses Neto Rodrigues com

idade de 2.45 Ga, reconhecidos e interpretados como uma possível ocorrência de embasamento paleoproterozóico (BORBA; VIGNOL-LELARGE; MIZUSAKI, 2002).

#### **3.5.4 Complexo Metamórfico Passo Feio**

Os metamorfitos citados acima são, conforme proposto por Bitencourt (1983), constituintes do Complexo Metamórfico Passo Feio (CMPF). Os litotipos desse complexo consistem em uma sequência metapelítica (anfíbolitos), seguida por xistos magnesianos, quartzitos e gnaisses quartzo-feldspáticos, com ocorrência restrita de metavulcânicas ácidas a norte e grandes lentes de mármore na borda leste. O Complexo Metamórfico Passo Feio constitui uma estrutura antiformal parcialmente arrasada, cujo núcleo aflora o CGCS e apresenta idades entre 556 Ma e 666 Ma, através de datações K/Ar feitas por Soliani Jr. (1986).

O CMPF evidencia duas fases de metamorfismo regional (Bitencourt, 1983). O primeiro evento atingiu a fácies anfíbolito, zona da estaurolita, na qual a presença de andaluzita indica metamorfismo de baixa pressão. O segundo evento metamórfico, de caráter retrogressivo, atingiu as fácies xisto-verde. Os eventos de metamorfismo regional são acompanhados por duas fases de deformação. A fase D1 é reconhecível apenas em microscópio; a fase D2 é a responsável pela foliação metamórfica regional. Uma terceira fase, de caráter estritamente mecânico, seria responsável pela estrutura antiformal. Ainda segundo Bitencourt (1983), é possível afirmar que o corpo granítico provavelmente participou do segundo evento metamórfico-deformacional e também participou como anteparo rígido durante o terceiro evento deformacional.

#### **3.5.5 Bacia do Camaquã**

As sucessões estratigráficas da Bacia do Camaquã se depositaram entre 610 e 535 Ma e estão relacionadas com a fase principal fase da Orogenia Brasileira, ocorrida entre 650 e 550 Ma (CORDANI et al., 2000). Estudos mais recentes indicam um regime extensional para a Bacia do Camaquã (FRAGOSO-CESAR et al., 2000) e demonstram que a deformação compressional reconhecida está limitada a eventos *strike-slip* pós-deposicionais (ALMEIDA, 2005). Genericamente falando, a evolução estratigráfica do Supergrupo Camaquã, baseado em medidas estratigráficas,

mapeamento geológico detalhado (JANIKIAN 2004), induzem a uma origem extensional para a Bacia do Camaquã entre 605 e 544 Ma.

O embasamento da Bacia do Camaquã é composto de rochas intrusivas que afloram cercadas por rochas sedimentares Paleozóicas e Mesozóicas da Bacia do Paraná. Tal embasamento é constituído de três principais componentes: (i) a parte norte do Cráton Rio de la Plata representado pelas rochas do Complexo Granulítico Santa Maria Chico; (ii) a parte leste do Cinturão Dom Feliciano, que contém rochas Paleoproterozóicas gnáissicas e graníticas e (iii) o Terreno Rio Vacacaí, que contém ortognaisses cálcio-alcalinos, ofiolitos e sucessões metavulcano-sedimentares de um terreno Neoproterozóico (FRAGOSO-CESAR 1991).

O Supergrupo Camaquã (FRAGOSO-CESAR et al., 2000) é composto de cinco unidades; da base ao topo: o Grupo Maricá (depósitos clásticos marinhos e fluviais), O Grupo Bom Jardim (rochas vulcânicas básicas a intermediárias e sucessões continentais clásticas), o Grupo Santa Bárbara (sucessões continentais siliciclásticas pós-vulcânicas) e o Grupo Guaritas (sucessões aluviais e eólicas), intrudidas pela Suíte Intrusiva Rodeio Velho. Cada uma dessas unidades representam uma episódio de subsidência tectônica distinto.

Paim; Chemale Junior; Lopes (2000) estabeleceram como Alosupergrupo Camaquã a sucessão vulcanossedimentar completa da bacia, subdividida estratigraficamente segundo aspectos genéticos e temporais em alogrupo Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas. Os três últimos divididos em aloformações, limitadas por discordâncias erosivas, com a atividade magmática representada por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas básicas a ácidas, e plutônicas.

### **Sub-bacia Santa Bárbara**

Esta sub-bacia corresponde à unidade superior do Grupo Camaquã (Neoproterozóico III- Cambriano Inferior).

O Alogrupo Santa Bárbara possui cerca de 2000 m de espessura e é limitado por discordâncias angulares. Na base, tem contato discordante com o Alogrupo Cerro do Bugio e no topo com o Alogrupo Guaritas. Seus litotipos correspondem a dois conjuntos de parasequências progradacionais adentrando um ambiente de bacia lacustre rasa, frequentemente exposta (PAIM; CHEMALE JUNIOR; LOPES

1995). As rochas do Alogrupo Santa Bárbara são basculhadas como resultado de movimentos de falhas normais e direcionais.

Quanto às idades de formação, admite-se que a deposição do Alogrupo Cerro do Bugio ocorreu entre 573 e 559 Ma (PAIM; CHEMALE JUNIOR; LOPES 1995). Ainda segundo esses autores, a deposição do Alogrupo Santa Bárbara teria ocorrido entre 559 e 540 Ma. Admite-se que a discordância que marca o topo do Alogrupo Santa Bárbara formou-se na mesma época da fácies foliada do CGCS, que tem zircões com  $540 \pm 11$  Ma.

Paim; Chemale Junior; Lopes (2000) propõem um modelo para a evolução tectono-sedimentar da Bacia do Camaquã situando a Sub-bacia Santa Bárbara em ambiente onde se destacam sistemas de falhas normais e deformação transcorrente que afetam todo o conjunto de rochas abaixo do Alogrupo Guaritas. As principais etapas dessa evolução são as seguintes:

- 570-580 Ma.: Alogrupo Cerro do Bugio. Formação de sub-bacias em ambiente transtacional, com fase inicial de preenchimento por vulcanismo e sedimentação epiclástica e siliclástica em forma de leques e planícies aluviais e deltaicas entrelaçadas;

- 570- 560 Ma.: Alogrupo Santa Bárbara. Sub-bacias formadas por rochas siliclásticas depositadas em forma de leques de planícies aluviais e deltaicas entrelaçadas em ambiente tectônico similar ao anterior, onde se destacam as falhas normais e transcorrentes.

- 470 Ma.: Alogrupo Guaritas. Bacias geradas em ambiente transtrativo com reativação de falhas NE-SW de caráter regional, formação de hemigraben com efusão de lavas básicas alcalinas em ambiente intraplaca.

Em termos litológicos, são encontrados na Sub-bacia Santa Bárbara ritmitos de composição arenosa-pelítica em camadas tabulares, arenitos e conglomerados.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais e Dados

Os primeiros dados coletados foram cedidos pela Defesa Civil do município acerca dos principais eventos em que ocorreram as enxurradas e dos locais atingidos por esses desastres para realizar o mapeamento e geração das manchas de inundação.

Neste trabalho foram coletados dados de dois pluviômetros. O primeiro situa-se no campus da Universidade Federal do Pampa e a precipitação foi medida diariamente as 09h00min da manhã, desde o primeiro dia do mês de Junho até os últimos dias do mês de Outubro. O segundo pluviômetro, portátil, foi utilizado nos trabalhos de campo para medir a pluviosidade no momento em que a coleta de dados de vazão era realizada.

Foi utilizada uma trena nos trabalhos de campo para medir a largura da lâmina de água e sua profundidade, bem como para a delimitação dos 10 metros de distância por onde o flutuador percorreria.

Como dados cartográficos, foram utilizados mapa de bacias hidrográficas e os mapas do plano diretor do município, cedidos pela Prefeitura.

Foram utilizadas imagens de satélite *LANDSAT-7 ETM* retiradas do acervo online do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, dos dias 18/12/2001 e 22/07/1999, sendo que o primeiro foi um dia caracterizado por um período de seca e o segundo um período de cheia, de acordo com os dados históricos.

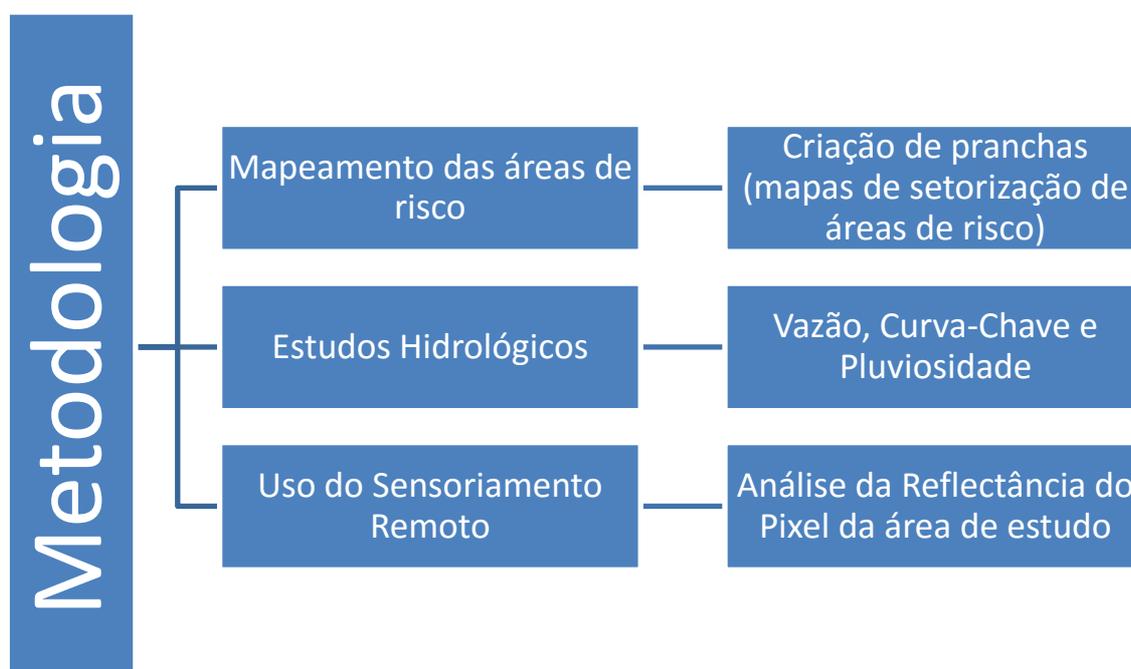
Os softwares utilizados incluem o ARCGIS 10.1, o Microsoft Excel e Word 2010, *Google Earth Pro*, *Surfer 10* e *Spring 4.2*.

### 4.2 Metodologia

A metodologia utilizada no presente trabalho consiste em estudos hidrológicos e no uso do sensoriamento remoto dentro de uma microbacia na área de urbana de Caçapava do Sul. Resumidamente, os procedimentos efetuados foram o mapeamento das áreas de risco a enxurradas no município, criação de manchas de inundação e atribuição do grau de risco geológico nas respectivas áreas, bem como a criação e análise do hidrograma e curva-chave de cada seção, confeccionados

através dos dados de vazão coletados na área de estudo (figura 11). Foi utilizado um método de interpolação de valores históricos, denominado polígonos de Thiessen para cálculo de precipitação em dois dias na microbacia hidrográfica de estudo: um representando um período de seca e o outro período de cheia. Por fim, este trabalho realizou o estudo da reflectância do pixel da área de estudo com resolução 30 x 30 metros nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 no período de seca e cheia através de imagens de satélite *LANDSAT-7*.

Figura 11 – Resumo da metodologia aplicada no trabalho



A primeira etapa do trabalho consistiu no levantamento das informações relacionadas a desastres hidrológicos existentes na área de estudo. Para isso, foi realizada uma visita aos locais de risco com acompanhamento da Defesa Civil do Município que contribuiu com informações a respeito das áreas atingidas e dos últimos eventos registrados (figura 12). Foram visitadas residências atingidas e algumas informações a respeito da altura da água foram coletadas com os próprios moradores.

Figura 12 – Mapa geral das áreas de risco a enxurradas em Caçapava do Sul.



Fonte: a autora

Foram criadas manchas de inundação para representar as áreas com seu respectivo grau de risco, cuja atribuição é baseada na metodologia adotada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), utilizada internacionalmente e explanada por Santos A.R. (2014) no Manual Básico para elaboração e uso da Carta Geotécnica (tabela 1).

Tabela 1 - Classificação e conceituação de graus de risco

Grau de Risco	Significado	Tipos de Sub-setores	Ação Recomendada
Baixo (R1)	Nas condições atuais não há risco evidente de acidentes	Sub-setores classificados em risco geotécnico natural Médio e	Consolidação geotécnica e urbanística. Adensamento

	geotécnicos ou hidráulicos	Baixo originalmente propícios a ocupação urbana	da ocupação eventualmente possível
Médio (R2)	Nas condições atuais não há risco de acidentes geotécnicos ou hidráulicos de pequeno e médio portes		
Alto (R3)	Nas condições atuais há riscos de acidentes geotécnicos ou hidráulicos graves	Sub-setores classificados em risco geotécnico natural Muito Alto ou Alto	No caso de originalmente impróprios à ocupação recomenda-se a
Muito Alto (R4)	Nas condições atuais há riscos e alta probabilidade de acidentes geotécnicos ou hidráulicos graves	originalmente impróprios a ocupação urbana ou originalmente passíveis a ocupação urbana	desocupação. Se originalmente passível a ocupação, recomenda-se a decisão sobre consolidação geotécnica ou desocupação via ponderação custo/benefício

Fonte: Adaptado de Santos A.R. (2014)

Com relação às manchas de inundação, estas são consideradas de grande importância para o planejamento urbano, ordenamento territorial e desenvolvimento de Planos Diretores. Elas consistem na confecção de mapas que possuem como produto final a ilustração dos locais mais afetados em casos de cheias. Essas manchas devem ser construídas utilizando técnicas de geoprocessamento, juntamente com modelos hidráulicos e hidrodinâmicos (REZENDE, 2012).

Os procedimentos adotados para setorizar as áreas de risco na área urbana do município iniciaram-se pela utilização de imagens de satélite adquiridas através do *software Google Earth Pro* georreferenciadas e posterior setorização das áreas em escala de detalhe, variando de 1:3.000 a 1:5.000.

A setorização envolve a criação de um polígono envolvendo uma planície de inundação ou alguma área com potencial a ser atingida por algum risco geológico, natural ou induzido, delimitadas sobre imagens e fotografias. Durante o

geoprocessamento através do Sistema de Informação Geográfica (SIG), o polígono que envolve as áreas de risco é gerado. Ainda, dentro do ambiente SIG são adotados os parâmetros Sistema de Projeção (UTM) e Datum (WGS-84). Ao lado direito das pranchas, são apresentadas algumas fotos das áreas cedidas pela Prefeitura e outras fotografadas pela própria autora em visita as áreas de risco.

As pranchas de setorização das áreas de risco encontram-se no final deste trabalho, no apêndice A.

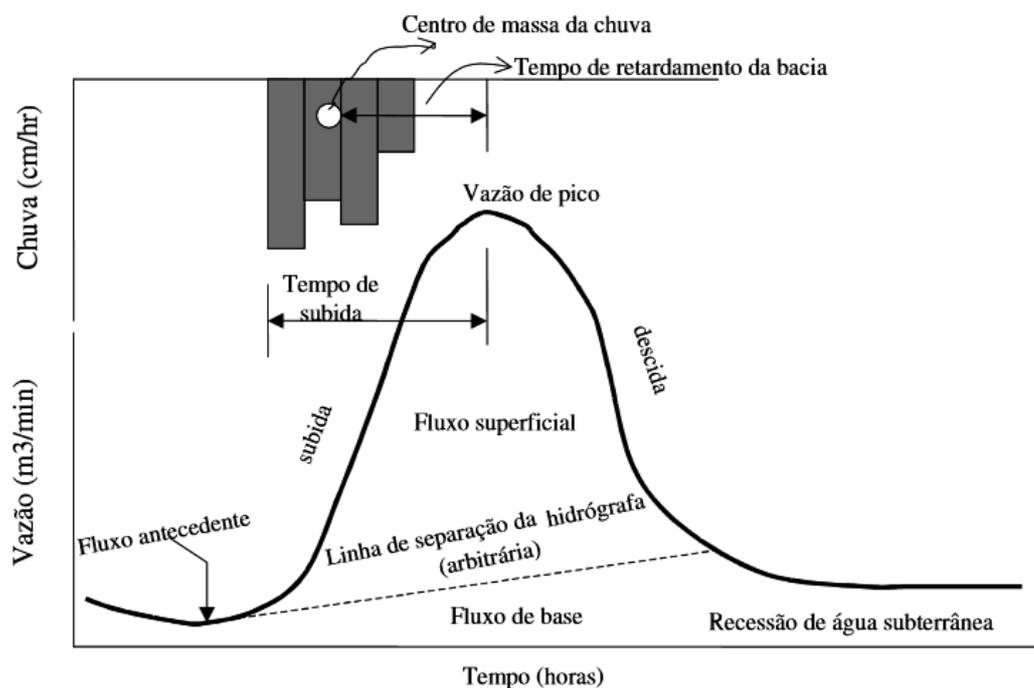
#### **4.2.1 Estudos Hidrológicos: Hidrograma e Curva-Chave**

Collischonn e Tassi (2008) argumentam que uma bacia pode ser imaginada como um sistema que transforma chuva em vazão. Essa transformação envolve mudanças no volume total da água, pois parte da chuva infiltra no solo e pode retornar para a atmosfera através de um processo chamado evapotranspiração, bem como modificações no tempo de ocorrência, visto que existe um atraso na ocorrência de vazão em relação ao tempo de ocorrência da chuva. Ainda, segundo os mesmos autores, durante chuvas intensas, grande parte da vazão em um rio é água da própria chuva que não penetrou no solo e escoando atingindo os cursos d'água e aumentando a vazão. É justamente desta maneira que são formados os picos de vazão e as cheias e enchentes.

Dentre desse contexto, a metodologia empregada neste trabalho consiste na geração de hidrogramas para o estudo do comportamento do escoamento superficial das águas da microbacia urbana em análise do município de Caçapava do Sul.

O hidrograma (figura 13) é um gráfico que representa a variação da vazão (Q) ou da carga (h) ao longo do tempo, que pode ser minutos, horas ou dias. Através da hidrógrafa é possível extrair informações acerca do volume total, da distribuição sazonal de vazão, do fluxo diário, fluxo de pico, fluxo mínimo e a frequência dos vários fluxos críticos (SOARES, 2004). Esses componentes do fluxo variam com a intensidade da precipitação e com a umidade antecedente. Além disso, o mesmo autor cita que poucas hidrógrafas são de forma tão regular e que a separação entre o fluxo de base e o escoamento superficial direto depende do julgamento do hidrólogo.

Figura 13 - Gráfico mostrando os componentes de uma hidrógrafa para uma chuva de 4 horas.



Fonte: Soares (2004).

A forma como o escoamento superficial responde a chuva que o produziu é chamada de resposta hidrológica, que varia com a declividade, textura e profundidade do solo estando mais controlada pela geologia do que pelo uso da terra. Podemos expressá-la dividindo a vazão pela chuva.

Através do isolamento dos picos do hidrograma, é possível analisar fenômenos de interesse para a hidrologia. O hidrograma de uma onda de cheia é formado por dois tipos de afluxos: o escoamento superficial (+subsuperficial + precipitação direta) e outro da contribuição do lençol subterrâneo (STUDART, 2006).

Para Nogueira e Capaz (2015) é possível analisar um hidrograma através de cinco pontos: 1. Início do escoamento superficial, que ocorre em um tempo após a chuva começar devido ao tempo necessário para o escoamento superficial atingir a seção de exutório. Antes disso, só havia escoamento subterrâneo; 2. ascensão do hidrograma, marcado por uma subida rápida de vazão, provocada pelo escoamento superficial; 3. pico do hidrograma, que geralmente ocorre quando a chuva já se encerrou; 4. Recessão do hidrograma, que corresponde à recessão do escoamento superficial, ocorrendo de forma mais lenta que a ascensão; 5. E o fim do escoamento superficial.

O escoamento superficial também é chamado de chuva efetiva ou chuva excedente. Dentre os procedimentos utilizados para o cálculo desse valor, destaca-se o do Soil Conservation Service (SCS). O método leva em conta a precipitação, umidade anterior, o complexo solo vegetação, além do parâmetro N (STUDART, 2006).

$$PE = \frac{\left(\frac{P - 5080}{N + 50,8}\right)^2}{\left(\frac{P + 20320}{N - 203,2}\right)} \quad (1)$$

Onde:

PE = excesso de chuva (mm)

P = precipitação

N = número de deflúvio que define o complexo hidrológico solo vegetação

De acordo com Studart (2006), o valor de deflúvio para áreas urbanizadas é 100, embora algumas literaturas disponibilizem valores diferentes, que podem variar de 90 a 100.

A vazão é o volume de água que passa entre dois pontos em um dado período de tempo. Geralmente é expressa em metros cúbicos por segundo. A mesma é influenciada pelo clima e pelas estações do ano, pois aumenta durante os períodos de chuva e diminui em épocas mais secas (PALHARES et al., 2007).

A equação utilizada para a medição da vazão se dá por:

$$\text{Vazão} = \left(\frac{A}{T}\right) \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \quad (2)$$

Onde:

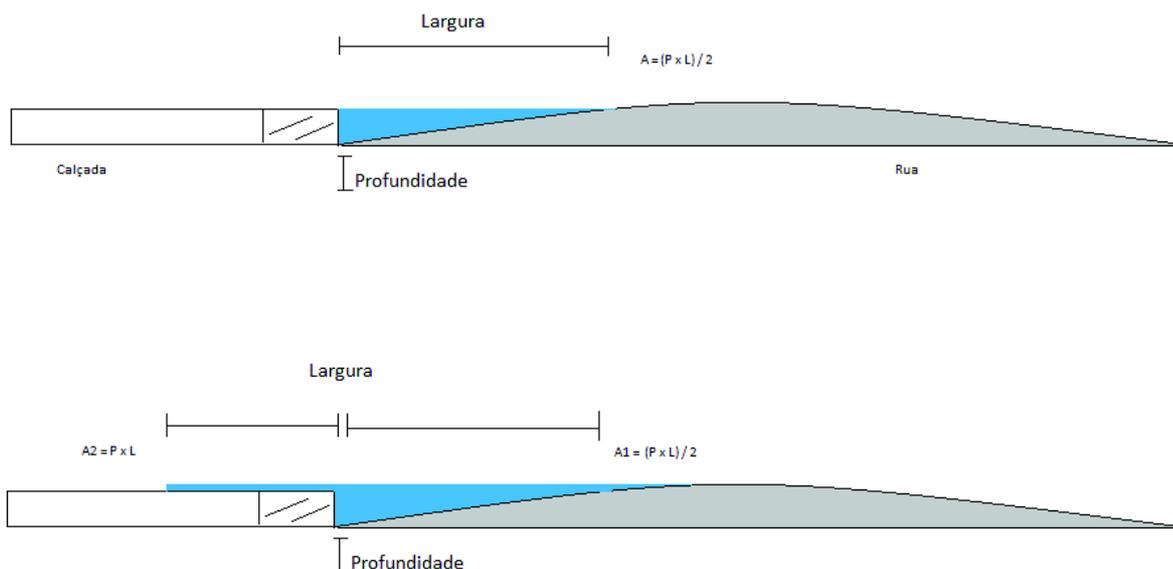
A = área do terreno por onde a água escorre (Largura (m) e profundidade (m))

T = tempo em segundos, que o flutuador leva para deslocar-se no comprimento L.

A área por onde a água escoar é produto da largura pela média da profundidade. A determinação da largura é feita pelo esticamento da trena na coluna de água. No caso dos locais de análise, a água escoar preferencialmente pelas depressões encontradas na rua, isto é, primeiramente ela se acumula ao lado da

guia da calçada, em uma área triangular. Apenas nos casos de grande volume de água, o fluxo ultrapassa os limites do meio fio e cria-se uma lâmina d'água em cima da calçada. Em outros casos água passa a tomar a rua inteira (Figura 14).

Figura 14 – Esquemática do método usado para calcular a área



Fonte: a autora

A primeira situação da Figura 14 mostra o cálculo da área nos casos em que a lâmina de água não ultrapassa os limites da guia. Neste caso, calcula-se a área do triângulo. No momento em que a pluviosidade aumenta, a água passa a atingir também a calçada e então se calcula a área do retângulo. As duas áreas da segunda situação se somam.

O tempo medido é o de deslocamento do flutuador em uma distância de 10 metros. Isto se dá com o uso de um cronômetro.

Existem várias técnicas e equipamentos para realizar as medidas de vazão, dentre eles pode-se citar o flutuador, o molinete e o método acústico. A escolha do método mais adequado está relacionada à disponibilidade dos equipamentos, ao tamanho do curso d'água e ao tempo de coleta de dados necessitado (BONIFÁCIO; FREIRE, 2013).

A utilização do método do flutuador é geralmente recomendada quando o trabalho não exige grande precisão e em cursos d'água menores, pois neste método algumas variáveis influenciam nos resultados, dentre eles: o tipo de leito, a forma do canal (o trecho deve ser longo e retilíneo), vento, quantidade de medições, sendo

que esta última reflete diretamente na qualidade estatística dos dados (BONIFÁCIO; FREIRE, 2013).

Para a realização do cálculo da vazão com o método do flutuador, o curso d'água deve ser separado em seções, e a profundidade deve ser medida, além de serem necessárias duas pessoas para acompanhar a medição do tempo (PALHARES et al., 2007).

Justifica-se a escolha do método do flutuador neste trabalho devido à disponibilidade de equipamento, os trechos serem retilíneos e o curso d'água ser pequeno.

Embora o ideal seja medir as vazões de todas as oito esquinas que compõem a área de estudo, alguns desses locais não possuíam escoamento suficiente durante a chuva, isto é, seus dados não foram coletados devido ao fato de que o flutuador simplesmente não se movimentava. Este foi o caso dos pontos D, F e H. As outras esquinas variavam em termos de fluxo e as mesmas se comportavam de maneira distinta: cada uma delas possuía uma velocidade de escoamento e um volume de água diferentes, bem como picos de vazão em tempos distintos. Isso se deve a morfologia do terreno, o que influencia o volume de água que escorre para a área em cada uma das ruas estudadas. Por exemplo, o ponto B era sempre o local que dava início ao escoamento e conseqüentemente aquele onde a velocidade e volume de água eram maiores. Devido a isso, foi possível monitorar este ponto durante todos os episódios de chuva, assim como o ponto A. Os gráficos que serão apresentados nos resultados representam as esquinas onde foi possível obter um bom número de dados durante as chuvas.

À medida que iniciou a precipitação, parte da água foi retida no solo, porém, com o aumento da taxa de pluviosidade, o solo começou a saturar e o fluxo foi retido pelas depressões do terreno. Após um tempo iniciou-se o escoamento da água seguindo as linhas de maior declive. A partir daí, começou a coleta de informações no campo da seguinte forma: nos locais onde havia escoamento superficial.

No total foram monitoradas as vazões de três eventos (tabela 2): evento 1 (figuras 15 a 18), evento 2 (figuras 19 a 27) e o evento 3 (figuras 28 a 31), durante o qual notou-se que o solo começou a saturar com 1,5 mm de chuva. Aos 2 mm o escoamento superficial começa no ponto B.

Tabela 2 – Características dos eventos de chuva monitorados

Evento	data	Intensidade da chuva (mm)	Duração da chuva (minutos)
1	20/09/2015	3,25	70
2	21/09/2015	10	130
3	21/10/2015	10	80

Figura 15 – Evento 1



Figura 16 – Boca de lobo, evento 1



Figura 17 – Final do evento 1



Figura 18 – Pluviômetro marcando 3,25 mm.



Figura 19 – Evento 2: lâmina d'água, ponto B

Figura 20 – Evento 2: Água atingindo toda a

Figura 21 – Evento 2: água atingindo calçada.

(0,15 m de profundidade).



rua (0,18 m de profundidade).



Figura 22 – Evento 2: água atingindo toda a rua.



Figura 23 – Evento 2: força da água na boca de lobo.



Figura 24 – Evento 2: lâmina d'água.



Figura 25 – Evento 2: Vara de pesca como

Figura 26 – Evento 2: Recessão da chuva.

Figura 27 – Evento 2: Pluviômetro marcando 10

flutuador.



mm de chuva.



Figura 28 – Evento 3: Saturação do solo (1,5 mm de chuva).

Figura 29 - Evento 3: Início do escoamento superficial (2 mm de chuva).



Figura 30 - Evento 3: Durante o escoamento superficial (0,06 m de profundidade).

Figura 31 - Fim da chuva e posterior recesso do escoamento superficial.



O local de coleta foi escolhido por acumular grande volume de água durante as precipitações.

As informações foram coletadas desde o início do escoamento superficial até seu término. De um modo geral, o intervalo entre as medidas em cada esquina foi de 10 a 15 minutos.

Os picos de chuva de cada evento duraram cerca de 1 a 2 horas atingindo a vazão máxima e conseqüentemente a diminuição desta à medida que a chuva cessava. Esses dados foram utilizados para a construção do hidrograma.

De acordo com Collischonn e Tassi (2008) para caracterizar o comportamento hidrológico de uma bacia é necessário uma série de medições de vazão sendo que estas são realizadas com o intuito de determinar a relação entre o nível da água do rio em uma seção e a sua vazão. Esta relação entre a cota (ou nível) e a vazão é chamada de curva-chave de uma seção  $Q = f(H)$ .

Através da curva-chave é possível transformar medições diárias de cota em medições diárias de vazão. De acordo com os mesmos autores, a curva chave é uma equação ajustada aos dados de medição de vazão em que normalmente se utilizam equações do tipo potência, como a seguinte:

$$Q = a \cdot (h - h_0)^b \quad (3)$$

Onde:

$Q$  é representa a vazão;  $h$  é a cota;  $h_0$  é a cota quando a vazão é zero; e  $a$  e  $b$  são parâmetros ajustados por um critério, com erros mínimos quadrados.

A aplicação dessas equações torna possível a determinação das vazões nas seções de interesse para outras alturas de nível d'água.

#### 4.2.2 Polígonos de Thiessen – Precipitação média sobre uma bacia

O estudo da altura média de precipitação dentro de uma bacia hidrográfica pode ser feito com base em um temporal isolado, com base nos totais anuais ou com totais de uma estação do ano (VILLELA; MATTOS, 1975).

O método de Thiessen é utilizado para uma distribuição não uniforme dos aparelhos e consiste em distribuir um fator de peso aos totais precipitados em cada aparelho, que são proporcionais a área de influência de cada um.

As áreas de influência, ou pesos, são determinadas em mapas da bacia em estudo contendo as estações, unindo os pontos adjacentes por linhas retas e traçando-se as mediatrizes dessas retas formando polígonos. Os lados dos polígonos são os limites das áreas de influência de cada uma das estações. Para calcular a precipitação média, utiliza-se a média ponderada, entre a precipitação  $P_i$  de cada uma das estações e o peso atribuído a ela  $A_i$  que é a área de influência  $P_i$  (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$\text{Precipitação média} = \frac{\sum P_i A_i}{\sum A_i} \quad (4)$$

Este método de interpolação foi utilizado neste trabalho para calcular a precipitação média no município de Caçapava do sul nos dias 18/12/2001 e 22/07/1999. As estações utilizadas para obtenção de dados pluviométricos estão localizadas nos municípios de Encruzilhada do Sul, Santa Maria e Bagé (Tabela 3).

Tabela 3 - Estações Pluviométricas utilizadas para cálculo da precipitação média em Caçapava do Sul

Município	Código OMM	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período	Distância de Caçapava do Sul (km)
Bagé	83980	31° 33'	54° 1'	242,31	1961-2015	143
Encruzilhada do Sul	83964	30° 53'	52° 51'	427,74	1961-2015	96
Santa Maria	83936	29° 7'	53° 7'	95	1961-2015	85

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2015)

Os polígonos de Thiessen foram gerados no programa *Google Earth Pro*, através das seguintes etapas:

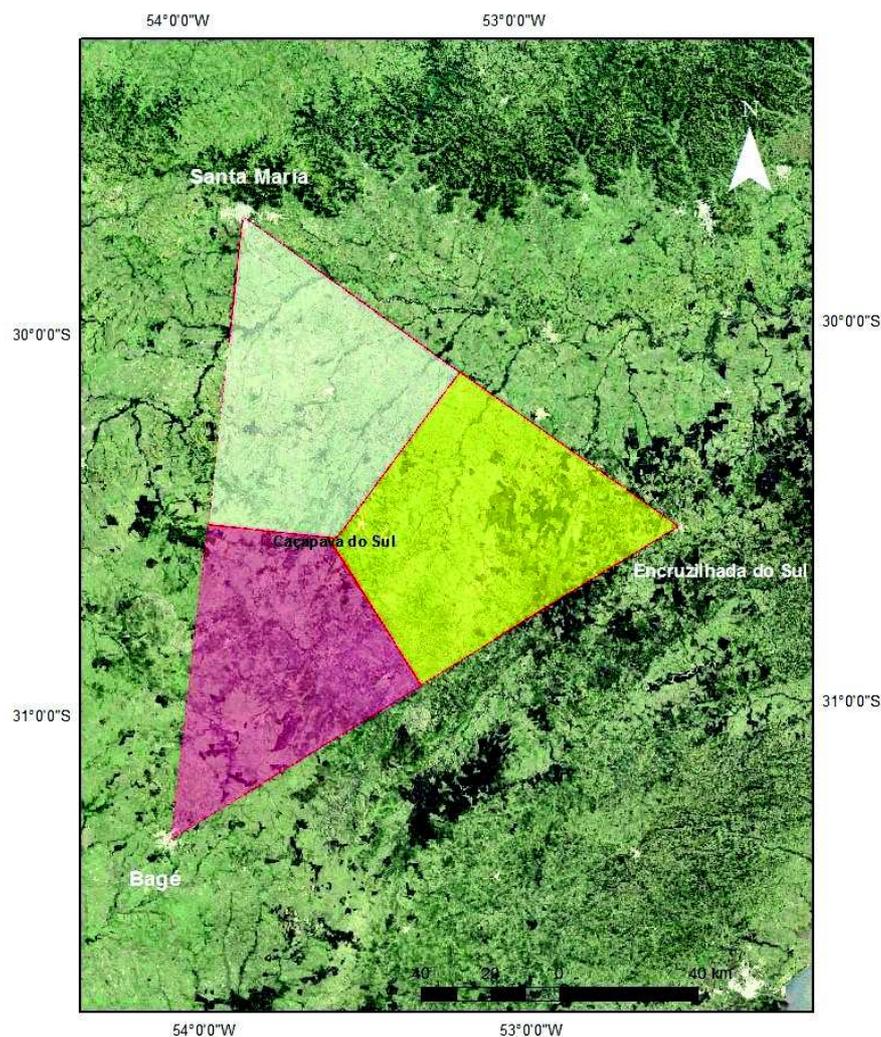
-Um marcador foi utilizado para localizar as estações de Bagé, Encruzilhada e Santa Maria;

-Foram traçadas linhas para unir os três pontos;

-Após a união dos pontos, realizou-se o traçado da mediatriz em cada uma das retas que unem as estações até que fosse atingida a área do local em que se desejava interpolar os valores, neste caso, Caçapava do Sul.

-O polígono de Thiessen foi criado e, em seguida, foram feitos polígonos individuais delimitando a área de influência de cada estação (figura 32). Os dados acerca da área de influência foram tabelados no Excel para realizar o cálculo das precipitações médias para os dias de análise (tabelas 4 e 5).

Figura 32 – Polígonos de Thiessen (regiões de influência de cada posto fluviométrico) gerados para o cálculo da precipitação em Caçapava do Sul



Fonte: a autora

Tabela 4 - Dados obtidos através do polígono de Thiessen para o dia 22/07/1999  
(período de cheia)

Município	Santa Maria	Encruzilhada do Sul	Bagé	Caçapava do Sul
Área do polígono de Influência (km <sup>2</sup> )	4048.17	4564.14	3791.16	Total: 12403.47
Precipitação acumulada dos últimos 3 dias (mm)	55.3	47.4	13.6	<b>39.64</b>

Tabela 5 - Dados obtidos através do polígono de Thiessen para o dia 18/12/2001  
(período de estiagem)

Município	Santa Maria	Encruzilhada do Sul	Bagé	Caçapava do Sul
Área do polígono de Influência (km <sup>2</sup> )	4048.17	4564.14	3791.16	Total: 12403.47
Precipitação (mm)	0	0.2	6	<b>1,9</b>

Nos nove dias anteriores a data de 18/12/2001 havia ocorrido 0 mm precipitação, ou seja, o solo estava seco.

Com relação ao dia 22/07/1999, embora não tenha chovido significativamente nas áreas de interesse (apenas 0,1 mm em Bagé), optou-se pelo uso da imagem de satélite dessa data, pois havia um total acumulado de chuva dos últimos três dias de 13,6 mm em Bagé, 55,3 mm em Santa Maria e 47,4 em Encruzilhada do Sul. Pela interpolação utilizada, Caçapava do Sul então acumulou 39,64 mm de chuva nos três dias anteriores à data da imagem de satélite. Isso significa que o solo estava saturado e que a reflectância dos alvos provavelmente será diferente com relação ao período de estiagem.

#### 4.2.3 Análise da Reflectância da Área de Estudo

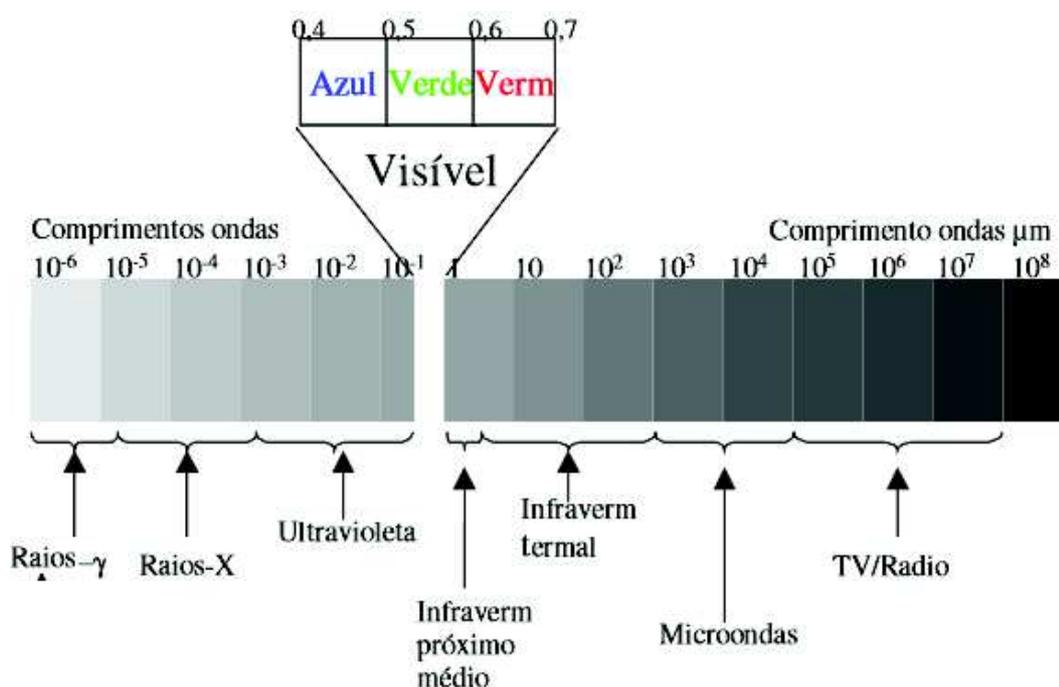
De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2009), o Satélite *LANDSAT-7* ETM foi lançado no dia 15 de abril de 1999 pela NASA, nos Estados Unidos. Encontra-se em atividade em uma altitude de 705 km, com inclinação de 98,3°, tempo de duração de órbita de 98,9 min e com período de revisita de 16 dias. Neste trabalho foram utilizadas duas imagens de satélite *LANDSAT-7* ETM: uma correspondente ao dia 18/12/2001 e a outra do dia 22/07/1999.

## Princípios Físicos

A luz branca ao atravessar um prisma se desdobra em um feixe colorido, chamado de espectro de cores. Cada cor decomposta no espectro corresponde a uma temperatura diferente, de modo que a luz vermelha incidindo sobre um corpo, aquece-o mais do que a violeta. A luz é uma onda do tipo eletromagnético, sendo a luz visível uma das muitas diferentes espécies de ondas eletromagnéticas (FIGUEIREDO, 2005).

Ainda, de acordo com o mesmo autor, as ondas eletromagnéticas, também chamadas de radiação eletromagnética (REM), são consideradas como um “termômetro mensageiro” do sensoriamento remoto. Além de captarem informações das principais características das feições terrestres, elas também as levam até os satélites. A faixa completa de comprimentos de onda e de frequência REM é chamada de espectro eletromagnético, que varia desde as radiações gama com comprimentos da ordem de  $10^{-6}$   $\mu\text{m}$  até as ondas de rádio que chegam a  $100 \mu\text{m}$  (figura 33).

Figura 33 – Espectro Eletromagnético

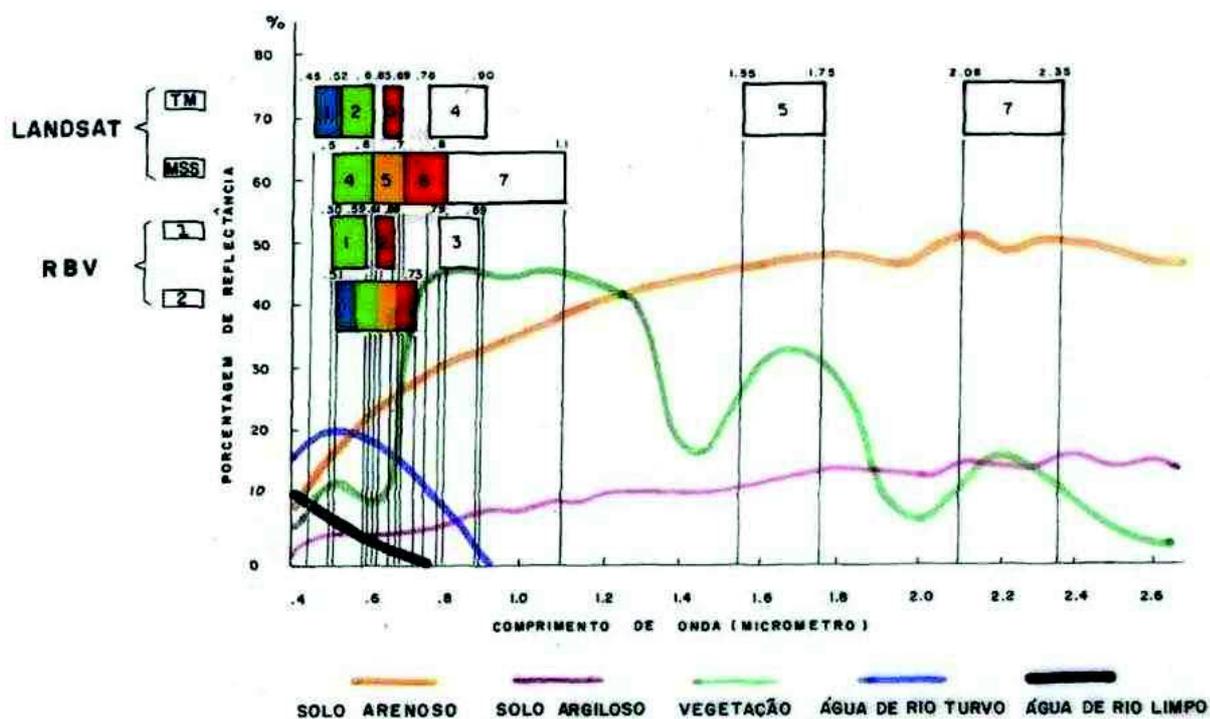


Fonte: Figueiredo (2005).

De acordo com Figueiredo (2005) radiação solar que incide na superfície da Terra interage de forma distinta com cada tipo de alvo, fato que ocorre devido as

diferentes composições físico-químicas dos objetos. Devido a isso, cada alvo terrestre tem sua própria assinatura espectral, o que significa que cada objeto absorve ou reflete de modo diferente cada uma das faixas do espectro da luz incidente. Ainda, segundo o mesmo autor, os sensores instalados nos satélites são sensíveis a tais diferenças, que as registram em forma de imagens.

Figura 34 - Relação entre as bandas espectrais dos sensores remotos a bordo de satélites e a reflectância de objetos (alvos) na superfície terrestre



Fonte: Sausen (2015)

De acordo com a figura 34, é fácil distinguir o comportamento da água em relação ao solo: a reflectância do primeiro possui uma porcentagem menor, que diminui à medida que o comprimento de onda aumenta, ou seja, possui correlação negativa. O solo, embora possua valores de reflectância distintos dependendo da sua composição, argiloso ou arenoso, possui um padrão de comportamento típico:

tende a apresentar uma curva crescente em relação ao comprimento de onda, ou seja, uma correlação positiva.

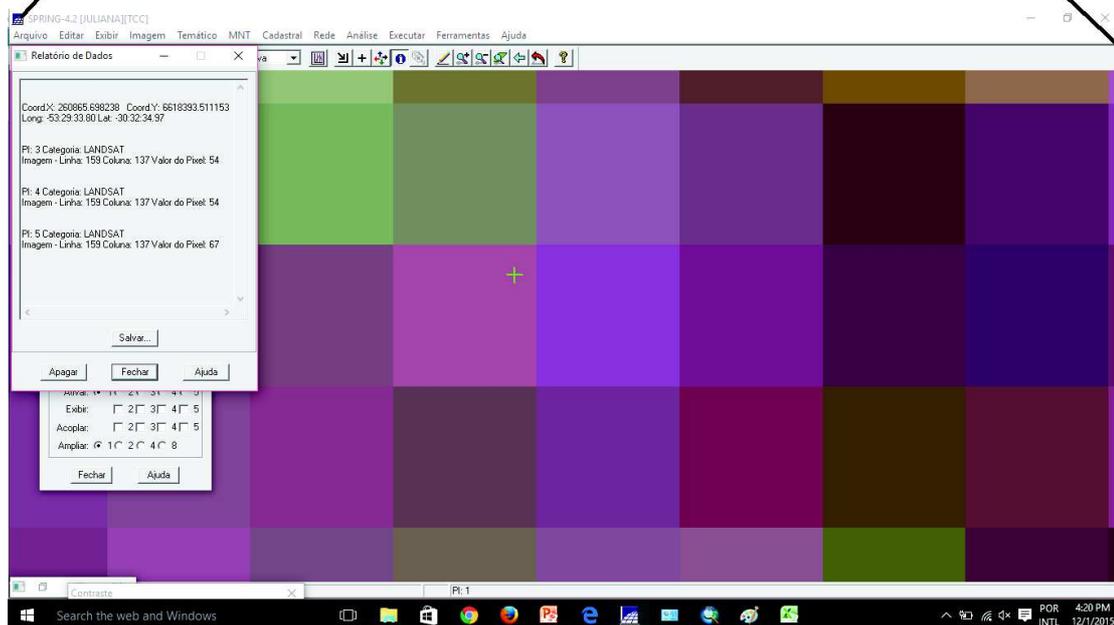
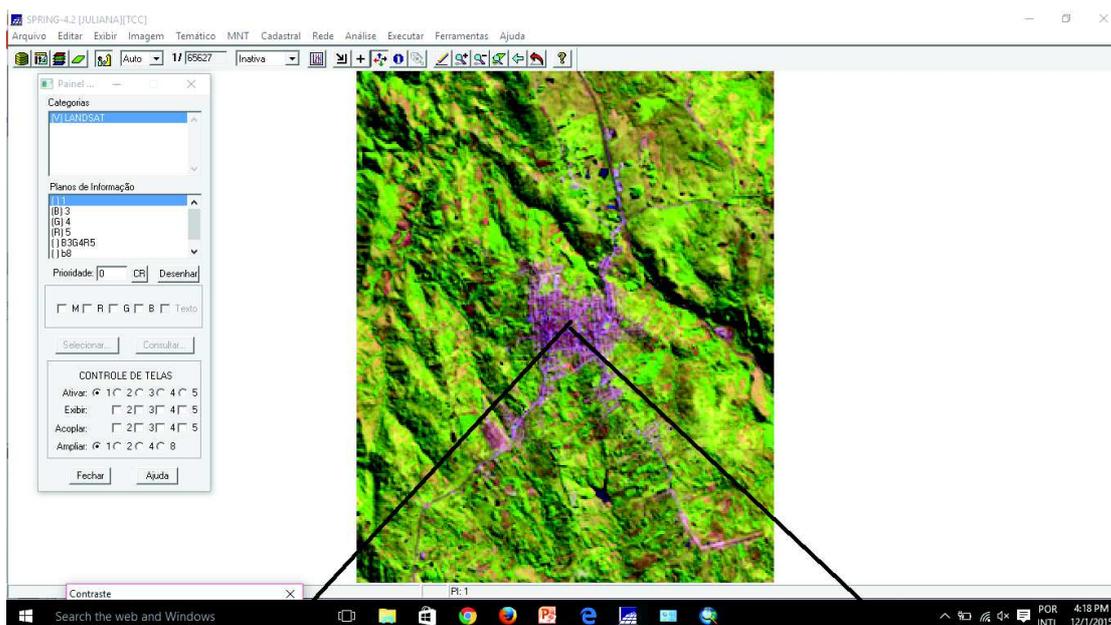
Através desses princípios, este trabalho analisa duas imagens de satélite *LANDSAT-7 ETM* de acordo com os valores do pixel de cada banda da área de estudo.

Para Meneses e Almeida (2012) os espectros de reflectância são essenciais, pois guiam o intérprete na seleção das bandas do sensor para realizar a interpretação das imagens. O intérprete plota os espectros de reflectância dos alvos existentes na área e as posições das bandas espectrais das imagens do sensor que estiver usando. Através disso, é possível determinar quais as bandas do sensor têm a capacidade de discriminar alvos, que é o que interessa em sensoriamento remoto.

A primeira imagem é do dia 18/12/2001, em que não havia ocorrido precipitação na área, e a outra do dia 22/07/1999, em que a precipitação média acumulada dos últimos três dias para Caçapava do Sul calculada pelo método de triangulação de Thiessen resultou em 39,64 mm. Ao abrir essas imagens no *software Spring 4.2*, é possível obter os valores do pixel por meio de uma ferramenta chamada “cursor de info”, (figura 35) que são dados em níveis de cinza para cada banda, variando de 0 a 255. Por isso, tornou-se necessário transformar esses valores em reflectância através de uma simples regra de três, em que 255 equivale a 100% de reflectância.

A intenção dessa análise é estudar o comportamento da área de estudo com relação à reflectância do pixel em um período de cheia e em um período em que não ocorreu precipitação. Como a resolução espacial da imagem obtida é de 30 x 30 metros, toda a área passa a ser representada por apenas um pixel. O cursor verde da figura 35 está inserido dentro do pixel que representa o local de estudo.

Figura 35 – Exemplo da obtenção do valor do pixel da área da área de estudo nas bandas 1, 2 e 3 em ambiente *SPRING 4.2*.



Fonte: a autora

## 5 RESULTADOS

### 5.1 HIDROGRAMAS E CURVAS-CHAVE

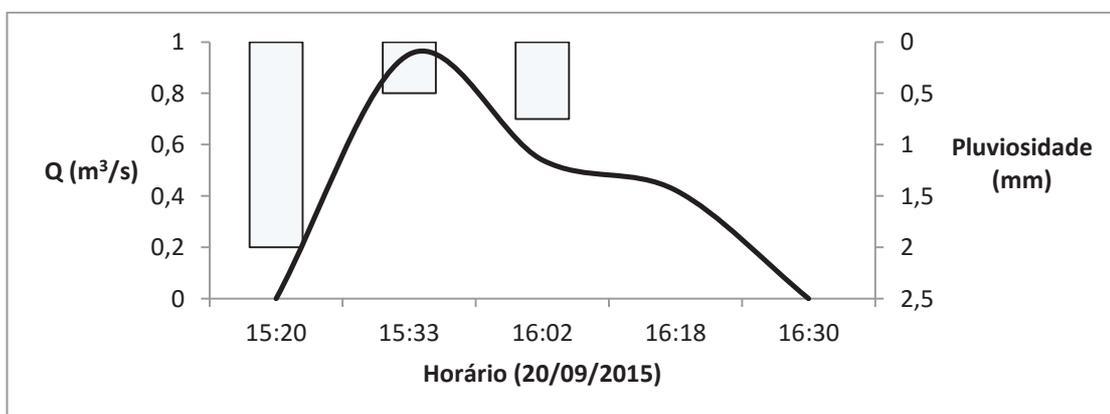
#### 5.1.1 Hidrogramas de cada ponto para cada evento

Nesta seção são apresentados os hidrogramas de cada ponto e suas respectivas curvas-chave, nos locais em que foi possível seu traçado.

As curvas-chave dos pontos A, B e E foram geradas com relação a todos os valores de vazão medidos nos três pontos. Para as outras esquinas não foram gerados gráficos devido à insuficiência de dados. A curva chave de todas as medidas de escoamento para todos os dias de coleta de dados não se mostrou eficaz, com o coeficiente de correlação muito distante do valor 1. Isso se deve ao comportamento distinto de cada uma das esquinas durante os picos de chuva. Devido a isso, optou-se pela geração da curva-chave de cada um desses três pontos que possuíam dados suficientes de vazão. Vale ressaltar que os pontos A e B são os que recebem maior volume de água durante as chuvas na área de estudo.

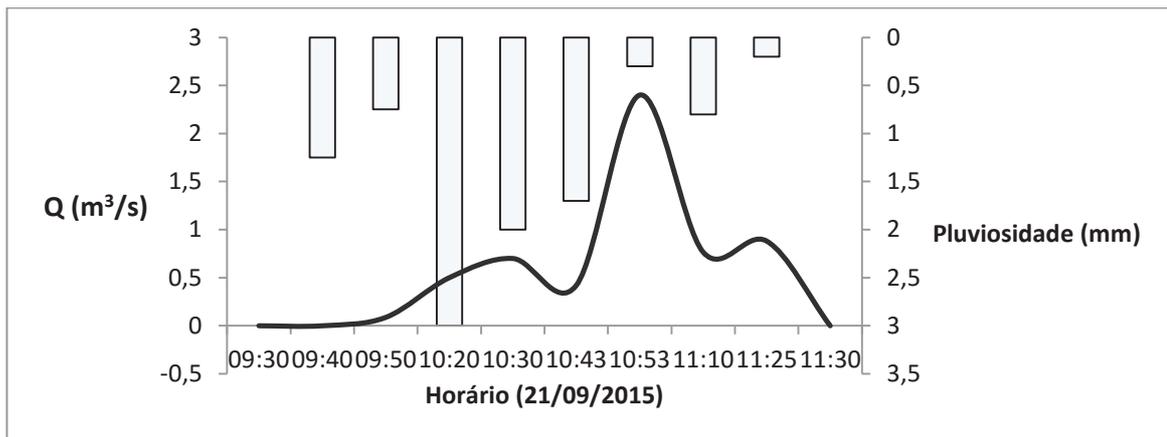
#### Ponto A

Figura 36 – Hidrograma do ponto A durante o evento 1.



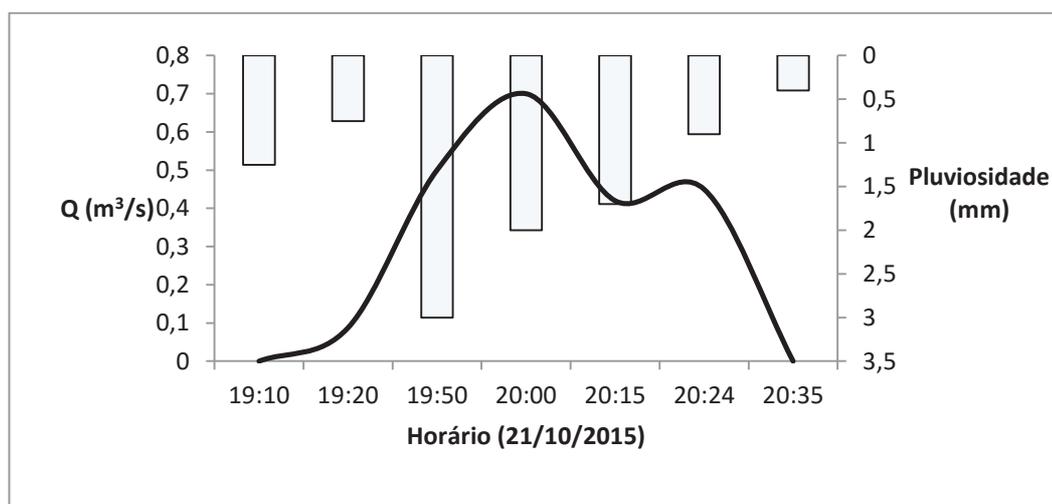
O hidrograma do ponto A durante o evento 1 (figura 36) teve um pico de vazão no valor de  $0,952 \text{ m}^3/\text{s}$ , ocasionado por uma chuva acumulada de  $2,5 \text{ mm}$  e cota  $0,04 \text{ m}$ .

Figura 37 – Hidrograma do ponto A durante o evento 2.



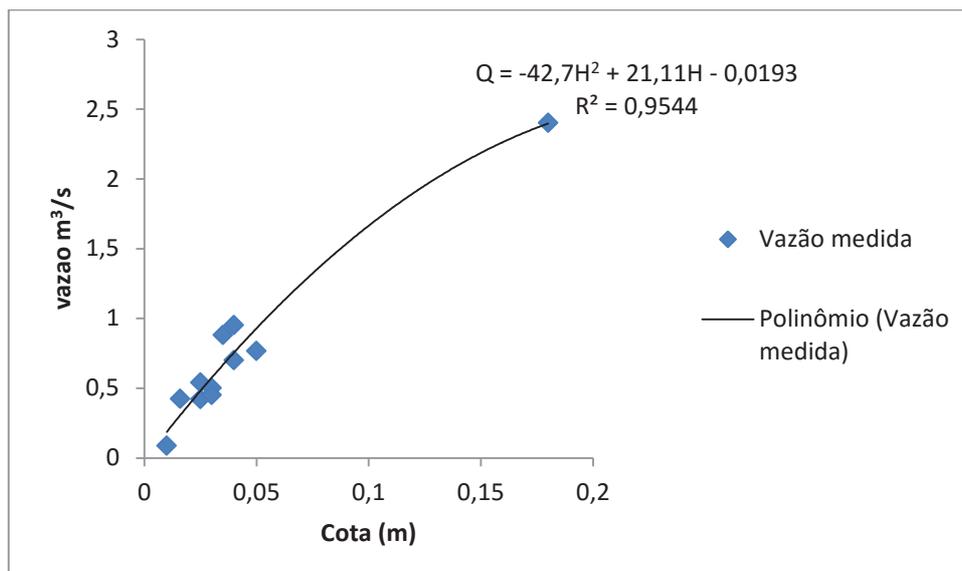
Durante o evento 2, o ponto A teve um pico de vazão com  $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$  as 10h53min ocasionado por uma precipitação acumulada de 9 mm e altura d'água de 0,18 m (figura 37).

Figura 38 – Hidrograma do ponto A durante o evento 3.



Durante o evento 3, o hidrograma do ponto A (figura 38) mostra dois picos de vazão:  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ , ocasionados por uma chuva acumulada de 7 e 9,6 mm, e cotas 0,04 m e 0,06 m respectivamente.

Figura 39 – Curva-chave do ponto A.

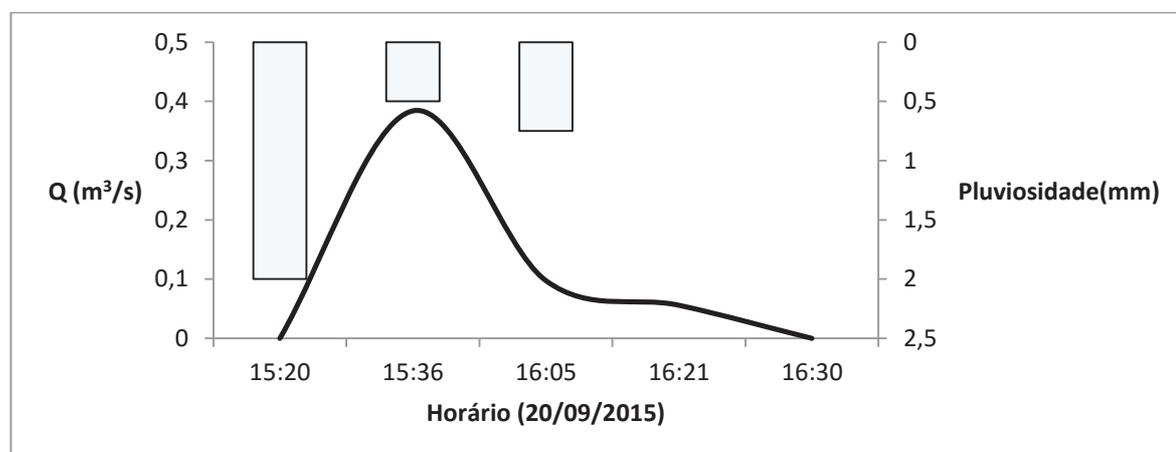


A curva-chave do ponto A (figura 39) se mostrou bem ajustada no tipo polinômio de segundo grau. O valor de  $R^2$  0,9544 (coeficiente de correlação) demonstra um ajuste excelente para os dados medidos. O ponto isolado no topo do gráfico, de cota 0,18 m e vazão 2,4 m<sup>3</sup>/s ocorreu durante o evento 2, em que a lâmina d'água atingiu toda a via.

Como é possível obter a vazão de uma seção apenas pelo monitoramento do nível d'água, a equação acima se torna uma ferramenta na estimativa de vazões para outras cotas no ponto A.

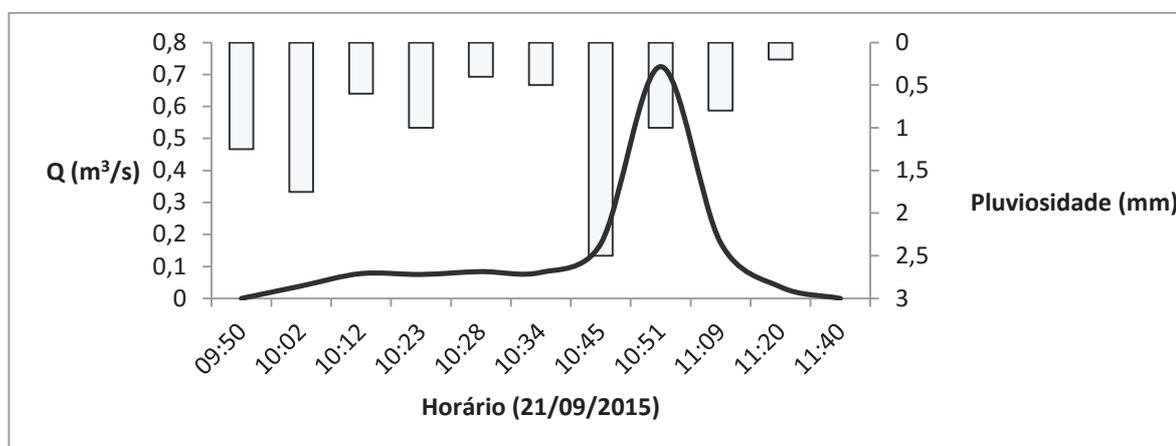
## Ponto B

Figura 40 – Hidrograma do ponto B durante o evento 1.



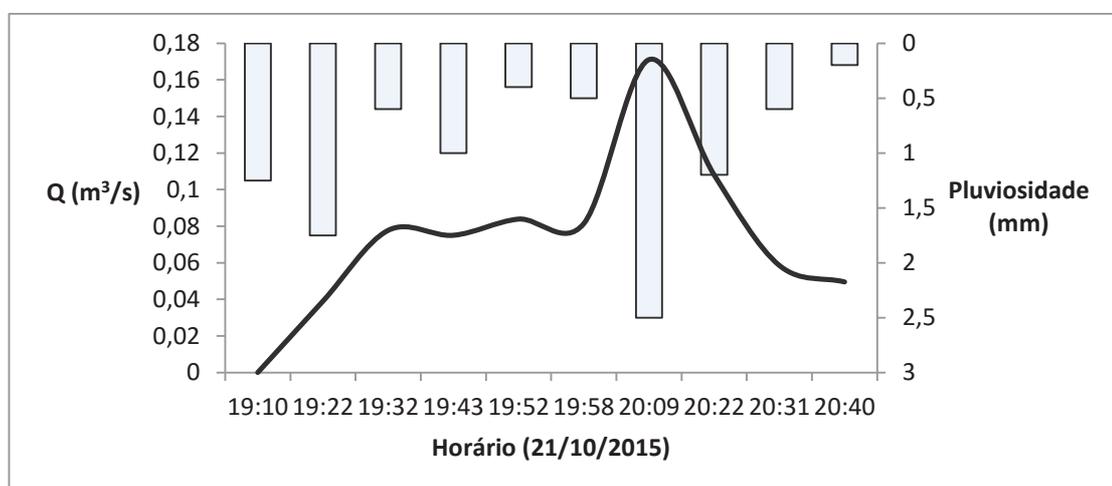
O pico de vazão no ponto B durante o evento 1 foi de 0,384 m<sup>3</sup>/s, com cota de 0,08 m, ocasionado por uma chuva acumulada de 2,5 mm.

Figura 41 – Hidrograma do ponto B durante o evento 2.



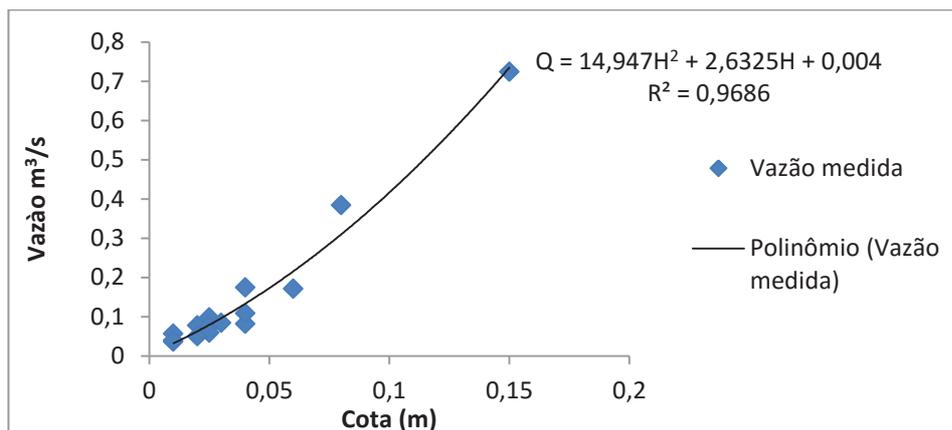
Durante o evento 2 (figura 41), o ponto B apresentou um pico de vazão no valor de  $0,7245 \text{ m}^3/\text{s}$ , com cota de  $0,15 \text{ m}$ , representado na curva-chuva (figura 41) como um ponto isolado, ocasionado por uma chuva acumulada de  $9 \text{ mm}$ .

Figura 42 – Hidrograma do ponto B durante o evento 3.



No evento 3, o hidrograma do ponto B (figura 42) mostra um pico de vazão menor com valor de  $0,0777 \text{ m}^3/\text{s}$  e cota  $0,02 \text{ m}$ , gerado por uma chuva de  $3,6 \text{ mm}$ , e um pico maior, com vazão de  $0,171 \text{ m}^3/\text{s}$  com cota  $0,06 \text{ m}$  e chuva acumulada de  $8 \text{ mm}$ .

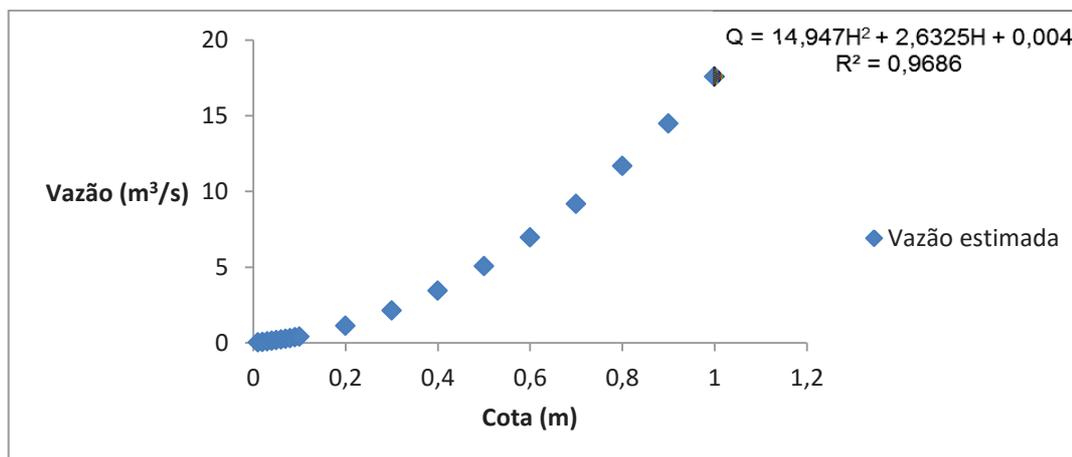
Figura 43 – Curva-chave do ponto B.



A curva-chave do ponto B (figura 43), assim como no ponto A, demonstra um excelente coeficiente de correlação quando ajustada ao tipo polinômio de segundo grau ( $R^2 = 0.9686$ ). Novamente, observa-se um ponto isolado de cota 0,15 m e vazão de  $0,7245 \text{ m}^3/\text{s}$ , ocorrente no evento 2, gerado por uma precipitação de 9 mm.

Através da curva-chave do ponto B, estimou-se a vazão do local caso a cota seja de 1 metro de altura (figura 44). De acordo com a Prefeitura Municipal, esse valor de altura d'água foi detectado na cidade no mês de Dezembro de 2014 na área de risco CPV-02 (apêndice A).

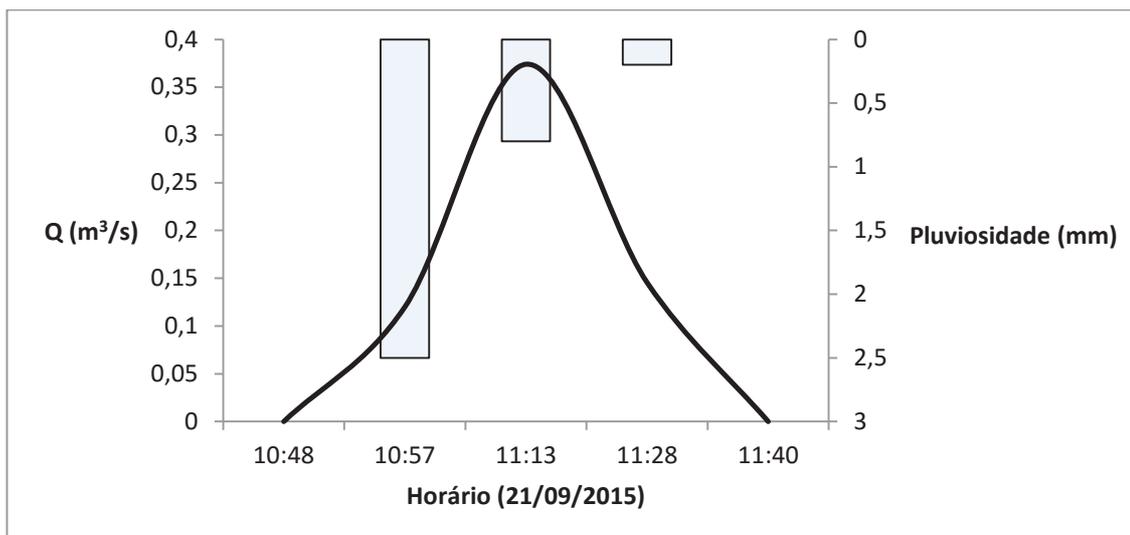
Figura 44 – Estimativa dos valores de vazão no ponto B para cotas até 1 metro de altura



De acordo com os dados obtidos, caso a lâmina de água atinja 1 metro de altura, a vazão será de  $17,58 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### Ponto C

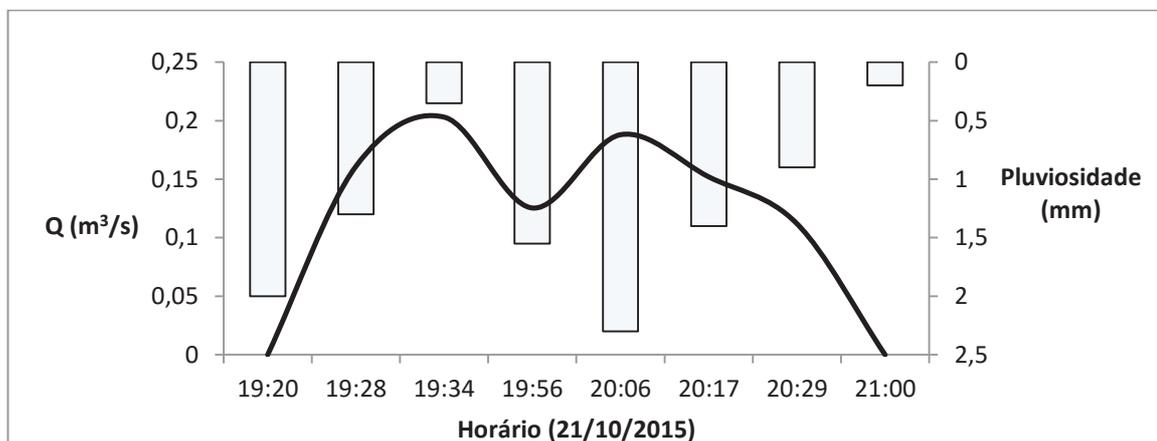
Figura 45 – Hidrograma do ponto C durante o evento 2.



Com relação ao ponto C, durante o evento 2 (figura 45), a vazão de pico possui valor de  $0,374 \text{ m}^3/\text{s}$  com cota de  $0,04 \text{ m}$  e chuva acumulada de  $9,8 \text{ mm}$ .

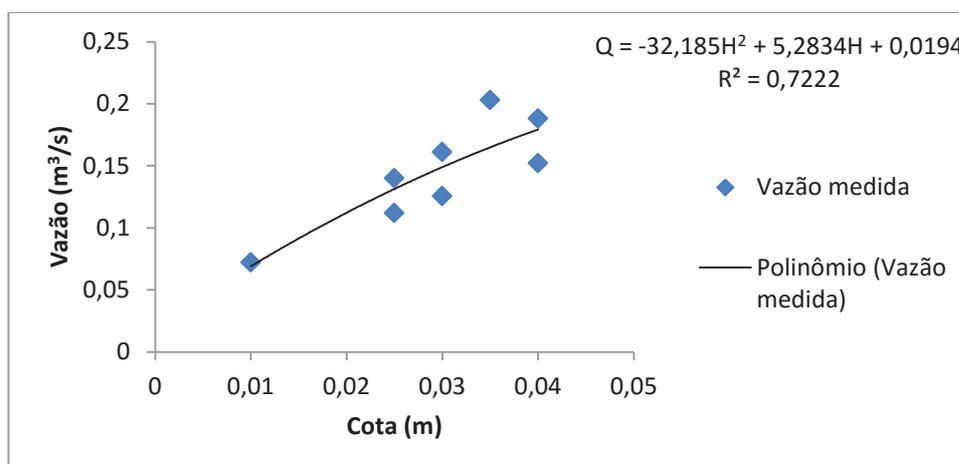
### Ponto E (Exutório)

Figura 46 – Hidrograma do ponto E durante o evento 3.



O hidrograma da seção em que a água corria em direção a exutório da microbacia (figura 46) durante o evento 3 apresenta dois picos de ascensão: as 19h34min, com  $0,203 \text{ m}^3/\text{s}$  e as 20h06min com  $0,188 \text{ m}^3/\text{s}$ , causados por uma precipitação acumulada de  $3,65 \text{ mm}$  e  $7,5 \text{ mm}$ , respectivamente. A variação da intensidade da precipitação durante o evento ocasiona essa distinção nos valores de vazão no decorrer do tempo, com mais de um pico.

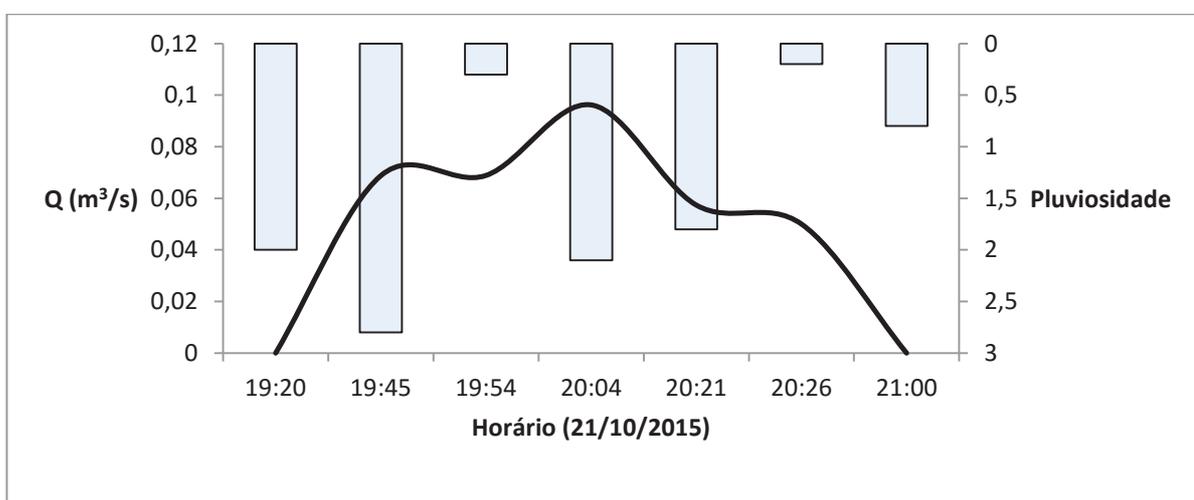
Figura 47 – Curva-chave do ponto E durante o evento 3.



A figura 47 ilustra a curva-chave do ponto E, que mostrou melhor ajuste no tipo polinômio de segundo grau, com coeficiente de correlação 0,7222. Diferentemente dos pontos A e B, esta seção não possui um evento distinto, caracterizado por altos picos de vazão.

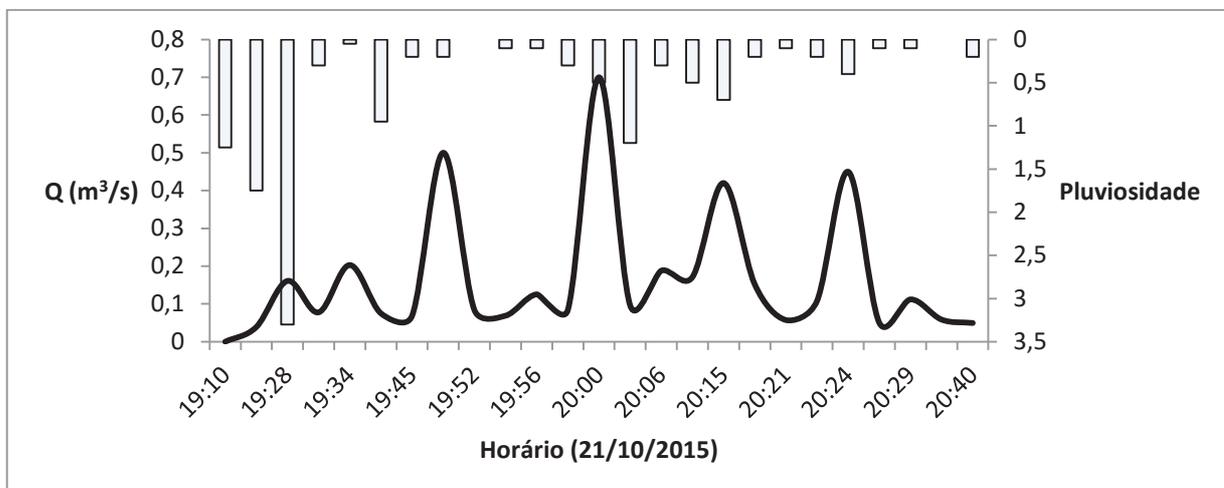
### Ponto F

Figura 48 – Hidrograma do ponto F durante o evento 3.



O ponto F teve seus valores de vazões medidos apenas durante o evento 3, já que nos outros dias não havia fluxo superficial suficiente para coletar dados. O hidrograma desta seção (figura 48) apresenta uma vazão de pico de  $0,0962 \text{ m}^3/\text{s}$ , com profundidade da água de  $0,037 \text{ m}$  e uma chuva acumulada de  $7,2 \text{ mm}$ . No entanto, durante o evento 2, foi possível coletar apenas um dado de vazão no ponto F, de  $1,53 \text{ m}^3/\text{s}$ , cota de  $0,18 \text{ m}$  e chuva acumulada de  $7,5 \text{ mm}$ .

Figura 49 – Hidrogramas de todos os pontos durante o evento 3.



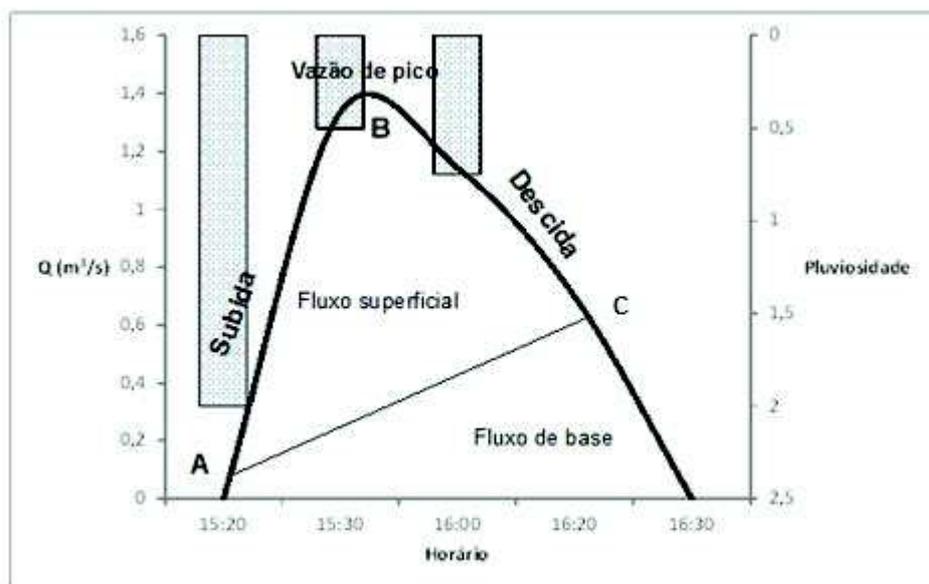
O gráfico de todos os pontos durante o evento 3 (figura 49) foi gerado para ilustrar o comportamento de cada seção durante o período de análise. Cada local possui sua vazão de pico em momentos diferentes, sendo que às 20h00min foi coletado o maior valor de vazão,  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , correspondente ao ponto A. O ponto B registra o segundo maior valor de vazão,  $0,500025 \text{ m}^3/\text{s}$ . Essas duas seções sempre foram as que registraram maiores valores de metros cúbicos de água por segundo. Isso ocorre devido à contribuição das partes mais altas das áreas vizinhas para esses pontos, que em comparação com os outros, recebem maior volume de água.

### 5.1.2 Hidrogramas de toda a bacia para cada evento

Os hidrogramas a seguir representam a soma das vazões de todos os pontos diante do evento analisado (1, 2 e 3). Assim, os gráficos representam o comportamento de toda a microbacia, sem o discernimento de cada seção. Em cada uma das hidrógrafas pode-se observar a subida, a vazão de pico e a recessão do escoamento superficial. Em termos gerais, os pontos A, B e C de cada hidrograma são descritos da seguinte maneira: na microbacia onde se está registrando a vazão, verificou-se que, após o início da precipitação ( $t_0$ ), o nível de água começa a elevar-se a partir do ponto A. A vazão então cresce até o instante correspondente ao ponto B, quando atinge seu pico. Ao final da precipitação, o escoamento superficial prossegue durante algum tempo e a curva de vazão vai decrescendo. O trecho BC

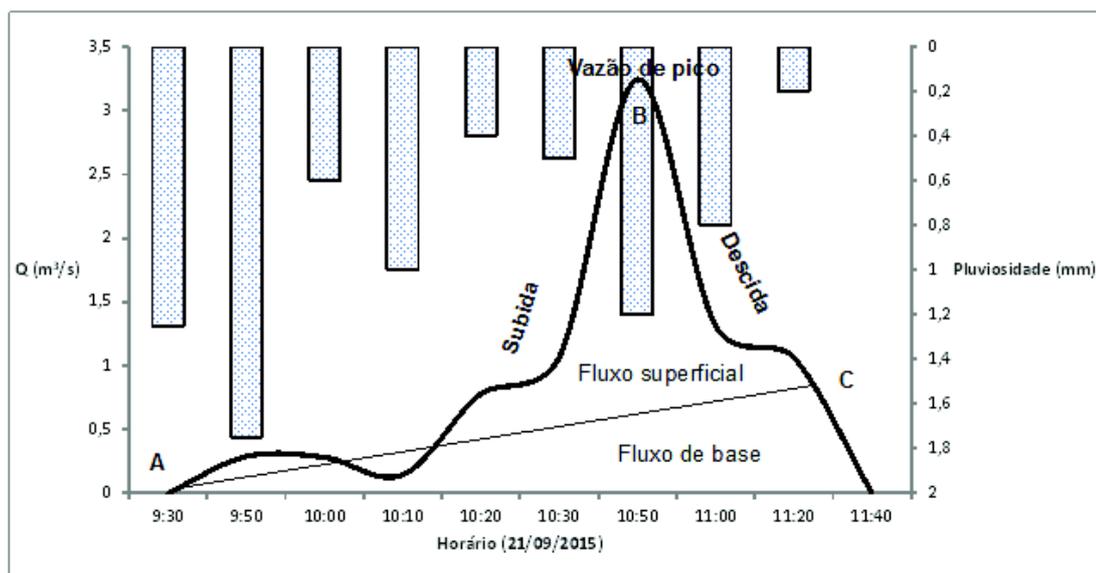
se denomina curva de depressão do escoamento superficial. A linha que representa a contribuição da água do lençol subterrâneo ao curso d'água costuma ser representada pela reta AC.

Figura 50 – Hidrograma da soma das vazões na microbacia durante o evento 1.



A partir do hidrograma (figura 50) é possível extrair as seguintes informações acerca do evento 1: O vazão de pico é  $1,336 \text{ m}^3/\text{s}$  ocasionada por uma chuva  $2 \text{ mm}$  com vazão em torno das  $16\text{h}00\text{min}$ , a partir daí a chuva cessa e a vazão diminui para um valor  $1,1415 \text{ m}^3/\text{s}$  e precipitação de  $3,25 \text{ mm}$ , diminuindo ainda mais para  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este evento é marcado pelo rápido aumento da vazão com pouca precipitação. Apenas  $3,25 \text{ mm}$  de chuva foi suficiente para causar mais de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  de vazão. Isso pode ser explicado pela umidade antecedente do solo: havia chovido  $25 \text{ mm}$  distribuídos nos 5 dias anteriores.

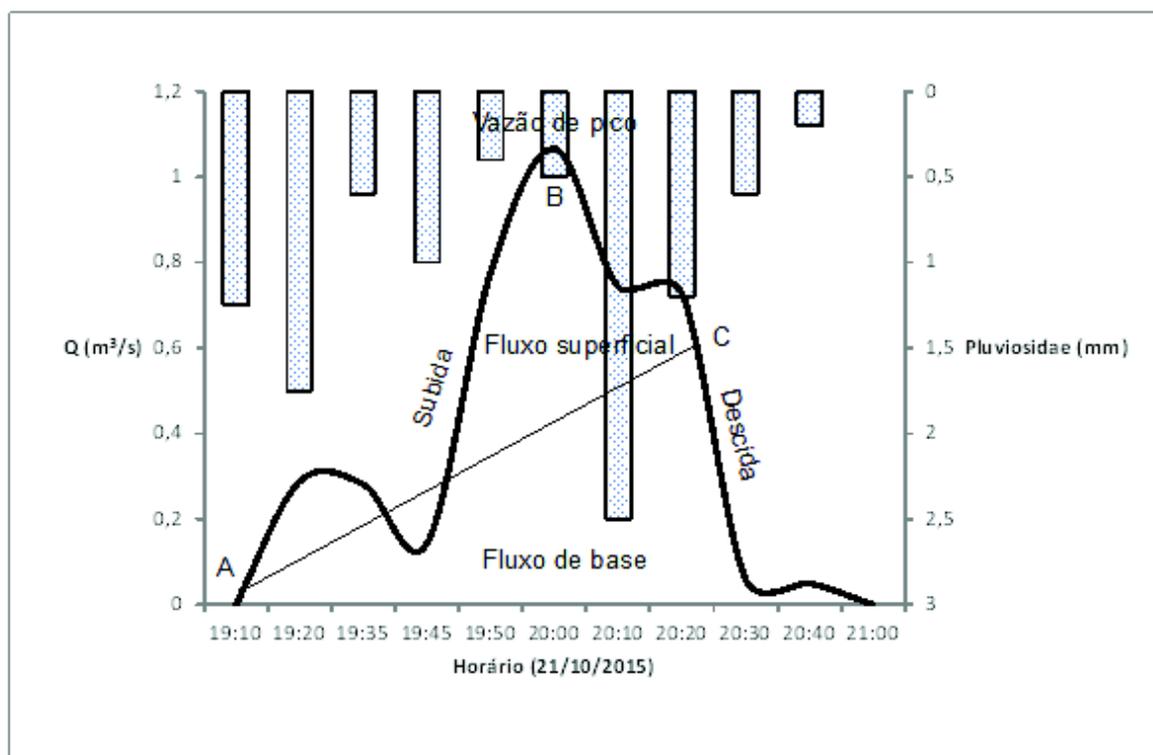
Figura 51 – Hidrograma da soma das vazões na microbacia durante o evento 2.



O evento 2 se caracterizou pelos maiores valores de vazão observados (figura 51). A água atingiu toda a rua e foi necessário o cálculo da lâmina d'água que atingiu a via.

A hidrógrafa pode ser analisada da seguinte maneira: o escoamento superficial teve início às 09h50min da manhã deste dia, porém os dados começaram a ser coletados a partir das 10h30min. Os dados do evento 3 foram utilizados para analisar o comportamento da microbacia desde as 09h30min da manhã. A vazão de pico deste evento, maior valor registrado entre todos os outros dados, foi de 3,2445  $m^3/s$ , com precipitação acumulada de 9 mm. A partir daí, há uma recessão do fluxo superficial, com leve pico às 11h20min e, logo após, a continuidade da recessão. A precipitação acumulada foi de 49 mm, distribuídos nos 6 dias anteriores, sendo que no próprio dia choveu 69 mm.

Figura 52 – Hidrograma da soma das vazões na microbacia durante o evento 3.



A figura 52 ilustra o comportamento da microbacia durante o evento 3. A partir do gráfico, obtém-se as seguintes informações acerca do escoamento: este gráfico com a soma das vazões possui três picos: às 19h20min, 20h00min e 20h20min. No horário de 19h20min começa o escoamento superficial, com vazão de  $0,28745 \text{ m}^3/\text{s}$  e precipitação de 1,75 mm. Observa-se uma leve recessão até as 19:45h. No entanto, a partir deste mesmo horário ocorre rápida ascensão do hidrograma, ocasionado por um aumento na pluviosidade. A ascensão do hidrograma vai das 19h45min até as 20h00min, com vazão de pico no valor de  $1,0656 \text{ m}^3/\text{s}$  originada por uma precipitação acumulada de 8 mm. A partir daí observa-se uma leve recessão. Entretanto, novamente ocorre um pico de vazão às 20h20min. A recessão definitiva do hidrograma, portanto, começa a partir desse horário e o horário de 21h00min corresponde ao fim do escoamento superficial.

Ainda, com relação à precipitação, o pluviômetro instalado na Universidade Federal do Pampa marcava exatamente 10 mm de chuva as 09h00min horas do dia 22/10/2015. Não havia chovido no dia anterior. Entretanto, na parte da manhã do dia 20/09, o pluviômetro marcava 13 mm, valor de precipitação de dois dias antes do evento.

## 5.2 Determinação da Precipitação Efetiva

Através do método do *Soil Conservation Service* (SCS), realizou-se o cálculo da precipitação efetiva, tendo como variáveis P (precipitação) = 10 mm e N (número de deflúvio que define o complexo hidrológico solo vegetação) = 100, correspondente a áreas urbanizadas.

$$\frac{\left(\frac{P - 5080}{N + 50,8}\right)^2}{\frac{P + 20320}{N - 203,2}}$$

$$\frac{\left(\frac{10 - 5080}{100 + 50,8}\right)^2}{\frac{10 + 20320}{100 - 203,2}}$$

PE= 5,7379 mm

Através de observações feitas em campo notou-se que o solo começou a saturar em torno de 1,5 mm e o escoamento superficial se iniciou entre 2 e 2,5 mm. Este valor de 5,7 mm representa a precipitação que efetivamente contribuiu para o escoamento superficial.

## 5.3 Análise da Reflectância do Pixel da área de Estudo

Os dados acerca da reflectância das imagens de satélite dos dias 18/12/2001 período de seca (figura 53) e cheia (figura 54) e são analisados nesta seção.

A imagem do dia 18/12/2001 é apresentada em composição falsa-cor nas bandas 3(B), 4(G) e 5(R). Essas bandas foram escolhidas por proporcionarem maior discernimento entre solo e água. Na figura 53, o solo encontra-se em tons de rosa facilmente discriminado dos tons mais escuros que representam os corpos d'água.

Figura 53 - Imagem do satélite *LANDSAT* – 7 do dia 18/12/2001



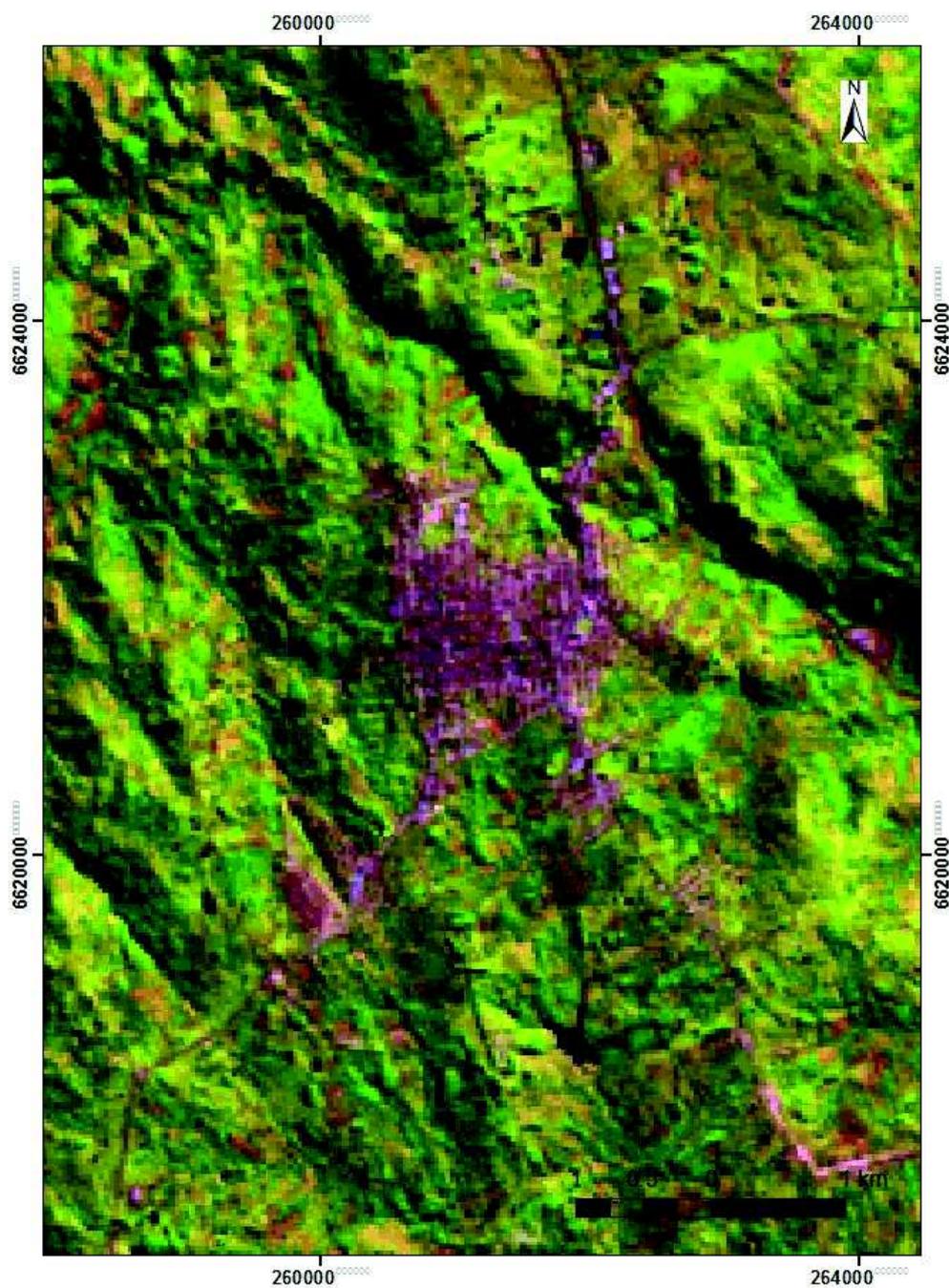
Fonte: a autora

Embora seja um período de estiagem, a grande quantidade de nuvens presente na imagem se justifica pela falta de chuva dos dias anteriores e consequente formação de nuvens. De acordo com os dados de interpolação na bacia no dia 18/12/2001, a precipitação em Caçapava do Sul foi de 1,9 mm, ou seja,

a data da imagem de satélite representa o último dia de estiagem, sendo que mais tarde na mesma data ocorreu precipitação.

A imagem 54 também foi gerada em composição falsa-cor, nas bandas 3 (B), 4 (G) e 5 (R). A área urbana se difere do restante da suíte granítica por meio de uma cor mais clara, ambas em tons de roxo. Os corpos d'água podem ser discernidos por sua cor azulada. Diferentemente da imagem do período de estiagem, não havia nuvens no local, pois toda a precipitação já havia ocorrido (39 mm). Nos dias posteriores a imagem ocorreu precipitação muito baixa, registradas nas áreas de influência do Município: apenas 0,1 mm em Bagé e 0,2 mm em Santa Maria.

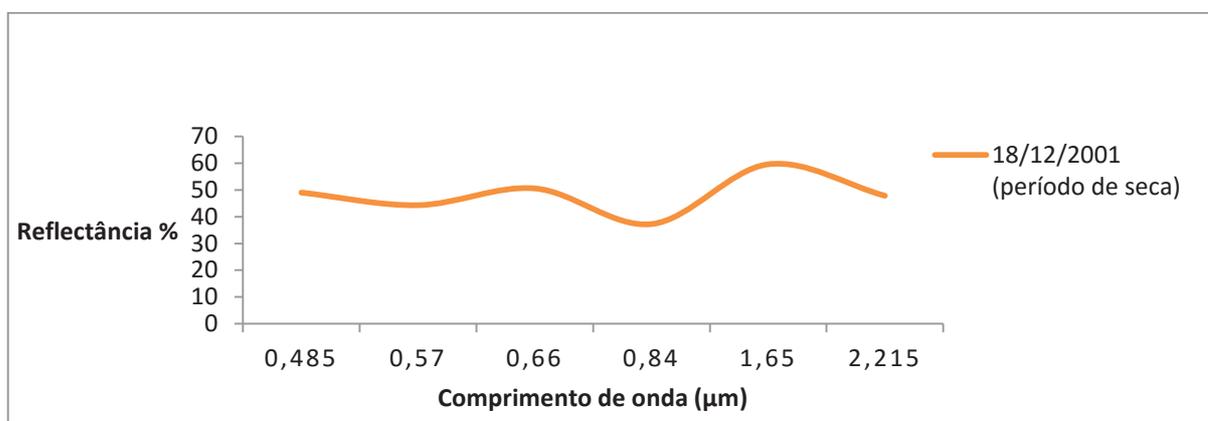
Figura 54 – Imagem do satélite *LANDSAT – 7* do dia 22/07/1999.



Fonte: a autora

Os gráficos apresentados (figuras 55 e 56) ilustram os resultados da reflectância do pixel das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

Figura 55 – Gráfico com a assinatura espectral da área de estudo em período de estiagem



A figura 55 representa o comportamento espectral da área de estudo no dia 18/12/2001, período de estiagem. A reflectância do pixel varou de 37,2% a 59,6%. Em contrapartida, a figura 56, referente ao período de cheia, representa a assinatura espectral da área de estudo com valores de reflectância muito inferiores aos do período de estiagem: variam de 19,6% a 26,2%. Esses resultados são satisfatórios, visto que a reflectância da água é realmente inferior ao do solo seco. Isso comprova que a área de estudo no período de cheia estava com o solo úmido, saturado, evidenciando sua baixa capacidade de absorção de água, culminando em maior volume de chuva efetiva devido à precipitação acumulada de 39,65 mm dos três dias anteriores. A figura 57 representa a junção das duas curvas de assinatura espectral nos períodos de estiagem e cheia, para fins comparativos. As bandas encontram-se discriminadas no gráfico.

Figura 56 – Gráfico com a assinatura espectral da área de estudo em período de cheia

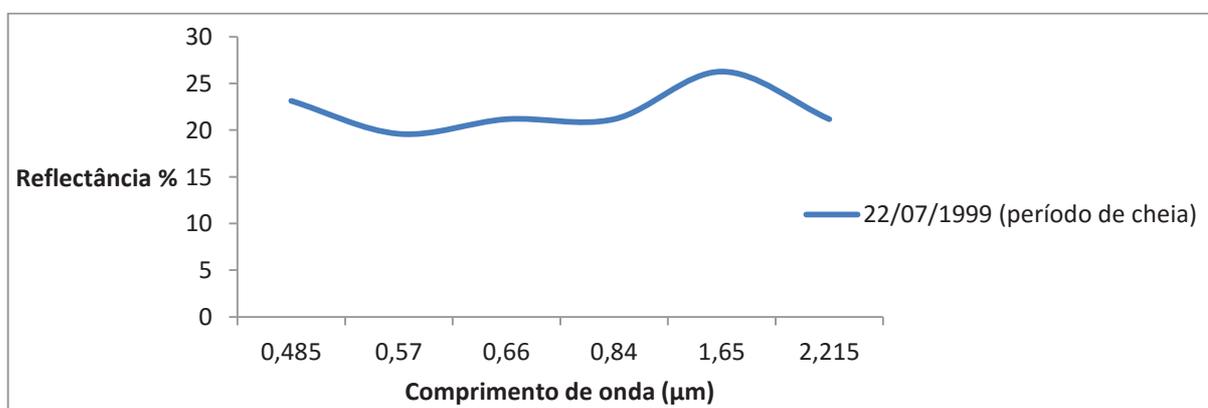
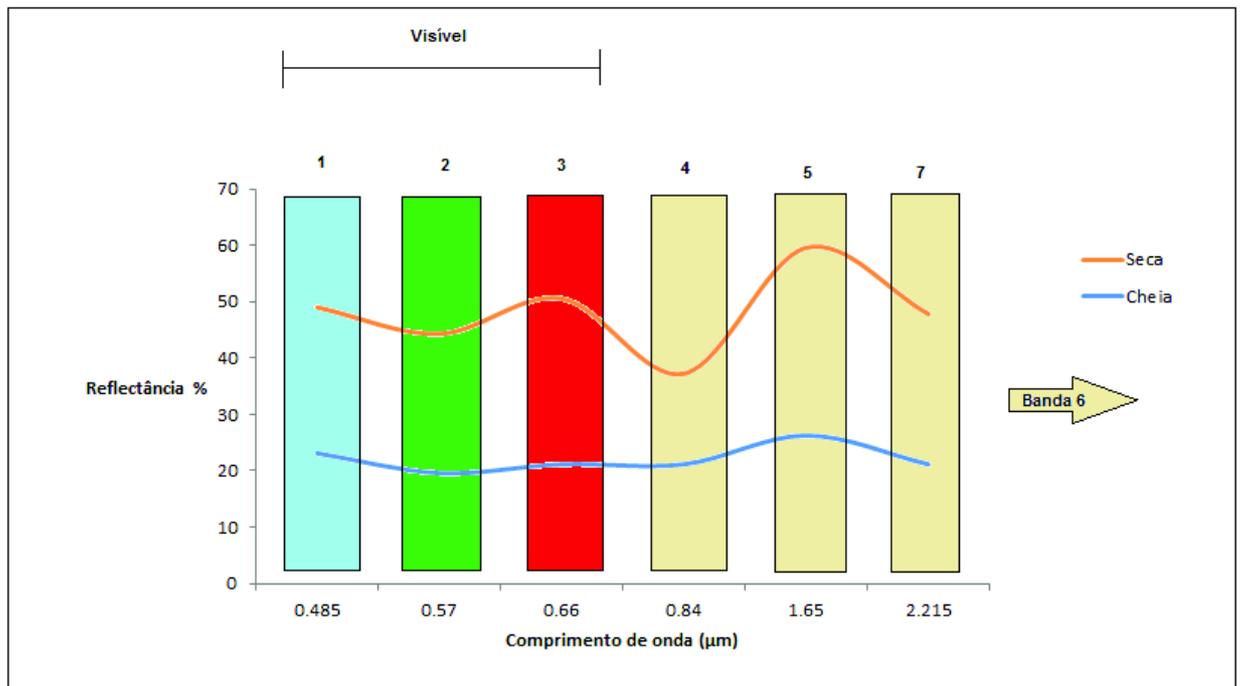


Figura 57 – Gráfico com a assinatura espectral da área de estudo em período de estiagem e cheia



## 6 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como resultado o mapeamento das áreas de risco a enxurradas no município de Caçapava do sul, o estudo de dados hidrométricos observados em microbacia urbana e análise de imagens de satélite da área em período de estiagem e seca.

A observação do comportamento do solo em períodos de intensidade de chuva diferentes, através da análise da reflectância do local, se mostrou eficaz ao evidenciar a umidade do solo no período de cheia, fortalecendo a participação do sensoriamento remoto no gerenciamento de áreas de risco.

Através da coleta dos dados hidrométricos observou-se que a soma das vazões de pico foi de 1,336 m<sup>3</sup>/s, 3,2445 m<sup>3</sup>/s, 1,0656 m<sup>3</sup>/s dentro da microbacia investigada, durante os eventos 1, 2 e 3 respectivamente. Esses valores foram originados por precipitações de 3,25 mm de intensidade no primeiro evento e 10 mm nos dois últimos. O primeiro evento, com duração de 70 minutos, atingiu sua vazão máxima 13 minutos após o início da chuva. O segundo evento, com precipitação iniciada as 09h30min atingiu seu valor máximo de vazão às 10h50min. No terceiro e último dia de análise, a vazão máxima registrada ocorreu as 20h00min, 50 minutos após o início da chuva. Com relação à intensidade da chuva, é necessário apenas 2,5 mm de água para que o escoamento superficial se inicie e, caso a pluviosidade persista, ainda que durante um curto período de tempo, a área alaga e causa dificuldade de locomoção para os pedestres e motoristas.

Pelo fato de o hidrograma da microbacia de análise ilustrar exatamente o comportamento de área urbanizada, situado por Tucci (2003), torna-se claro os efeitos da urbanização na cidade, embora poucas vias sejam totalmente impermeabilizadas. Além disso, o espraiamento urbano no município, ainda que baixo comparado as grandes cidades que sofrem com o mesmo problema, foi acompanhado de péssima infra - estrutura, especialmente no que concerne a rede de drenagem pluvial, incapaz de dar vazão a volumes de água pequenos, como evidenciado pelos hidrogramas de cheia gerados por precipitação em torno de 3 mm.

Todo esse cenário, somado ao tipo de solo encontrado na região, os neossolos, que por natureza possuem baixa capacidade de infiltração (EMPRABA, 2006), bem como o relevo acidentado do município, evidenciado em parte pelo

modelo digital de terreno da própria microbacia de estudo, contribui para a geração de riscos geológicos relacionados a enxurradas.

Os dados de vazão assumem grande importância para a obtenção de valores de descarga futuros e para prever a frequência de eventos extremos. Desse modo torna-se necessário conhecer o comportamento da vazão e das velocidades do curso d'água em função da sua cota, sendo a curva-chave o suprimento dessa necessidade. Vale ressaltar que a curva-chave pode ser modificada ao longo do tempo devido a mudanças das condições geológicas e hidrológicas do local.

Deste modo, os dados obtidos neste trabalho demonstram a fragilidade ambiental da área em relação às enxurradas, já que a vazão máxima ocorre pouco tempo após a precipitação iniciar.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro de todo o contexto ao qual o município se encontra perante a ocorrência de enxurradas e o comportamento dos hidrogramas da área de estudo, típicos de área urbanizada, são propostas intervenções através de medidas estruturais e não estruturais para mitigar os problemas causados pelos desastres em questão. As primeiras se tratam de intervenção por meios de obras (SANTOS A. R.,2014). No caso de Caçapava do Sul, é extremamente importante que a rede de drenagem seja atualizada e que sejam eliminados os pontos de estrangulamento, ou seja, sistemas de drenagens não projetados para suportar as vazões atuais. Além disso, deve-se evitar ao máximo a impermeabilização do solo na cidade, já que por natureza, o mesmo é incapaz de absorver grandes quantidades de água.

Em relação às medidas estruturais, que possuem custos mais baixos e maior horizonte de atuação, tornam-se necessárias ações de regulamento de uso e ocupação do solo na cidade, evitando o adensamento populacional em áreas de risco, bem como a criação de sistemas de alerta e previsão de enxurradas. Além disso, sugere-se que a Defesa Civil de Caçapava do Sul inclua a microbacia analisada neste trabalho como área de risco geológico a enxurradas dentro do Município, devido a sua suscetibilidade e vulnerabilidade perante as chuvas ocorrentes da região.

## 8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Delia Del Pilar Montecinos et al. Evolution of Heterogeneous Mantle in the Acampamento Velho and Rodeio Velho Volcanic Events, Camaquã Basin, Southern Brazil. **Gondwana Research**. v.8, n. 4. p.479-492, out. 2005.

BABINSKI, Marly et al. Juvenile accretion at 750–700 Ma in southern Brazil. **Geology**., v. 24, p.439-442, mai. 1996.

BORBA, André Weissheimer de; VIGNOL-LELARGE, Maria Lidia Medeiros; MIZUSAKI, Ana Maria Pimentel. Uplift and denudation of the Caçapava do Sul granitoids (southern Brazil) during Late Paleozoic and Mesozoic: constraints from apatite fission-track data. **Journal of South American Earth Sciences**, p. 683-692. dez. 2002.

BITENCOURT, Maria de Fátima. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS- Geologia e relações com o corpo granítico. *In*: Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. **SBG**, Porto Alegre, 1983. p.37-49.

BONIFÁCIO, Cássia Maria; FREIRE, Rosane. COMPARAÇÃO DE TRÊS MÉTODOS PARA A MEDIÇÃO DA VAZÃO E VELOCIDADE APLICADOS EM DOIS CURSOS D'ÁGUA DA BACIA DO RIBEIRÃO MARINGÁ. **Anap**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.406-415, 10 nov. 2013. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. DOI: 10.17271/19800827922013656. Disponível em: <[http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/656/680](http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/656/680)>. Acesso em: 24 set. 2015.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. **Banco de dados e registros de desastres**: sistema integrado de informações sobre desastres - S2ID. 2013. Disponível em: <<http://s2id.integracao.gov.br/>>. Acesso em: 4 Mai. 2015.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **MANUAL DE DESASTRES: DESASTRES NATURAIS**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p. Disponível em: <[http://www.integracao.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=47a84296-d5c0-474d-a6ca-8201e6c253f4](http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=47a84296-d5c0-474d-a6ca-8201e6c253f4)>. Acesso em: 10 abr. 2015.

CHEMALE, Junior Farid. Evolução geológica do Escudo Sul-rio-grandense. *In*: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), **Geologia do Rio Grande do Sul**. CIGO-UFRGS, Porto Alegre, 2000. p. 13–52.

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo Hidrologia**. 5. ed. Porto Alegre: Iph Ufrgs, 2008. 149 p. Disponível em: <[http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila\\_Completa\\_2008.pdf](http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila_Completa_2008.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2015.

CONORATH, Gabriel Daniel. **Águas Urbanas: Análise Morfométrica e Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira - Joinville/SC**. 2012. 159 f. Dissertação (Mestrado), Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

CORDANI, Umberto Giuseppe et al. **Crustal evolution of the South American Platform**, in: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz, D.A. Campos (Eds.), Tectonic Evolution of South America, International Geological Congress, 31 (2000), p. 19–40

COSTA, Antonio Flavio Uberti. et al.,1995. Teste dos modelos tectônicos de posicionamento do complexo granítico de Caçapava do Sul através de estudos de modelagem gravimétrica 3-D. **Revista Brasileira de Geofísica**,13 (2): 91-101.

DUAN Minyan et al. **“Use of Remote Sensing and GIS for Flood Hazard Mapping in Chiang Mai Province, Northern Thailand.”** Paper presented at the International Conference on Geo-spatial Solutions for Emergency Management and the 50th Anniversary of the Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing, China, September 14-16. 2009

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2015.

FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. 2005. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf)>. Acesso em: 09 out. 2015.

FRAGOSO-CESAR, Antonio Romalino Santos. **Tectônica de Placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul**. 1991. 366 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991

\_\_\_\_\_. The Camaquã extensional basin: Neoproterozoic to early Cambrian sequences in southernmost Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 3, p.442-445, set. 2000

HARTMANN, Léo Afraneo. **Oceanic plateau accretion at 705 Ma in the southern Brazilian Shield**. In: 4th South American Symposium on Isotope Geology, Salvador. Short papers v. 1, 2003

(Instituto Nacional de Meteorologia) INMET. **Estações automáticas**. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 01 abr. 2015.

JANIKIAN, Liliane. **Sequências deposicionais e evolução paleoambiental do Grupo Bom Jardim e da Formação Acampamento Velho, Supergrupo Camaquã, Rio Grande do Sul**. 2004. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

KOBIYAMA, Masato et al. **PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS: Conceitos Básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p. Disponível em:

<[http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/desastres\\_naturais\\_conceitos.pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/desastres_naturais_conceitos.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2015.

KÖENE, Rafael. A relação entre as inundações e as características geomorfológicas da cidade de Rio Negro/PR. **Geografia Ensino & Pesquisa**, v. 17, n. 3, p.175-190, set./dez. 2013.

MACEDO, Eduardo Soares de et al. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades/instituto de Pesquisas Tecnologias - IPT, 2007. 176 p.

MARASCHIN, Anderson José et al. Illite authigenesis in sandstones of the Guaritas Allogroup (Early Paleozoic): Implications for the depositional age, stratigraphy and evolution of the Camaquã Basin (Southern Brazil). **Journal Of South American Earth Sciences**, Porto Alegre, v. 29, n. 2, p.400-411, mar. 2010.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Unb, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 24 out. 2015.

MORAES, Isabel Cristina et al. INTERFERÊNCIA DO USO DA TERRA NAS INUNDAÇÕES DA ÁREA URBANA DO CÓRREGO DA SERVIDÃO, RIO CLARO (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 13, n. 2, p.187-200, abr./jun. 2012.

MULLER, Cristiane Regina. **Avaliação de Suscetibilidade a Inundações Utilizando Geotecnologias para a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira - Joinville/SC**. 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

NEOCORP DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS E SERVIÇOS LTDA (Porto Alegre). Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul. **ELABORAÇÃO DO PLANO AMBIENTAL MUNICIPAL DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**. Porto Alegre, 2010. 277 p. Disponível em: <[http://www.prefeitura.cacapava.net/site/sec\\_planejamento/20130913.pdf](http://www.prefeitura.cacapava.net/site/sec_planejamento/20130913.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2015.

NOAA – NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Flash Flood Early Warning System Reference Guide**. Washington: NOAA/COMET, 2010. 204 p. Disponível em: <[http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/haz\\_fflood.php](http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/haz_fflood.php)>. Acesso em 04 mai. 2015.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; CAPAZ, Rafael Silva. **Ciências Ambientais para Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

PAIM, Paulo Sergio Gomes; CHEMALE JUNIOR, Farid; LOPES, Ricardo da Cunha. **Aloestratigrafia, Sistemas Depositionais e Evolução Paleogeografica da Bacia do Camaquã- Vendiano Superior/ Ordoviciano Inferior do RS**. In: VI SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1995, Porto Alegre. Boletim de Resumos

Expandidos (palestras). **Sociedade Brasileira de Geologia**, Porto Alegre, p.39-50. 1995

\_\_\_\_\_. CHEMALE JUNIOR, Farid; LOPES, Ricardo da Cunha. **A Bacia do Camaquã**. In: Michel Holz; Luiz Fernando de Ros. (Org.). *Geologia do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, 2000 n. 1, p.231-274.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAÇAPAVA DO SUL. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. 71p, dez. 2013.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <<http://www.cacapava.rs.gov.br/>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

RANCY, Sandro Camilo Rocha; SAMPAIO, Silvio César; SUSKEK, Morgana. SIMULAÇÃO DA VAZÃO SUPERFICIAL DA MICROBACIA DO RIO CASCAVEL. *Varia Scientia*, Cascavel, v. 7, n. 13, p.87-93, jan. 2007

REMUS, Marcus Vinicius Dorneles et al. **Zircon SHRIMP U/Pb dating and Nd isotope data of granitoids of the são Gabriel Block, southern Brazil: evidence for an Archean/Paleoproterozoic basement**. In: International Symposium on Granite and associated Mineralizations, 1997, Salvador, BA. Extended Abstracts And Program. v.único, p.271-272

REZENDE, Greyce Bernardes de Melo. **MODELO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA ESTIMATIVA E DELIMITAÇÃO DE ÁREAS INUNDADAS: uma ferramenta de auxílio à elaboração de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. 2012. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

ROCHA, Paulo Cesar. GEOMORFOLOGIA E ÁREAS INUNDÁVEIS NA PLANÍCIE FLUVIAL DO ALTO RIO PARANÁ. *Rev. Geogr. Acadêmica*, v. 5, n. 1, p.98-117. 2011.

ROSSATO, Maira Suertegaray. **Os Climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia**. 2011. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <[http://www.smad.rs.gov.br/downloads/documentos/ROSSATO\\_Climas do RS\\_UFRGS\\_2011.pdf](http://www.smad.rs.gov.br/downloads/documentos/ROSSATO_Climas_do_RS_UFRGS_2011.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2015.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. **ENCHENTES E DESLIZAMENTO: causas e soluções: Áreas de risco no Brasil**. São Paulo: Pini, 2012. 136 p.

\_\_\_\_\_. **Manual Básico para elaboração e uso da Carta Geotécnica**. São Paulo: Rudder, 2014.

SANTOS, Éder Ribeiro. GEOMORFOLOGIA E INUNDAÇÕES URBANAS: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CESÁRIOS EM ANÁPOLIS (GO). *Geonorte*, v. 10, n. 1, p.315-318, 2014.

SAUERESSIG, Silene Raquel. **Zoneamento das Áreas de Risco a Inundação da Área Urbana de Itaqui-RS**. 2012. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SAUSEN, Tania Maria. **Sensoriamento Remoto e suas Aplicações para Recursos Naturais**. 2015. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#tania>>. Acesso em: 24 out. 2015.

SEMA - SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=54](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=54)>. Acesso em: 1 maio 2015.

SIMÕES, Silvio Jorge C.; TRANNIN, Isabel Cristina de Barros. GIS APPLICATION IN FLOOD MANAGEMENT – A CASE STUDY: PARAIBA DO SUL BASIN, SOUTHEAST BRAZIL. **Aqua-lac**, v. 4, n. 2, p.29-44, set. 2012.

SIRANGELO, Fabiana Rauber. **Relação entre a ocorrência de inundações e enxurradas e os índices morfométricos das sub-bacias hidrográficas da Região Hidrográfica do Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil**. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SOARES, João Viane. **Introdução a Hidrologia de Florestas**. 2004. Disponível em: <[www.dsr.inpe.br/dsr/viane/hidrologia/PPTs\\_PDFs/](http://www.dsr.inpe.br/dsr/viane/hidrologia/PPTs_PDFs/)>. Acesso em: 24 set. 2015.

SOLIANI JUNIOR, Enio. **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas implicações de ordem geotectônica**. 1986. 465 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, IG, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

\_\_\_\_\_. et al. Geologia isotópica do Escudo Sul-rio-grandense, parte II: os dados isotópicos e interpretações petrogenéticas. In: Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), **Geologia do Rio Grande do Sul**. CIGO-UFRGS, pp. 175–230. 2000

STUDART, Ticiano Carvalho. **Hidrologia**. 2006. Disponível em: <[http://www.barramentos.ufc.br/Hometiciano/Arquivos/Graduacao/Apostila\\_Hidrologia\\_grad/](http://www.barramentos.ufc.br/Hometiciano/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/)>. Acesso em: 20 set. 2015

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Água no meio urbano**. Livro Água Doce, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997

\_\_\_\_\_. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO E VAZÃO MÁXIMA DE BACIAS URBANAS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p.61-68, jan. 2000.

\_\_\_\_\_. Drenagem Urbana. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, 2003. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252003000400020](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020)>. Acesso em: 9 abr. 2015.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**: Volume Rio Grande do Sul. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2011. Disponível em: <http://150.162.127.14:8080/atlas/Atlas%20Rio%20Grande%20do%20Sul%202.pdf>>. Acesso em: 4 mai. 2015

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-hill,, 1975. 245 p.

ZERGER, Andre; SMITH, David Ingle. Impediments to using GIS for real-time disaster decision support. **Computers, Environment And Urban Systems**. p. 123-141. 2003.

## APÊNDICE A – Pranchas de Setorização das Áreas de Risco de Caçapava do Sul – RS

## MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A ENXURRADAS



MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A ENXURRADAS

**ENXURRADA**

Município: Caçapava do Sul  
 Nome da Área: Rua Riachuelo (R3)



Vista de moradia destruída pela enxurrada. Fonte: Defesa Civil Municipal



Moradias afetadas pela enxurrada. Detalhe para o muro caído no canto esquerdo. Fonte: Defesa Civil Municipal



Água invadindo quarto de moradia. Fonte: Defesa Civil Municipal



Moradia destruída pela enxurrada. Fonte: Defesa Civil Municipal

**Descrição da Área**  
 A área está localizada na rua Riachuelo, região central da cidade. O sistema de drenagem artificial é precário. As moradias possuem bom padrão construtivo e as ruas são constituídas de paralelepípedo. O pior caso de inundação brusca ocorreu em novembro de 2014.

**Descrição do Processo Observado e/ou Potencial**  
 Esta área está sujeita aos processos de inundação brusca/enxurradas.

Escala: 1:3.000	Município de Caçapava do Sul
Data: Junho/2015	CPV-02 (Rua Riachuelo)

## MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A ENXURRADAS

### Enxurrada

Município: Caçapava do Sul  
Nome da Área: Rua Esperanto com Cabo Toco (R3)



Vista de moradia frequentemente atingida pela enxurrada. Detalhe para o muro



Vista geral da área. Detalhe para o relevo do local.



Vista geral da área.



Rua tomada por águas pluviais. Fonte: moradores

### Descrição da Área

A área está localizada na rua Esperanto com Cabo Toco. O sistema de drenagem artificial é precário e as ruas não possuem pavimentação. As moradias possuem bom padrão construtivo e algumas são construídas em um nível mais alto do que a rua para evitar a entrada da água, outras possuem pequenos muros.

Toda a água das partes altas do centro da cidade escoam para este local.

### Descrição do Processo Observado e/ou Potencial

Esta área está sujeita aos processos de inundação brusca/enxurradas.

Escala: 1:1.500

Data: Junho/2015

Município de Caçapava do Sul  
CPV-03 (Rua Esperanto com Cabo Toco)

## MAPEAMENTO DE ÁREAS DE RISCO A ENXURRADAS

### Enxurrada

Município: Caçapava do Sul

Nome da Área: Rua Tomé Medeiros com Prolongamento da rua Dom Pedro II (R3)



Vista geral da área. Destaque para os entulhos próximos as moradias.



Vista geral da área. Destaque para a formação de ravinas na rua sem pavimentação.



Vista de uma das ruas da área. Destaque para o relevo.



Vista da área. Destaque para o relevo e as ravinas causadas pela ação da água.

### Descrição da Área

A área está localizada na rua Tomé Medeiros com prolongamento da Dom Pedro II. O sistema de drenagem artificial é precário e as ruas não possuem pavimentação. Apesar disso, as moradias possuem bom padrão construtivo.

Em toda a área é possível observar a formação de ravinas devido a ação da água durante as enxurradas. Este local também se destaca pelo relevo: é relativamente mais baixo do que as áreas vizinhas.

### Descrição do Processo Observado e/ou Potencial

Esta área está sujeita aos processos de inundação brusca/enxurradas.

Escala: 1:1.500

Data: Junho/2015

Município de Caçapava do Sul  
CPV-04 (Rua Tomé  
Medeiros/Dom Pedro II)