

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

**ANÁLISE HIDROMORFOLÓGICA DA SUB-BACIA DO ARROIO DO SALSO:  
ESTUDO DE CASO PARA AUXILIAR NA INSTALAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE  
MONITORAMENTO**

**ÉDER LUÍS DA SILVA RODRIGUES**

Porto Alegre  
2014

ÉDER LUÍS DA SILVA RODRIGUES

**ANÁLISE HIDROMORFOLÓGICA DA SUB-BACIA DO ARROIO DO SALSO:  
ESTUDO DE CASO PARA AUXILIAR NA INSTALAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE  
MONITORAMENTO**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Geografia no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup> Dra Andrea Lopes Iescheck

Porto Alegre  
2014

### CIP - Catalogação na Publicação

Luís da Silva Rodrigues, Éder  
ANÁLISE HIDROMORFOLÓGICA DA SUB-BACIA DO ARROIO DO  
SALSO: ESTUDO DE CASO PARA AUXILIAR NA INSTALAÇÃO DE  
UMA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO / Éder Luís da Silva  
Rodrigues. -- 2014.  
54 f.

Orientadora: Andrea Lopes Iescheck.

Trabalho de conclusão de curso (Especialização) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Geociências, Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. caracterização hidromorfológica. 2. arroio do  
salso. 3. bacia hidrográfica. I. Lopes Iescheck,  
Andrea, orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Começo agradecendo e ao mesmo tempo dedicando este trabalho às duas mulheres da minha vida, à Helena minha esposa e à Ana Luísa, minha filha, que foram as pessoas que mais contribuíram para a conclusão deste trabalho. À Helena agradeço por todos os momentos que passamos nestes últimos quatorze anos que estamos juntos, sejam nas horas mais difíceis quanto nos momentos mais felizes. Agradeço também a Ana por ter sido a melhor filha do mundo, por todos os recados deixados no meu caderno de campo, e-mails e mensagens a mim enviados, por ter se comportado nas aulas que assistiu durante a graduação, por nos últimos meses sempre perguntar como é que estava o TCC, e mesmo com apenas 9 anos sempre estar disposta a me ajudar no que fosse preciso.

Agradeço também aos meus grandes amigos de longa data, Yara Cerpa e o pessoal do Pré-vestibular Popular Zumbi dos Palmares, especialmente a Enilza Garcia, o Marcos Homem e o Márcio Fernandes, companheiros que me acompanharam desde que ingressei na universidade.

Agradeço os Professores Rogério Maestri e Ana Luiza Borges com quem tive o privilégio de trabalhar no início da graduação e pelo apoio e incentivo que recebi para conciliar trabalho com os estudos.

Agradeço os ex-colegas e amigos da CPRM, André Chagas, e especialmente ao Eduardo Wilson e o Christian Cardoso que compraram a ideia de monitorar o Arroio do Salso e tornaram possível a execução deste trabalho.

Agradeço ainda aos colegas da graduação Wagner Innocencio, Lucile , Fernanda e Eduardo assim como o Max pelas boas risadas durante as saídas de campo, aos amigos do NEGA – Núcleo de Estudos de Geografia e Ambiente, especialmente à Prof<sup>a</sup> Cláudia, Prof<sup>a</sup> Dirce, ao Cristiano Quaresma, Mateus Oliveira e demais membros do núcleo pelas discussões e conversas sobre geografia.

Agradeço por fim a minha orientadora, a Professora Andrea Ieschek pelas discussões, correções e disponibilidade para ajudar a concluir esse trabalho assim como aos demais colegas do Departamento de Geodésia e do Instituto de Geociências desta Universidade.

## RESUMO

O presente trabalho objetiva realizar a análise hidromorfológica de uma sub-bacia hidrográfica do arroio do Salso, localizado na zona sul do município de Porto Alegre. Tem como objetivos específicos: a instalação de uma estação de monitoramento hidrometeorológico no arroio e a sistematização dos primeiros dados de nível, de chuva e de vazão gerados pela estação de monitoramento. A metodologia adotada para a análise hidromorfológica da sub-bacia compreendeu as etapas de preparação dos dados de entrada, onde foram delimitados os divisores de águas e extraídas as drenagens automaticamente, de determinação do padrão de drenagem, de determinação da hierarquia fluvial e, por fim, foram realizadas a análise linear, a análise areal e a análise hipsométrica. Alguns dos resultados obtidos mostraram que o arroio do Salso apresenta uma hierarquia fluvial, segundo a classificação de Strahler, como sendo de 6ª ordem, e o padrão de drenagem encontrado é do tipo dendrítico. Além disso, o comprimento do canal principal é de 11,16 km, a área da sub-bacia é de 78,16 km<sup>2</sup>, o coeficiente de compacidade é de 1,608 e a densidade de drenagem é de 3,287 km/km<sup>2</sup>. Os resultados e a metodologia utilizada demonstram que a sistematização de dados é fundamental para a gestão territorial e ambiental da bacia hidrográfica do arroio do Salso. Isto porque ela se localiza em uma região da cidade onde têm ocorrido transformações na dinâmica urbana, com acentuado crescimento de empreendimentos imobiliários, o qual tem provocado adensamento populacional e mudança da paisagem neste local.

**Palavras-Chave:** Arroio do Salso, caracterização hidromorfológica, bacia hidrográfica

## ABSTRACT

The present work aims to perform a hydromorphological analysis of a sub-basin of Salso stream, located in the south of the city of Porto Alegre. The specific objectives are: the installation of a hydrometeorological monitoring station on the Salso stream and the systematization of the first data set generated by the monitoring station, referring to water level, rainfall and stream flow. The adopted methodology for hydromorphological analysis of the sub-basin entailed the input data preparation, where the watersheds were delimited and the drainage networks were automatically extracted, the drainage pattern determination, the stream order hierarchy determination, the linear analysis, the areal analysis and the hypsometric analysis. Some of the results showed that Salso is a 6th order stream, according to Strahler classification system, and the drainage pattern is dendritic. Also, the main channel is 11.16 km long, the sub-basin area is 78.16 km<sup>2</sup>, the compactness coefficient is 1.608 and the drainage density is 3.287 km/km<sup>2</sup>. The results and the applied methodology demonstrate that data systematization is essential for land and environmental management of Salso stream basin. Inasmuch as it is located in an area where changes in urban dynamics have been occurring, with significant growth of real estate developments, and this has led to population crowding and to landscape change.

**Keywords:** Arroio do Salso, hydromorphological characterization, watershed

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo. ....	12
Figura 2 – Mapa da bacia hidrográfica do Arroio do Salso. ....	24
Figura 3 – Primeira medição de descarga sólida da estação Arroio do Salso em 27/08/2013. ....	25
Figura 4 – Setores da base cartográfica fornecida pela PMPA. ....	28
Figura 5 – Primeira medição de vazão no Arroio do Salso utilizando medidor acústico Sontek M-9. ....	29
Figura 6 – Visão geral do equipamento M9-ADP - ilustração de operação e interface do software de operação River Suveyour Live. ....	29
Figura 7 – Esquema de operação do medidor acústico de vazão flowtracker. ....	30
Figura 8 – Medição de vazão a vau no Arroio do Salso em maio de 2014. ....	30
Figura 9 – Metodologia empregada na caracterização hidromorfológica da sub-bacia Estação Arroio do Salso. ....	33
Figura 10 – Detalhe do erro encontrado no traçado do Arroio granja Regina. ....	36
Figura 11 – Mapa mostrando o padrão de drenagem dendrítico e hierarquia fluvial conforme Sthraler (1952) a partir da drenagem gerada automaticamente para a sub-bacia hidrográfica da estação arroio do salso. ....	41
Figura 12 – Mapa hipsométrico da sub-bacia Estação Arroio do Salso. ....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Perfil longitudinal do canal principal. ....	44
Gráfico 2 – Frequência de altitudes. ....	46
Gráfico 3 – Curva hipsométrica da sub-bacia hidrográfica Estação Arroio do Salso. ....	46
Gráfico 4 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 01/09/2014 e 30/11/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA. ....	48
Gráfico 5 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 27/12/2013 e 28/02/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA. ....	48
Gráfico 6 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 01/03/2014 e 31/05/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA. ....	49
Gráfico 7 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 01/06/2014 a 30/08/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA. ....	49
Gráfico 8 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 01/09/2014 a 30/11/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA. ....	50
Gráfico 9 – Curva de permanência para a estação Arroio do Salso. ....	51
Gráfico 10 – Medições de vazão x cota na Estação Arroio do Salso. ....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos resultados obtidos a partir da hierarquização dos canais traçados automaticamente. ....	42
Tabela 2 – Classificação dos canais de acordo com a base cartográfica fornecida pela PMPA para a sub-bacia da Estação Arroio do Salso.....	42
Tabela 3 – Relação de bifurcação para cada ordem dos canais da sub-bacia hidrográfica do Arroio do Salso. ....	43
Tabela 4 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem. ....	43
Tabela 5 – Relação entre o comprimento médio dos canais. ....	43
Tabela 6– Relação entre o índice do comprimento médio e o índice de bifurcação. ....	43
Tabela 7 – Dados utilizados para traçado da curva hipsométrica.....	47
Tabela 8 – Dados de chuva Estação Arroio do Salso. ....	50
Tabela 9 – Medições de Vazão realizadas na Estação Arroio do Salso.....	51

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CPRM	Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
EMH	Estação de monitoramento hidrometeorológico
LACAP	Laboratório de Cartografia Aplicada
MDE	Modelo digital de elevação
MDEHC	Modelo digital de elevação hidrologicamente consistente
MDT	Modelo digital de terreno
PMPA	Prefeitura Municipal de Porto Alegre
OMM	Organização Meteorológica Mundial
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
SIG	Sistemas de Informação Geográfica

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1	Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.....	14
2.2	Caracterização hidromorfológica.....	15
2.2.1	Padrão de drenagem e hierarquia fluvial.....	16
2.2.2	Análise linear.....	17
2.2.3	Análise areal.....	20
2.2.4	Análise hipsométrica.....	22
2.3	Bacia hidrográfica do Arroio do Salso.....	22
3	INSTALAÇÃO DA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO NO ARROIO DO SALSO .....	23
3.1	Definição dos possíveis locais de instalação .....	23
3.2	Saídas de campo para avaliar prováveis locais de instalação.....	24
3.3	Elaboração de projeto de instalação e solicitação de instalação de nova Estação junto a ANA .....	25
3.4	Instalação da estação e início da operação pela CPRM.....	25
4	MATERIAIS.....	27
5	METODOLOGIA .....	32
5.1	Preparação dos dados de entrada, delimitação do divisor de águas e extração das drenagens.....	34
5.1.1	Preparação dos dados de entrada.....	34
5.1.2	Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente.....	36
5.1.3	Delimitação automática dos divisores de águas e extração da drenagem.....	37
5.2	Determinação do padrão de drenagem.....	39
5.3	Determinação da hierarquia fluvial.....	39
5.4	Análise linear.....	39
5.5	Análise areal.....	40
5.6	Análise hipsométrica.....	40
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	41
6.1	Resultados da análise do padrão de drenagem e hierarquia fluvial.....	41
6.2	Resultados da análise linear .....	43
6.3	Resultados da análise areal.....	44
6.4	Resultados da análise hipsométrica .....	44
6.5	Dados iniciais da Estação de monitoramento hidrometeorológico .....	47
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	52
8	REFERÊNCIAS.....	54

# 1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa buscou contribuir para a área de estudos da geografia que abrange a geomorfologia fluvial e, segundo Christofolletti (1980), é a área que se interessa pelo estudo dos processos e das formas relacionadas ao escoamento dos rios e dos cursos de água menores. É dentro deste contexto que a investigação teve como objetivo geral efetuar uma análise hidromorfológica de uma sub-bacia hidrográfica do Arroio do Salso com a finalidade de auxiliar a instalação de uma estação de monitoramento hidrometeorológico.

Os objetivos específicos deste trabalho foram: a instalação da estação de monitoramento hidrometeorológico no Arroio do Salso que definiu a área de estudo e sistematização dos primeiros dados de nível, de chuva e de vazão gerados pela estação de monitoramento hidrometeorológico.

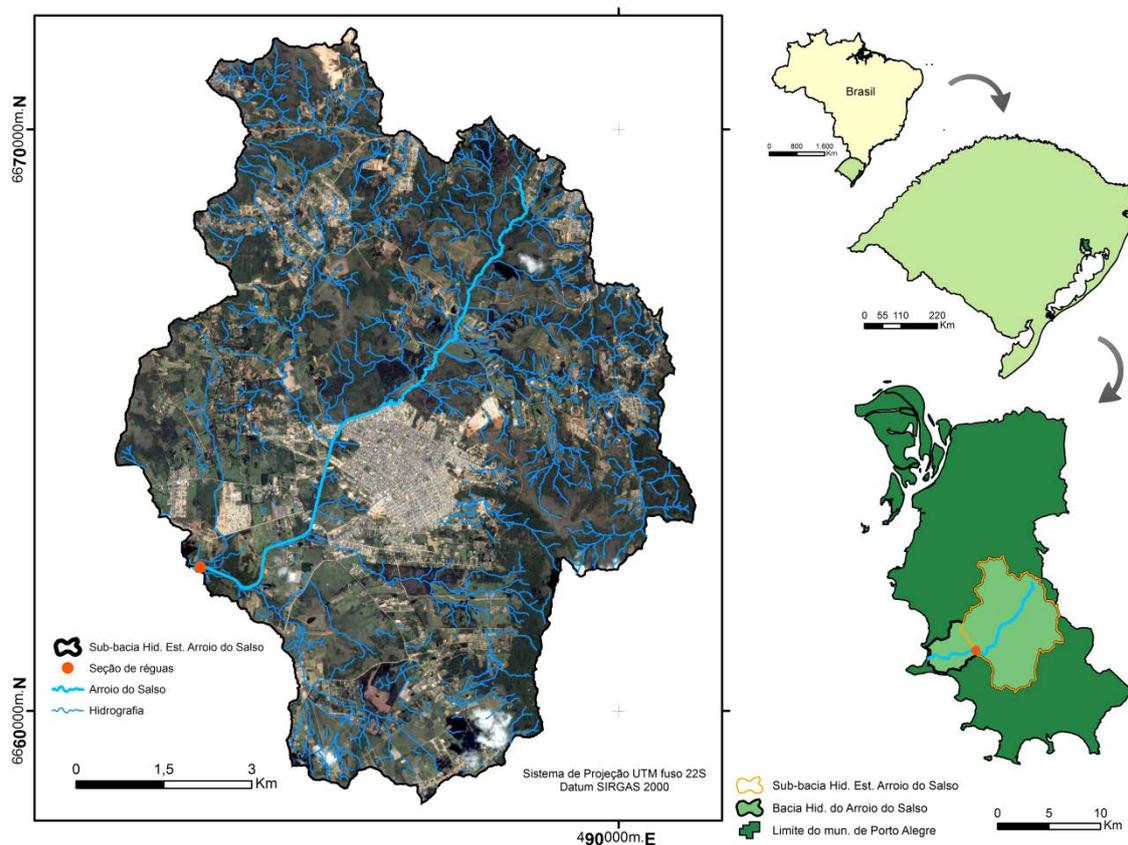


Figura 1 - Localização da área de estudo.

O estudo foi realizado em parte da bacia hidrográfica Arroio do Salso localizado na zona sul de município de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A bacia hidrográfica do Arroio do Salso é a maior bacia de Porto Alegre em área (92,4 km<sup>2</sup>), contudo não possuía monitoramento contínuo de dados de nível e de vazão até o desenvolvimento deste trabalho. Atualmente, o Arroio do Salso possui uma estação de monitoramento

hidrometeorológico que faz parte da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), coordenada pela Agência Nacional de Águas (ANA).

A bacia hidrográfica do Arroio do Salso abrange os bairros Aberta dos Morros, Agronomia, Belém Velho, Cascata, Chapéu do Sol, Lageado, Lomba do Pinheiro e Restinga. Grande parte dessa área ainda preserva seus aspectos naturais, sendo que a região mais densamente urbanizada é o núcleo urbano da restinga (MOURA e DIAS 2010).

A sub-bacia em estudo abrange uma área de 78,16 km<sup>2</sup> com de 50,79 km. Esta é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do arroio do salso, cujo exutório situa-se a 200m a montante da Avenida Juca batista, isto é, na seção de réguas da estação de monitoramento. Por isso, convencionou-se denominá-la de Bacia Hidrográfica da Estação Arroio do Salso.

A relevância deste trabalho encontra-se na possibilidade de sistematização de dados que permitam a gestão territorial e ambiental da bacia hidrográfica do arroio do Salso, tendo em vista que ela se localiza em uma região da cidade onde têm ocorrido transformações na dinâmica urbana, provocada pelo crescimento de empreendimentos imobiliários na zona sul da cidade, o qual tem provocado adensamento populacional e a mudança da paisagem neste local.

O trabalho conta com oito capítulos distribuídos da seguinte forma: O primeiro capítulo é a introdução, no segundo capítulo encontra-se a revisão bibliográfica, o terceiro capítulo trata da instalação da estação de monitoramento hidrometeorológico, no quarto capítulo são descritos os materiais que permitiram a realização do estudo, no quinto capítulo é apresentada a metodologia empregada para a caracterização hidromorfológica da sub-bacia hidrográfica da Estação do Arroio do Salso, no sétimo capítulo são apresentados os resultados do estudo e no oitavo capítulo são apresentadas as conclusões e considerações.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica

Conforme Silveira (1993), ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, e é movido pela energia solar associada à força da gravidade e ao movimento de rotação da terra. Essa circulação da água ocorre nos dois sentidos, seja da superfície para a atmosfera, onde o fluxo de água ocorre fundamentalmente na forma de vapor, seja no sentido atmosfera-superfície onde o fluxo de água ocorre em todos estados físicos sendo os significativos em forma de chuva e neve. Dessa forma o ciclo hidrológico é considerado um sistema fechado somente em nível global. O ciclo hidrológico é estudado com mais interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental é a bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o que se denomina exutório, isto é, a bacia hidrográfica compõe-se em conjunto de vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos da água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 1993). Segundo o mesmo autor, a bacia pode ser considerada um sistema aberto onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório. São consideradas como perdas os volumes evaporados, transpirados e infiltrados profundamente, de tal forma que, em eventos isolados, desconsidera-se estas perdas e pode se analisar a transformação da chuva em vazão.

De acordo com Christofolletti (1980), os estudos e a análise de bacias sempre possuíram relevante função na área da geomorfologia, pois os cursos d'água constituem processos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre. Cardoso (2011) defende que o estudo das características físicas de bacias hidrográficas ajuda a compreender um dos fatores que determinam a natureza da descarga de um rio. Além disso, a compreensão de fatores como forma, tamanho, extensão, declividade, o que Christofolletti (1980) chama de análise areal, linear e hipsométrica, permitem realizar comparações entre bacias vizinhas que normalmente possuem características semelhantes. Isto possibilita entender fenômenos passados e fazer extrapolações para cenários futuros.

No Brasil, para o desenvolvimento de estudos sobre bacias hidrográficas, conta-se ainda com uma rede de monitoramento de dados básicos de hidrometeorologia, coordenada

pela ANA, a qual monitora os recursos hídricos no território nacional através de estações pluviométricas, evaporimétricas, fluviométricas, sedimentométricas e de qualidade da água. Atualmente, existem 4.543 estações de monitoramento da RHN que estão localizadas em diferentes bacias hidrográficas brasileiras e que são operadas por entidades parceiras e contratadas pela ANA, tendo mais de 200 roteiros de operação, os quais buscam obter conhecimento das variáveis hidrológicas de nosso território como um todo.

A partir dos dados obtidos destas estações, é possível mensurar o volume de chuvas, a evaporação da água, o nível e a vazão dos rios, a quantidade de sedimentos e a qualidade das águas. Estes dados são disponibilizados em um sistema de informações hidrológicas (*Hidroweb*) e servem de subsídios para implantação de políticas públicas de gestão dos recursos hídricos de nosso país.

É importante destacar que a legislação brasileira que versa sobre a gestão dos recursos hídricos em nosso país (lei nº9.4333 de 8 de janeiro de 1997), define a bacia hidrográfica como sendo a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e para atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Também, aborda outros aspectos relevantes tais como realização do diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos, análise de alternativas de crescimento demográfico, de evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo, balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais, metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis, medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados para o atendimento das metas previstas.

## **2.2 Caracterização hidromorfológica**

Uma das formas de analisar uma bacia hidrográfica é a partir da sua caracterização hidromorfológica, ou seja, caracterização física das formas da bacia, a qual leva em consideração coeficientes definidores de forma, de drenagem e de elevação, entre outros. Na atualidade, diversos autores têm realizado estudos sobre caracterização hidromorfológica com o uso de ferramentas de geoprocessamento e de dados de sensoriamento remoto. Neste trabalho, foram usadas as ferramentas de geoprocessamento mais usuais para este tipo de estudo, porém ele se difere da maioria de outros trabalhos por utilizar dados em escala grande

(1:1.000), com alto grau de detalhamento, e relativamente atualizados, pois são oriundos do mapeamento realizado a partir do ano de 2010.

Christofoletti (1980), baseado em Horton (1945) e Strahler (1957), propõe uma forma de análise de bacias hidrográficas a qual guiou este trabalho. Esta análise consiste em abordar a bacia hidrográfica em quatro itens: padrão de drenagem e hierarquia fluvial, análise linear, análise areal e análise hipsométrica.

### **2.2.1 Padrão de drenagem e hierarquia fluvial**

O padrão de drenagem refere-se à distribuição e arranjo espacial dos cursos d'água que pode ser influenciado tanto pela litologia, diferenças de declividade ou evolução geomorfológica da região entre outras características (CHRISTOFOLETTI 1980, p. 102).

A hierarquia fluvial é o processo de separar determinado curso d'água em classes ou números de ordem em relação a uma hierarquia de canais. Esta hierarquização visa facilitar e tornar mais objetivo estudos morfométricos de análise linear, areal e hipsométrica (CHRISTOFOLETTI 1980). Além disso, com uma classificação desse tipo é possível inferir rapidamente determinadas características como, por exemplo, a de que canais de primeira ordem são dominados pelo escoamento superficial e, devido a isso, são mais suscetíveis a problemas de poluição de origem difusa. Nesse caso, essa é uma informação importante para qualquer análise dos impactos ambientais que possam ocorrer na sub-bacia definida como área de estudo deste trabalho.

A classificação adotada neste trabalho é a proposta por Strahler (1952). Para Strahler, canais de primeira ordem são os menores, aqueles sem tributários. Canais de segunda ordem são aqueles que surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem. Canais de terceira ordem são aqueles formados a partir da confluência de dois canais de segunda ordem e podem também receber afluentes de primeira e segunda ordem. Os canais de quarta ordem são aqueles formados pela confluência de dois canais de terceira ordem podendo receber afluentes de primeira, segunda e terceira ordens. Canais de quinta ordem são aqueles formados pela confluência de dois canais de quarta ordem que podem receber afluentes de primeira, segunda, terceira e quarta ordem e assim sucessivamente.

### 2.2.2 Análise linear

A análise linear consiste em determinar parâmetros e relações referentes à rede hidrográfica cujas medições são efetuadas ao longo das linhas de escoamento. Estes parâmetros e relações são:

#### Relação de bifurcação

A relação de bifurcação foi definida por (HORTON apud CRISTOFOLETTI, 1980, p. 109), como sendo a relação entre o número total de segmentos de uma determinada ordem e o número total de ordem imediatamente superior. Esta relação é calculada através da equação:

(1)

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Onde  $R_b$  é a relação de bifurcação,  $N_u$  é o número de segmentos de determinada ordem e  $N_{u+1}$  é o número de segmentos da ordem imediatamente superior.

Segundo Sthraler (1964) a relação de bifurcação não será exatamente a mesma de uma ordem para outra devido às variações na geometria da bacia, porém tende a ser constante variando entre 3,0 e 5,0. Já Lindsey *et al.* (1975) admite uma variação entre 2,0 e 4,0 com um valor médio próximo a 3,5.

Valores altos de relação de bifurcação são esperados em regiões de vales rochosos e escarpados e bacias alongadas, valores mais baixos são tipicamente encontrados em bacias menos alongadas e mais planas (Wisler e Brater, 1964) e (STRHALER apud BORSATO 2004). A relação de bifurcação relaciona-se ainda com o comportamento hidrológico dos solos, isto é, apresenta maiores valores para solos pouco permeáveis e valores mais baixos para solos mais permeáveis.

De acordo com a análise da relação de bifurcação (HORTON 1945 apud CRISTOFOLETTI 1980, p. 110) expressou uma das leis da composição da drenagem que é:

Em uma bacia determinada, a soma dos números de canais de cada ordem forma uma série geométrica inversa, cujo primeiro termo é a unidade de primeira ordem e a razão é a relação de bifurcação (HORTON 1945 apud CRISTOFOLETTI 1980, p. 110).

### Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem

A relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem ( $L_m$ ) dada em metros, é obtida pela divisão da soma do comprimento de todos os canais de determinada ordem ( $L_u$ ) pelo número de canais da mesma ordem ( $N_u$ ), e pode ser obtida pela equação:

(2)

$$L_m = \frac{L_u}{N_u}$$

Em função destas relações Horton (1945) expressou outra lei básica da composição da drenagem: *Em uma bacia determinada, os comprimentos médios dos canais de cada ordem ordenam-se segundo uma série geométrica direta, cujo primeiro termo é o comprimento médio dos canais de primeira ordem, e a razão é a relação entre os comprimentos médios* (HORTON 1945 apud CHRISTOFOLETTI 1980 pág. 110).

O cálculo da relação dos comprimentos médios é feito utilizando a seguinte fórmula:

(3)

$$RL_m = \frac{L_{m_u}}{L_{m_{u-1}}}$$

Onde  $RL_m$  é a relação entre os comprimentos médios dos canais,  $L_{m_u}$  é o comprimento médio dos canais de determinada ordem e  $L_{m_{u-1}}$  é o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.

### Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação

Essa relação é um fator entre a composição da drenagem e o desenvolvimento fisiográfico das bacias hidrográficas. Ocorre que se a relação entre o comprimento médio e o índice de bifurcação forem iguais, o tamanho dos canais tende a diminuir ou aumentar progressivamente com a elevação da ordem dos canais. Para calculá-la é usada a fórmula:

(4)

$$R_{lb} = \frac{R_{lm}}{R_b}$$

Onde  $R_{lb}$  é a relação entre o índice do comprimento médio e o de bifurcação,  $R_{lm}$  é o índice do comprimento médio entre duas ordens subsequentes e  $R_b$  é a relação de bifurcação entre as mesmas duas ordens subsequentes.

### **Comprimento do canal principal**

O comprimento do canal principal é o resultado da soma do comprimento de todos os segmentos que compõem o traçado do curso d'água desde sua nascente até o seu exutório.

### **Extensão do percurso superficial**

A extensão do percurso superficial é a distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente. De acordo com CHRISTOFOLETTI (1980), durante toda evolução de um sistema de drenagem a extensão do percurso superficial está ajustada ao tamanho apropriado relacionado com as bacias de primeira ordem, sendo aproximadamente igual à metade do recíproco do valor da densidade de drenagem. Esta extensão é obtida através da fórmula:

(5)

$$Eps = \frac{1}{2Dd}$$

Onde  $Eps$  é a extensão do percurso superficial, e  $Dd$  é o valor da densidade de drenagem.

### **Perfil longitudinal do canal principal**

O perfil longitudinal do canal principal é a representação da relação existente entre a variação altimétrica e comprimento do curso d'água, desde a nascente até o exutório, da sub-bacia hidrográfica.

### **Índice de sinuosidade do canal principal**

O índice de sinuosidade é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre o exutório e a nascente do curso d'água. Este índice é calculado pela fórmula:

(6)

$$I_s = \frac{L}{dv}$$

Onde  $I_s$  é o índice de sinuosidade,  $L$  o comprimento do canal principal e  $dv$  a distância vetorial entre a nascente e a foz do canal.

Valores próximo a 1 indicam elevado controle estrutural da litologia ou alta energia e valores acima de 2 baixa energia. Valores intermediários indicam formas em transição entre canais retilíneos e meandrantas.

### 2.2.3 Análise areal

A análise areal consiste na determinação de uma série de índices que englobam algumas medições planimétricas e lineares, são elas:

#### Área da sub-bacia

A área da sub-bacia é determinada a partir da delimitação do interflúvio da mesma. Deve ser medida em plano horizontal.

#### Comprimento da bacia

O comprimento da bacia é obtido segundo recomendações de Christofolletti (1980), medindo-se a maior distância em linha reta entre o exutório e um ponto situado ao longo do perímetro.

#### Coefficiente de compacidade

O coeficiente de compacidade é uma maneira de avaliar a forma da bacia hidrográfica. É a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de área igual a da bacia. É um número adimensional que varia em função da forma da bacia, independente do seu tamanho e expresso pela equação:

(7)

$$K_c = \frac{0,28P}{\sqrt{A}}$$

Onde  $K_c$  é o coeficiente de compacidade,  $P$  é o perímetro da bacia e  $A$  é a área da bacia. Quanto mais próximo de 1, mais a bacia se assemelha a um círculo perfeito, da mesma maneira que quanto maior for o  $K_c$ , mais irregular seria essa bacia e, teoricamente, estaria menos propensa a enchentes.

### **Densidade da drenagem**

Segundo Christofolletti (1980) a densidade de drenagem é um índice que correlaciona o comprimento total dos cursos d'água com a área da bacia hidrográfica. Calcula-se a densidade de drenagem através da fórmula:

(8)

$$Dd = \frac{L_t}{A}$$

Onde  $Dd$  é a densidade de drenagem,  $L_t$  é o comprimento total dos cursos d'água e  $A$  é a área da bacia hidrográfica.

### **Coefficiente de manutenção**

O coeficiente de manutenção foi proposto por A. Schumm em 1956 com o propósito de definir a área mínima necessária para manter a manutenção de um metro de canal de escoamento. É calculado a partir da expressão:

(9)

$$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$$

Onde  $Cm$  é o coeficiente de manutenção e  $Dd$  a densidade de drenagem. O valor é multiplicado por mil com a finalidade de ser significativo em uma escala métrica (CHRISTOFOLLETTI 1980).

#### 2.2.4 Análise hipsométrica

A hipsometria, de acordo com Christofolletti (1980), procura estudar as inter-relações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante à sua distribuição em relação às faixas altitudinais. Assim, indica a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoípsa.

#### 2.3 Bacia hidrográfica do Arroio do Salso

O crescimento urbano da zona sul de Porto Alegre tem tido um adensamento a partir de padrões diferenciados de uso do solo, principalmente por empreendimentos imobiliários de condomínios horizontais e loteamentos oferecidos para uma população de diferentes faixas de renda. Um dos fatores que condicionou o padrão de uso do solo foi a mudança no Plano Diretor de Porto Alegre, que incorporou parte da zona sul, a qual era área rural, ao perímetro urbano da cidade (Moura; Basso; Sanches, 2013).

O estudo realizado por Moura; Basso; Sanches (2013) tinha como objetivos a caracterização do regime pluviométrico e dos eventos de inundação na bacia hidrográfica do arroio do Salso e a análise da influência da precipitação na qualidade das águas superficiais da referida bacia hidrográfica. Após este estudo, concluíram que a precipitação interfere a qualidade da água, na medida que dilui os poluentes, e a principal consequência dos eventos inundações são as perdas dos bens materiais e o risco de contaminação por doenças .

Outra pesquisa realizada por Moura; Basso; Strohaecker (2013) definiu indicadores ambientais para bacia do arroio do Salso. Conforme estes autores, a elaboração de indicadores ambientais contribui para o ordenamento territorial e ambiental da bacia hidrográfica do Salso, tendo em vista a intensificação da urbanização de Porto Alegre em direção à zona sul.

### **3 INSTALAÇÃO DA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO NO ARROIO DO SALSO**

Tendo em vista que o objetivo geral do trabalho foi iniciar o estudo do comportamento hidrológico de uma sub-bacia do Arroio do Salso a instalação de uma estação de monitoramento hidrometeorológico foi essencial para esse fim. Em primeiro lugar porque a partir dela foi que se definiu o exutório da bacia, e conseqüentemente a área de estudo. Em segundo lugar porque a partir dela foram obtidos dados de nível, de vazão e de chuva para o monitoramento contínuo da área.

A instalação da estação hidrometeorológica no Arroio do Salso ocorreu de acordo com as seguintes etapas:

- 3.1 - Definição dos possíveis locais de instalação;
- 3.2 - Saídas de campo para avaliar prováveis locais de instalação;
- 3.3 - Elaboração de projeto de instalação e solicitação de instalação de nova Estação junto à ANA;
- 3.4 - Instalação da estação e início da operação pela CPRM.

#### **3.1 Definição dos possíveis locais de instalação**

O local de instalação da estação foi escolhido após a avaliação em escritório e algumas visitas à área da bacia do salso no início do ano de 2013. Nestas visitas, procurou-se identificar locais onde fosse possível monitorar a maior área da bacia e ao mesmo tempo fossem oferecidas condições hidrológicas e de acesso adequadas.

Em princípio foram descartados alguns trechos do Arroio do Salso por não apresentarem as condições adequadas para a instalação de uma estação de monitoramento hidrometeorológico. O primeiro trecho a ser descartado foi o trecho entre o Lago Guaíba e a Avenida Serraria, pois nesta parte do arroio o escoamento está sujeito ao efeito de remanso do lago Guaíba na maior parte do tempo. Em seguida, foi descartado o trecho entre a Avenida Serraria e a Avenida Juca Batista. Os motivos para descartar este trecho foram por também estar sujeito a remanso do lago e pela dificuldade de acesso. Restou então o trecho entre a Avenida Juca Batista e Edgar Pires de Castro, como mostra a figura 2, onde foram feitas as primeiras visitas no início de 2013.

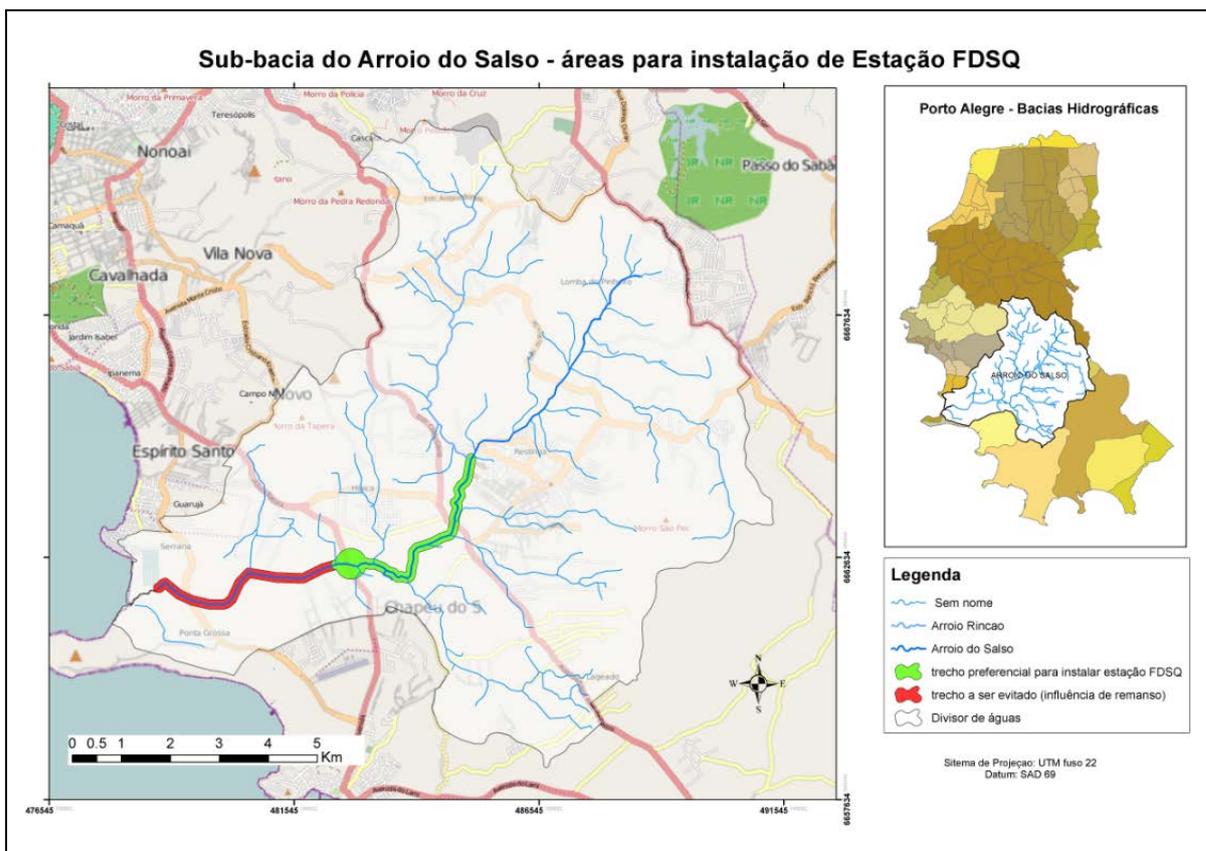


Figura 2 – Mapa da bacia hidrográfica do Arroio do Salso.

### 3.2 Saídas de campo para avaliar prováveis locais de instalação

Nestas primeiras idas a campo, buscou-se identificar propriedades particulares situadas às margens do Arroio do Salso onde houvesse algum morador que se interessasse em trabalhar como observador hidrometeorológico e zelador dos equipamentos que seriam instalados no local. Além disso, procurou-se locais que oferecessem boas condições hidrológicas para monitoramento, isto é, condições como as recomendadas por Carvalho (2000), isto é, trecho do curso d'água retilíneo, com margens estáveis, declividade moderada, leito firme e uniforme, com calha fluvial que possa conter toda a vazão sem transbordamentos durante eventos de cheia, distante do lago Guaíba de forma que não esteja sujeito a remanso e com uma seção de controle a jusante .

Então, em junho de 2013 foi definido que a estação poderia ser instalada em uma propriedade situada às margens do Arroio do Salso, onde a seção de réguas ficaria localizada a aproximadamente 200m a montante da ponte da Avenida Juca batista sobre o Arroio do Salso. O local escolhido além de possuir as características recomendadas por Carvalho (2000), onde a seção de controle a jusante é um desnível na ponte da Av. Juca batista, possuía

acesso permanente de forma a garantir que não haja interrupção na operação durante épocas chuvosas. Outro fato determinante para a escolha do local foi a existência de um morador próximo, disposto a trabalhar como observador hidrometeorológico.

### **3.3 Elaboração de projeto de instalação e solicitação de instalação de nova Estação junto a ANA**

Depois de escolhido o local para a instalação, foi elaborado um projeto e encaminhado um pedido de instalação de uma nova estação de monitoramento fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade de água da Rede Hidrometeorológica Nacional para a ANA. Em julho de 2013 foi autorizada a instalação da Estação Arroio do Salso.

### **3.4 Instalação da estação e início da operação pela CPRM**

Em 27 de agosto de 2013, durante um evento de cheia, foi realizada a primeira medição de descarga líquida (vazão) e de descarga sólida no Arroio do Salso (Figura 2).



Figura 3 – Primeira medição de descarga sólida da estação Arroio do Salso em 27/08/2013.

Quatro meses mais tarde, em 27 de novembro de 2013, durante a operação de roteiros da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) pela CPRM de Porto Alegre, foi instalada a Estação Arroio do Salso do tipo PFDSQ. Uma estação do tipo PFDSQ é uma estação

pluviométrica (P), ou seja, possui um pluviômetro convencional, possui régua linimétrica para registro dos níveis do curso d'água (F), mede a descarga líquida (D) (vazão), mede a descarga sólida (S) e mede os parâmetros de qualidade da água (Q). À Estação Arroio do Salso foram atribuídos os códigos P 03051045 e código F 87460200.

## 4 MATERIAIS

Para a elaboração deste trabalho foram utilizados diversos materiais. Na caracterização hidromorfológica, utilizou-se a base cartográfica digital, em formato *shapefile* (shp), disponibilizada pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA) e oriunda do levantamento aerofotogramétrico realizado em 2010. Foram utilizadas informações referentes à hidrografia e ao relevo, mais especificamente as feições rios, canais e eixos (hidrografia) e as feições curvas de nível, com equidistância de um metro, e pontos cotados (relevo). Esta base cartográfica está na escala 1:1000, adota o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 22 sul, e está referenciada ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000). Os arquivos contendo a base cartográfica estavam separados por setores e, para cobrir a área da bacia do Arroio do Salso, foram utilizados os setores 23, 31, 32, 39, 40, 41, 42, 43-1, 43-2, 44, 45-1, 45-2, 45-3, 45-4, 49-1, 49-2 e SH-0, conforme apresentado na figura 4.

O estudo preliminar do comportamento hidrológico da bacia foi feito a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos e das fichas de inspeção com os dados de qualidade da água. Estes dados foram fornecidos pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil – Superintendência Regional de Porto Alegre (CPRM-SGB Sureg – PA).

Foram realizadas três medições de descarga líquida e de descarga sólida (sedimentos em suspensão) junto com a equipe da CPRM. Na primeira medição de vazão (descarga líquida), com uma cota alta (Figuras 5 e 6), foi utilizado um medidor de vazão Doppler, modelo Sontek M9 de dupla frequência (1Mhz e 3Mhz) e, nas medições seguintes, utilizou-se medidor de vazão a vau Sontek Flowtracker (Figuras 7 e 8). Nas medições de sedimentos, fez-se uso do medidor US DH-59 com guincho hidrométrico, na primeira medição, e do medidor US DH-48 nas medições a vau.

Os dados de precipitação foram obtidos por meio de medições diárias efetuadas pelo observador hidrometeorológico, sempre pela manhã, em um pluviômetro convencional modelo ANA. Este pluviômetro tem área de captação de 400cm<sup>2</sup> e está instalado a 1,5m do solo, em um cercado apropriado, de acordo com as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Os dados de nível também são oriundos das leituras do observador hidrometeorológico, realizadas 2 vezes por dia, uma às 7h00min e a outra às 17h00min, nas réguas linimétricas instaladas às margens do arroio.

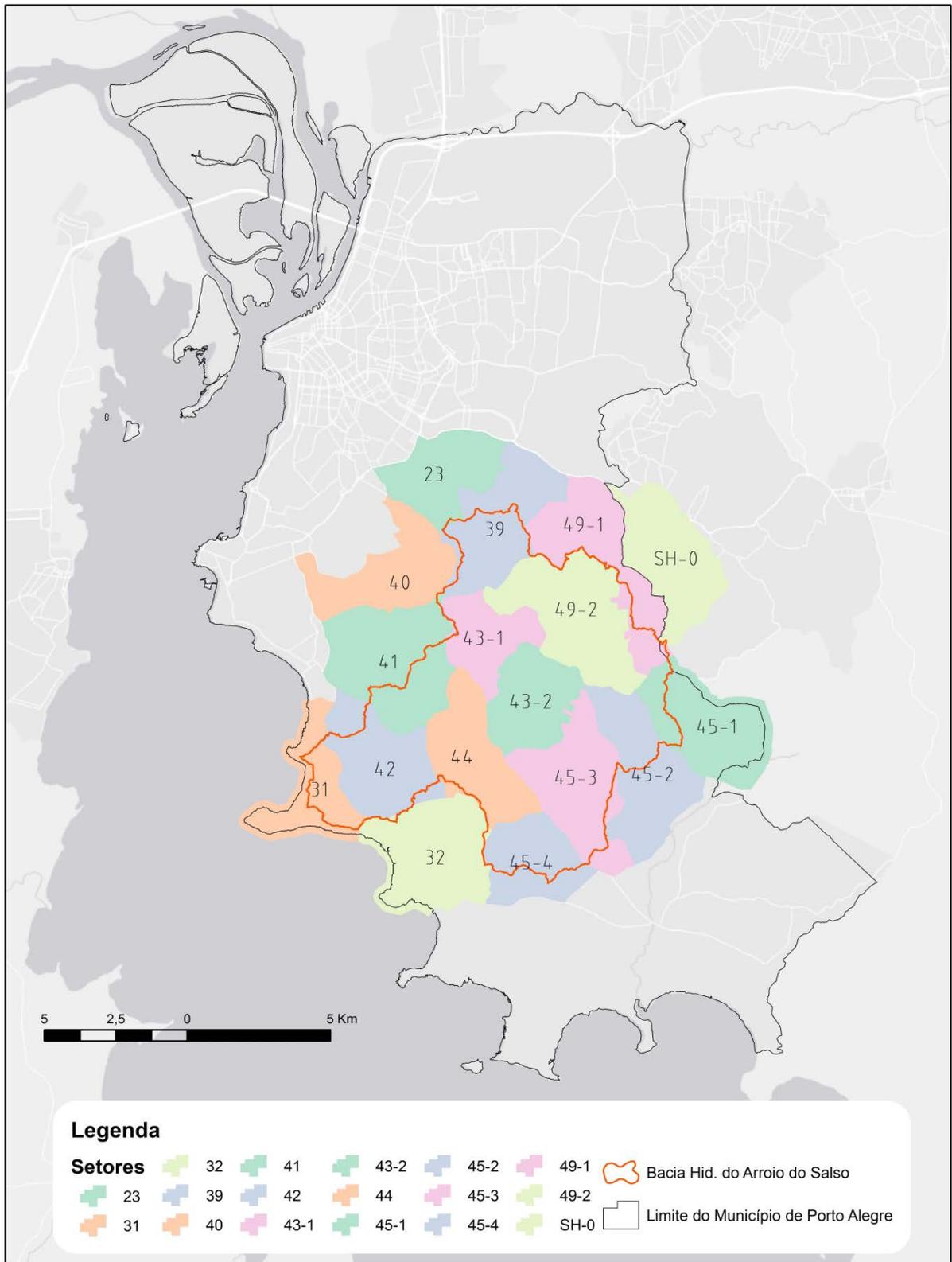


Figura 4 – Setores da base cartográfica fornecida pela PMPA.



Figura 5 – Primeira medição de vazão no Arroio do Salso utilizando medidor acústico Sontek M-9.

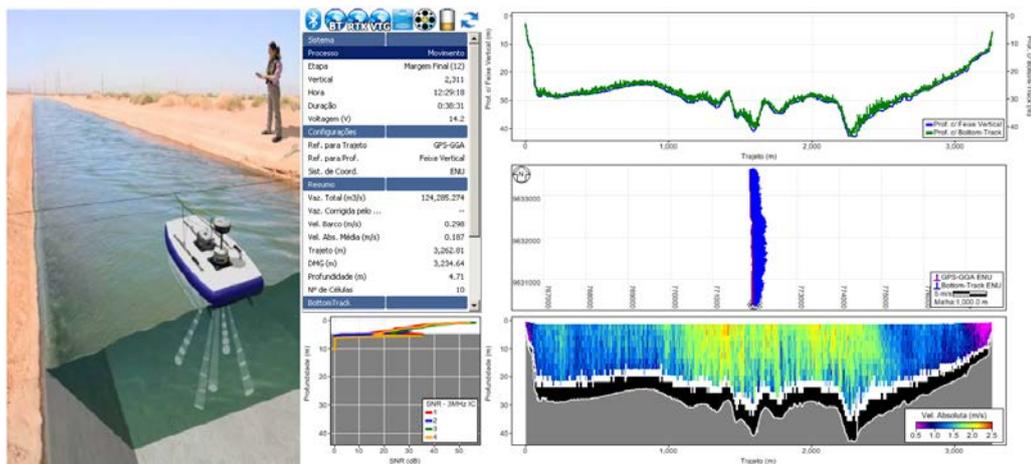


Figura 6 – Visão geral do equipamento M9-ADP - ilustração de operação e interface do software de operação River Suveyour Live.

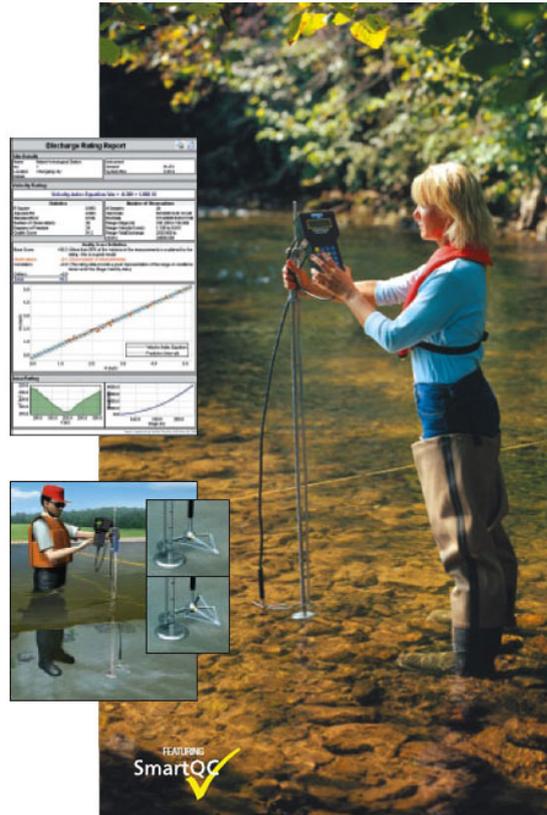


Figura 7 – Esquema de operação do medidor acústico de vazão flowtracker  
(Fonte: [http://www.quantum-hydrometrie.de/flowtracker\\_e.htm](http://www.quantum-hydrometrie.de/flowtracker_e.htm))



Figura 8 – Medição de vazão a vau no Arroio do Salso em maio de 2014.

Os softwares utilizados para elaboração dos mapas e realização das análises foram: Quantum GIS, versão 2.4 – Chugiak, SAS PLANET 14, AutoCAD Map 2014 e a suíte ArcGIS, versão 10.2.2, especialmente as ferramentas para hidrologia da extensão *spatial analyst* e a ferramenta *topo to raster* da extensão *3d analyst*. Outros softwares usados foram o hidro 1.2, para compilação e sistematização dos dados hidrometeorológicos, irfan view 4.9, para edição de imagens, o pacote libre office 4.2.1.1 e office 2010.

Para processamento dos dados foi utilizada uma estação fotogramétrica do laboratório de cartografia aplicada (LACAP) do Departamento de Geodésia. As fotografias do autor foram feitas utilizando uma câmera DSLR corpo Canon t3i, lentes 18-135 mm.

## 5 METODOLOGIA

De acordo com Christofolletti (1980) os estudos e análise de bacias hidrográficas sempre possuíram relevante função na área da geomorfologia, pois os cursos d'água constituem processos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre. Cardoso (2011) defende que o estudo das características físicas de bacias hidrográficas ajuda a compreender um dos fatores que determinam a natureza da descarga de um rio. Além disso, a compreensão de fatores como forma, tamanho, extensão, declividade, o que Christofolletti chama de análise areal, linear e hipsométrica, nos permitem realizar comparações entre bacias vizinhas que normalmente possuem características semelhantes. Isso possibilita entender fenômenos passados e fazer extrapolações para cenários futuros.

A análise hidromorfológica da sub-bacia hidrográfica da Estação Arroio do Salso, problema de pesquisa tratado neste trabalho, é realizada a partir de dados cartográficos na escala 1:1.000 e de dados de nível, de vazão e de chuva, obtidos na estação de monitoramento hidrometeorológico. No contexto da geomorfologia fluvial, o conhecimento das características físicas de padrão de drenagem e de hierarquia fluvial, associado às análises linear, areal e hipsométrica é fundamental.

Portanto, a metodologia adotada para a caracterização hidromorfológica foi realizada de acordo com as etapas mostradas na figura 9. Inicialmente, fez-se a preparação dos dados de entrada, o traçado das drenagens e a delimitação do divisor de águas. Em seguida, foram determinados o padrão de drenagem e a hierarquia fluvial. Após esta etapa, realizou-se a análise linear, a análise areal e a análise hipsométrica.

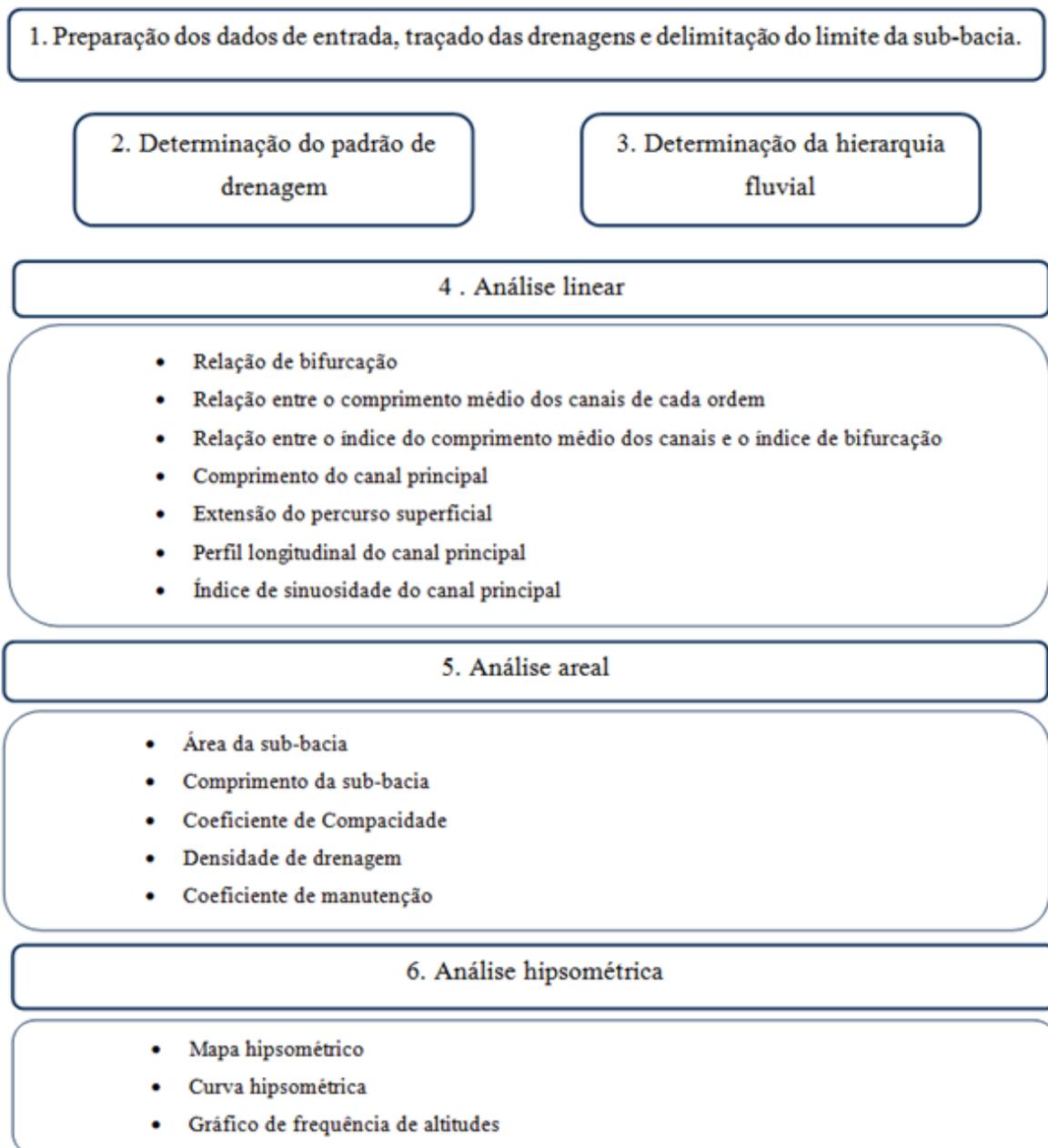


Figura 9 – Metodologia empregada na caracterização hidromorfológica da sub-bacia Estação Arroio do Salso.

## 5.1 Preparação dos dados de entrada, delimitação do divisor de águas e extração das drenagens

### 5.1.1 Preparação dos dados de entrada

A primeira etapa para elaboração da caracterização hidromorfológica foi obter a base cartográfica junto a Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Foram solicitados os 17 setores<sup>1</sup> de dados que compunham a bacia hidrográfica do Arroio do Salso (Figura 2).

Os primeiros dados fornecidos estavam separados por setor em formato *dwg*, formato esse utilizado em aplicações CAD (Computed Aided Design) contendo os traçados de hidrografia eixos e canais, curvas de nível e pontos cotados.

A etapa seguinte foi converter estes dados para o formato ESRI *shapefile* separados por tipo de informação: hidrografia canais, hidrografia eixos, curvas de nível e pontos cotados e unidos todos os setores de interesse. Essa tarefa foi executada utilizando o software Autocad Map 2014 pois ele possui um serie de ferramentas que otimizam a exportação para formatos mais adequados para se trabalhar com Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O resultado foi que os 17 setores ficaram resumidos a cinco planos de informação: hidrografia eixos; hidrografia canais; curvas de nível e pontos cotados da área que recobre toda a bacia. Mais tarde foram fornecidos pela PMPA os mesmos dados, separados por setor, porém já convertidos para o formato *shapefile*.

Depois de unidos os arquivos, realizou-se uma análise preliminar de consistência, ou seja, foram conferidos os dados tanto pela sua geometria quanto pela tabela de atributos. Isso foi feito nos dados de curvas de nível e no hidrografia eixos, justamente porque estes seriam os dados de entrada para gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE), etapa essencial para delimitação dos limites da área de drenagem da sub-bacia.

Durante essa conferência constatou-se que havia erros na tabela de atributos das curvas de nível, isto é, para determina curvas o atributo de cota estava com valor zero. Este valor foi então corrigido para que não houvesse problema na geração do MDE.

Foi constatado também um erro no traçado de um curso água muito próximo à seção de réguas, o Arroio Granja Regina. De acordo com a base cartográfica fornecida pela PMPA o Arroio Granja Regina encontraria o Arroio do Salso a aproximadamente 30 m a jusante da seção de réguas. Hidrologicamente isso seria um problema visto que o Arroio Granja Regina

---

<sup>1</sup> Nos dados do levantamento aerofotogramétrico fornecidos pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre, a cidade foi dividida em 70 setores distintos para facilitar o trabalho de controle de qualidade, desses 70 setores 17 recobriam toda a área de interesse.

drena uma área de 7,8 km<sup>2</sup> (aproximadamente 10% da área da sub-bacia). Isso pode causar, dependendo do evento de chuva, uma interferência significativa na relação de cota x vazão na seção de réguas o que prejudicaria a relação de univocidade de uma curva-chave da estação. Ocorreu que de acordo com o relato do observador hidrometeorológico, o arroio não desaguava no Arroio do Salso como estava na base da prefeitura. Segundo ele, na década de 60 havia sido feita uma retificação do canal com o objetivo de drenar parte da área da margem direita do Arroio do Salso. Com isso, a informação correta seria que o Arroio Granja Regina desaguaria de fato a uma distância de 300m a montante da seção de réguas. Com base nessa informação, em julho de 2014, durante uma visita de operação da estação da equipe da CPRM, o autor foi até o local e constatou que o arroio Granja Regina realmente desaguava a montante da seção de réguas conforme o relato do observador hidrometeorológico.

Com essa informação confirmada, que o traçado com base nos dados da PMPA estava errado, buscou-se uma imagem de satélite gratuita com resolução espacial adequada onde fosse possível identificar o correto traçado do curso d'água. Essa imagem foi obtida através do software SAS PLANET, que permite acessar diversos servidores de imagens abertos. Foi utilizada então uma imagem do servidor Yahoo Maps datada de janeiro de 2003 onde era possível visualizar o traçado retificado do Arroio Granja Regina no seu trecho final (Figura – 10).

## Detalhe da correção no erro do traçado do Arroio Granja Regina

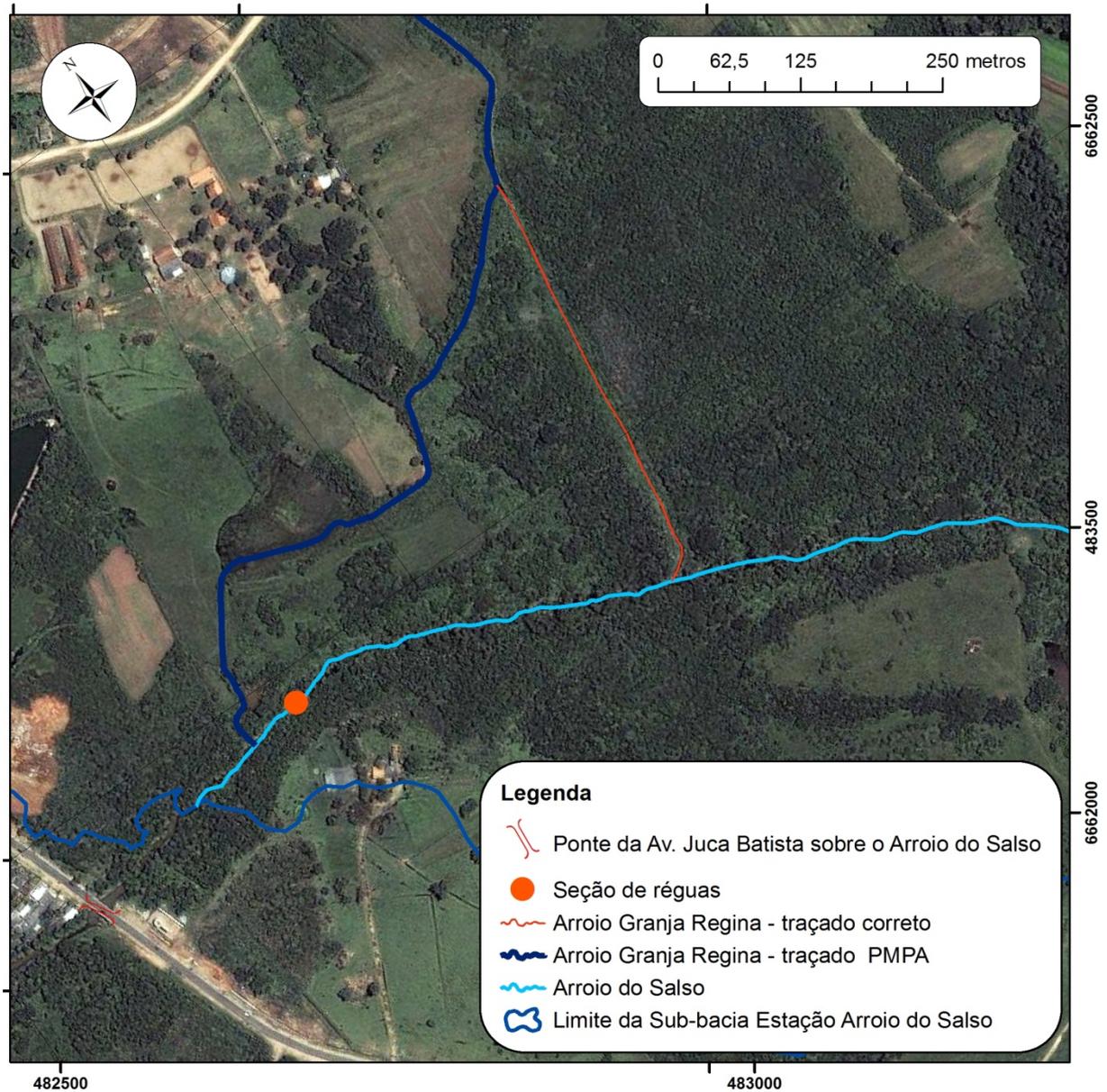


Figura 10 – Detalhe do erro encontrado no traçado do Arroio granja Regina.

### 5.1.2 Geração do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente

Depois de efetuadas estas primeiras verificações e os erros corrigidos, passou-se a etapa seguinte que foi a geração de um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente consistente (MDEHC). Para tal, foi utilizado a ferramenta *Topo to Raster* da extensão 3d Analyst do ARCGIS 10.2.2.

A ferramenta *Topo to Raster* consiste em um algoritmo desenvolvido especificamente para criar Modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes (MDEHC)<sup>2</sup>. É baseado no algoritmo ANUDEM desenvolvido na década de 80 e apresentado por Hutchinson (1989).

Para gerar o MDT utilizaram-se como dados de entrada os *shapes* que continham pontos cotados, curvas de nível, hidrografia eixos e Lago Guaíba. Optou-se por definir o tamanho do pixel para 1m devido a capacidade de processamento da workstation disponível. Mesmo com essa resolução o e dados de entrada o MDT demorou pouco menos de duas horas para ser gerado.

### 5.1.3 Delimitação automática dos divisores de águas e extração da drenagem

Com o MDT gerado, passou-se a etapa seguinte de delimitação automática do divisor de águas da bacia. Esta etapa segue uma rotina e utiliza as ferramentas para hidrologia da extensão *Spatial Analyst tools* do Arcgis 10.2.2 e segue a seguinte sequência que será descrita a seguir:

- a) Fill - Preenchimento de eventuais de depressões no MDE
- b) Flow direction - Geração de um raster com a direção do fluxo;
- c) Flow accumulation - Geração de um raster de fluxo acumulado;
- d) Con - Extração de drenagens através de uma função condicional;
- e) Stream link - Ligação de cruzamentos de fluxo;
- f) Watershed - delimitação do divisor de águas de todas as sub-bacias

a) Fill – a ferramenta fill preenche eventuais depressões e elimina picos indesejáveis no MDE que podem atrapalhar o cálculo da direção de fluxo.

b) Flow direction – consiste na geração de um raster que representa a direção de fluxo do escoamento. É uma das etapas mais importantes da delimitação do divisor de águas pois o algoritmo leva em consideração no cálculo as áreas com maior declividade. Como a água

---

<sup>2</sup> Aqui se faz necessário fazer uma distinção entre as diversas nomenclaturas utilizadas para denominar um MDE – modelo digital de elevação. De forma geral MDE é uma forma genérica de se referir a uma representação matricial numérica de elevação do terreno. É oriunda da tradução do termo DEM – Digital Elevation Model. Alguns autores preferem usar o termo MDE – modelo digital de elevação ao invés de MDT – modelo digital do terreno que seria a tradução mais adequada. Neste trabalho o termo MDE e MDT quando necessários foram utilizados de forma equivalentes pois o interesse do estudo é em relação ao comportamento hidrológico da sub-bacia Estação Arroio do Salso. Assim sendo o termo adotado foi MDEHC – Modelo Digital de Elevação Hidrológicamente Consistente que é um MDE consistido, isto é, eventuais falhas como picos ou depressões são corrigidas de forma que um escoamento superficial calculado sempre o flua sempre das áreas mais altas para as áreas mais baixas da bacia hidrográfica.

escoa mais facilmente por estes caminhos, é imprescindível que os valores das células desse mapa representem a realidade o mais fielmente possível em relação às cotas.

c) Flow accumulation – o raster de fluxo acumulado é um parâmetro que indica o grau de confluência do escoamento e de acordo com Valeriano (2008) está associado ao fator de comprimento de rampa aplicado em duas dimensões.

d) Con – foi usada para extrair as drenagens, é uma função que condiciona o traçado em razão do número de pixels. Quanto maior o valor, mais densa as drenagens são traçadas nos talwegues da área em questão. Foi utilizado um valor de 500.000 visto que esse apresentou um melhor resultado quando comparado com as drenagens oriundas da base cartográfica (restituídas). A maior limitação da extração de drenagens com esta ferramenta fica por conta de aplicá-la em áreas muito planas, o que aconteceu nos trechos finais da sub-bacia, o que faz com que o resultado fique, dependendo das características da área, diferente da realidade.

e) Stream link – foi usada para adicionar valores únicos aos trechos da drenagem determinados com a ferramenta “con”. Estes valores correspondem à direção do fluxo na bacia.

f) Watershed – a ferramenta foi utilizada para traçar os divisores de águas das sub-bacias dos cursos d’água da área em análise.

Nesta etapa a delimitação da automática foi feita para toda bacia do arroio do salso. Isso porque um dos objetivos era comparar o tamanho da área com a bacia delimitada em uma escala de maior detalhe. Chegou-se ao resultado de 92,39km<sup>2</sup> de área e perímetro de 62,46km para toda a bacia do arroio do Salso.

O passo seguinte foi traçar o limite da bacia da área monitorada, isto é, da sub-bacia Estação Arroio do Salso. Para isso foram utilizados os mesmos procedimentos anteriores, porém ao utilizar a ferramenta watershed, foi definido como exutório da bacia um ponto localizado na seção de réguas. Como resultado deste procedimento foi traçado o limite da sub-bacia Estação Arroio do Salso, com área calculada de 78,16km<sup>2</sup> e perímetro de 50,79km.

## 5.2 Determinação do padrão de drenagem

O padrão de drenagem foi determinado a partir da análise do traçado da drenagem gerado automaticamente e a partir da base cartográfica de eixos da drenagem fornecida pela PMPA. A sub-bacia hidrográfica da estação arroio do salso caracteriza-se por um padrão de drenagem dendrítica, pois se assemelha à configuração de uma árvore como pode ser visto na figura 7. A analogia se aplica sendo os arroios do Salso, Rincão e Granja Regina os troncos da árvore e os cursos d'água menores os ramos.

## 5.3 Determinação da hierarquia fluvial

Na sub-bacia Estação Arroio do Salso, a hierarquização foi executada de forma automática a partir da delimitação das drenagens utilizando-se a ferramenta “stream order” da extensão Spatial Analyst \ hidrolgy do Arcgis 10.2.2.

## 5.4 Análise linear

A análise linear da sub-bacia hidrográfica da Estação Arroio do Salso consistiu em determinar parâmetros e relações referentes à rede hidrográfica a partir de medições efetuadas ao longo da rede de drenagem. Os parâmetros e relações determinados foram:

- Relação de bifurcação
- Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem
- Relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação
- Comprimento do canal principal
- Extensão do percurso superficial
- Perfil longitudinal do canal principal
- Índice de sinuosidade do canal principal

A relação de bifurcação foi determinada aplicando-se a fórmula (1) para cada ordem de canais, para a relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem aplicou-se a fórmula (2) e para obter-se a relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o

índice de bifurcação aplicou-se a fórmula(4). O comprimento do canal principal foi obtido através da soma do comprimento de todos segmentos de reta que representavam o eixo do arroio do salso encontrados na base cartográfica fornecida pela PMPA. A extensão do percurso superficial foi calculada através da fórmula (5). O perfil longitudinal foi traçado a partir das cotas obtidas pelo MDEHC associadas ao eixo do canal principal. O índice de sinuosidade do canal principal foi calculado pela fórmula (6).

### 5.5 Análise areal

A análise areal consistiu na determinação de uma série de índices que englobaram algumas medições planimétricas e lineares, foram elas:

- Área da sub-bacia
- Comprimento da sub-bacia
- Coeficiente de compacidade
- Densidade da drenagem
- Coeficiente de manutenção

A área da sub-bacia calculando-se a área do polígono que delimitou os divisor de águas. O comprimento da sub-bacia foi obtido através da medida da maior distância e um ponto no perímetro da sub-bacia. O coeficiente de compacidade foi calculado através da fórmula (7) assim como a densidade de drenagem foi calculada aplicando-se a fórmula (8) e o coeficiente de manutenção aplicando-se a fórmula (9).

### 5.6 Análise hipsométrica

A análise hipsométrica foi realizada com base nos dados do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente gerado. A partir do MDEHC, foi elaborado um Mapa hipsométrico da sub-bacia Estação Arroio do Salso. Como a variação de altitudes na bacia estava entre 2,4 e 294,9 metros, foram criadas 15 classes de altitudes para representar estas variações. Além do mapa hipsométrico foi elaborada uma tabela, onde os dados de altimetria foram sistematizados a fim de gerar uma curva hipsométrica e um gráfico representando as frequências de altitudes. O mapa hipsométrico assim como a tabela contendo os dados e gráficos são apresentados no capítulo 7.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 6.1 Resultados da análise do padrão de drenagem e hierarquia fluvial

O padrão de drenagem da sub-bacia hidrográfica Estação Arroio do Salso é do tipo dendrítico e apresenta uma hierarquia fluvial segundo a classificação de Strahler como sendo de 6ª ordem como pode ser visualizado na figura 11.

### Hierarquia Fluvial

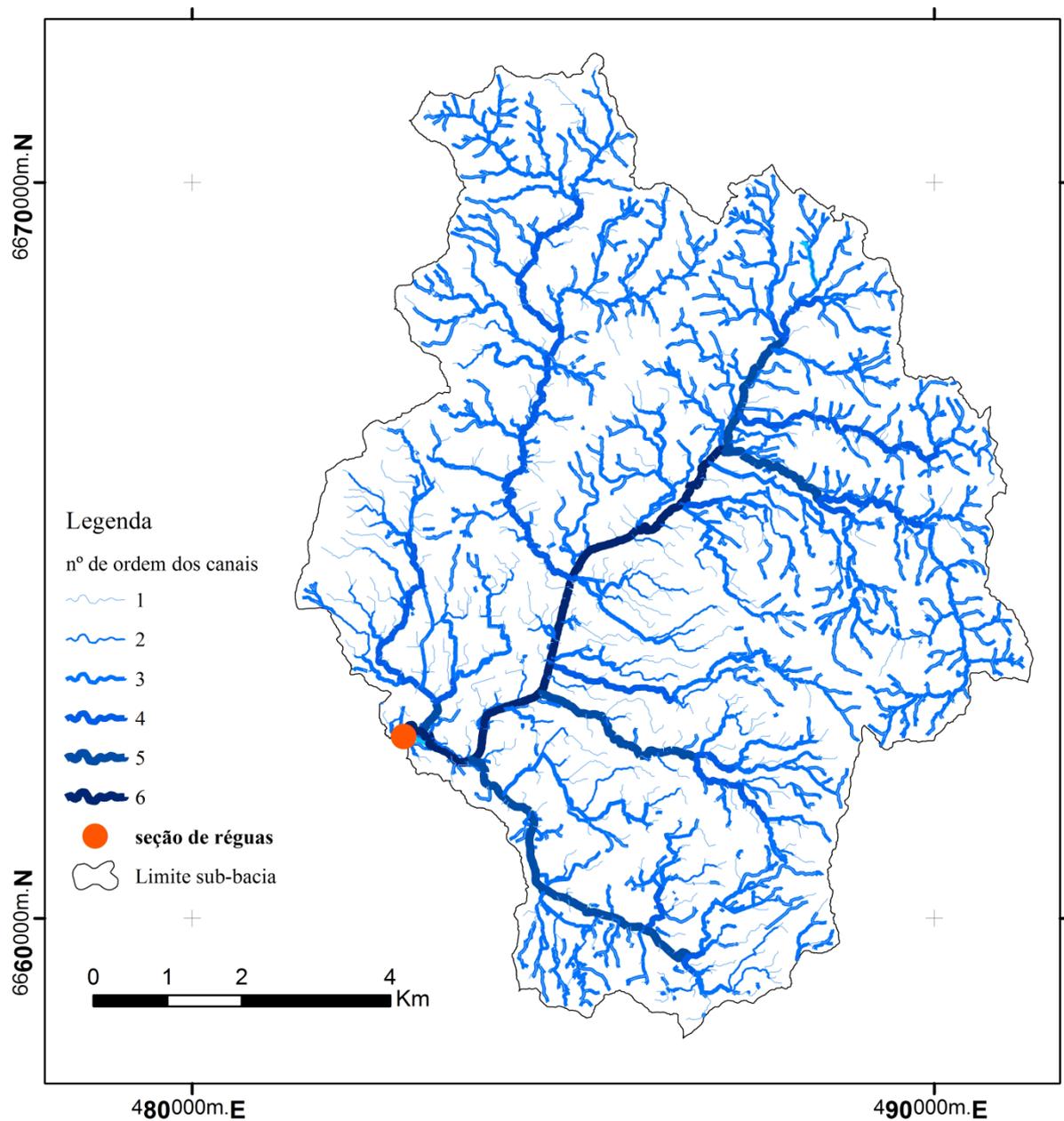


Figura 11 – Mapa mostrando o padrão de drenagem dendrítico e hierarquia fluvial conforme Strahler (1952) a partir da drenagem gerada automaticamente para a sub-bacia hidrográfica da estação arroio do salso.

A Tabela 1 apresenta as informações referentes a cada ordem de canais especificando como o número de canais( segmentos de canal) assim como os seus comprimentos e percentuais em relação ao total. No entanto há de se ressaltar que a informação sistematizada na tabela 1 precisa ser relativizada visto que é proveniente de uma fonte de dados calculada. No caso da bacia hidrográfica da Estação Arroio do Salso deve-se levar em conta que parte dos canais não existe mais nas áreas urbanizadas, isto é, os fluxos escoam pelo esgoto pluvial, como por exemplo, no núcleo urbano do bairro Restinga. Dessa forma a informação oriunda do dado restituído fornecido pela PMPA é mais fiel à realidade. Contudo nessa base cartográfica da PMPA, não foi efetuada uma hierarquização dos canais (o campo da tabela de atributos para hierarquia não foi preenchido), que pudesse ser comparada com o dado calculado. A título de informação na tabela 2 foram sistematizados os dados fornecidos na base de hidrografia da PMPA. A classificação adotada pelo consórcio de empresas que fizeram a restituição foi de curso d'água intermitente, rio perene e canal.

ordem	nº de canais	nº canais(%)	comprimento (m)	comprimento (%)
1ª	1042	50,07	198717,17	48,28
2ª	520	24,99	109036,17	26,49
3ª	260	12,49	57420,89	13,95
4ª	147	7,06	26635,38	6,47
5ª	65	3,12	11923,42	2,90
6ª	47	2,26	7880,63	1,91
total	2081	100,00	411613,67	100,0

Tabela 1 – Resumo dos resultados obtidos a partir da hierarquização dos canais traçados automaticamente.

classe	nº de canais	nº canais(%)	comprimento (m)	comprimento (%)
CURSO DAGUA INTERMITENTE	1541	65,66	168348,10	56,29
RIO PERENE	766	32,64	127446,02	42,61
CANAL	40	1,70	3288,69	1,10
total	2347	100	299083	100

Tabela 2 – Classificação dos canais de acordo com a base cartográfica fornecida pela PMPA para a sub-bacia da Estação Arroio do Salso.

## 6.2 Resultados da análise linear

Na análise linear foram encontrados os resultados apresentados a seguir:

A relação de bifurcação (Rb) para cada ordem de canal é apresentada tabela 3:

Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6	média
-	2,00	2,00	1,77	2,26	1,38	1,88

Tabela 3 – Relação de bifurcação para cada ordem dos canais da sub-bacia hidrográfica do Arroio do Salso.

A Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem(Lm) é apresentada na tabela 4 e a relação entre os comprimentos médios dos canais(RLm) é apresentada na tabela 5 :

Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6	média
190,71m	209,68m	220,85m	181,19m	183,44m	167,67m	192,26m

Tabela 4 – Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem.

Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6	média
-	1,10	1,05	0,82	1,01	0,91	0,98

Tabela 5 – Relação entre o comprimento médio dos canais.

A relação entre o índice do comprimento médio e a o índice de bifurcação é apresentada na tabela 6:

Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6	média
-	0,55	0,53	0,46	0,45	0,66	0,53

Tabela 6 – Relação entre o índice do comprimento médio e o índice de bifurcação.

O comprimento do canal principal encontrado foi de 11,16km e a extensão do percurso superficial foi de 0,152m. O perfil longitudinal é apresentado através do gráfico 1, onde a altitude máxima do canal principal encontrada foi de 64,2m e a altitude mínima de 2,5m. O canal principal apresenta inclinação média de 5,6 m/km e índice de sinuosidade de 1,28.

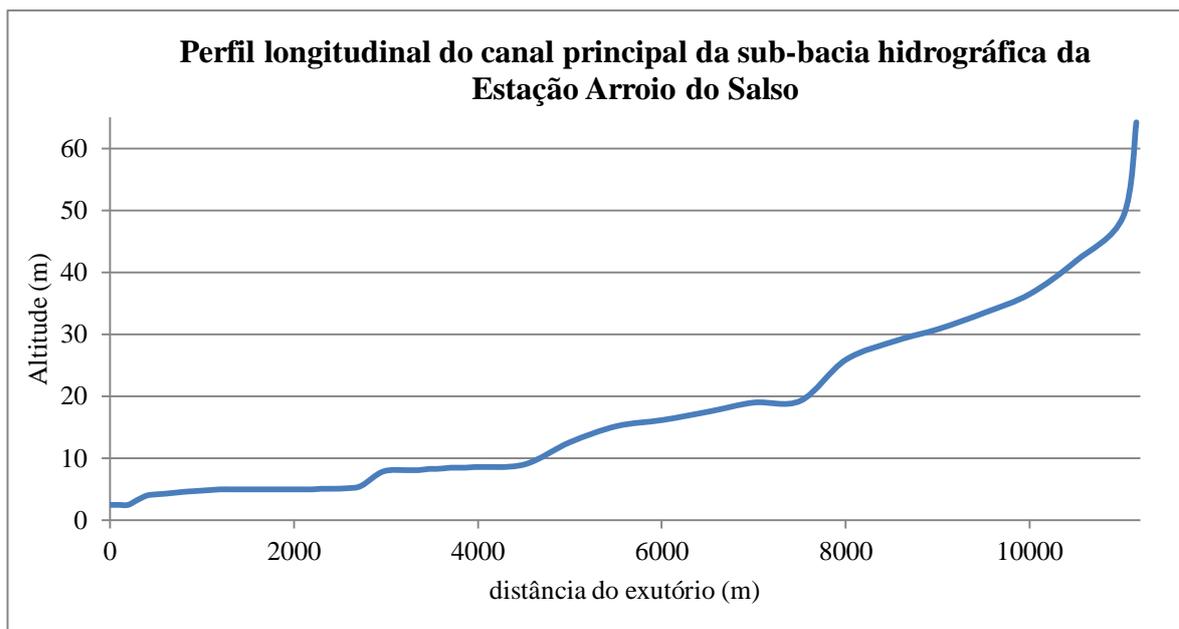


Gráfico 1 – Perfil longitudinal do canal principal.

### 6.3 Resultados da análise areal

A sub-bacia hidrográfica da Estação Arroio do Salso possui uma área de drenagem de 78,16km<sup>2</sup> e perímetro de 50,79km medidos em plano horizontal. O comprimento da bacia é de 9,63km, distância obtida pela medida entre o exutório e o ponto mais distante no perímetro do divisor de águas. O coeficiente de compacidade obtido foi de 1,601, a densidade de drenagem de 3,287km/km<sup>2</sup> e o coeficiente de manutenção de 261,301m.

### 6.4 Resultados da análise hipsométrica

A cota máxima e mínima encontrada na bacia através do modelo digital de elevação gerado foi de 294,91m e 2,5m respectivamente. A inclinação média do canal principal é de 5,6 m/km. A altitude média da bacia é de 132m. A altitude mais frequente é na faixa de 20 a 40m (25,07%) como demonstra o gráfico 2 e a altitude de frequência média é de 54,5m. A seguir é apresentada a curva hipsométrica (Gráfico 3), a tabela com os dados utilizados no seu traçado (Tabela 7) e o mapa hipsométrico da sub-bacia hidrográfica estação Arroio do Salso (Figura 12).

## Mapa Hipsométrico

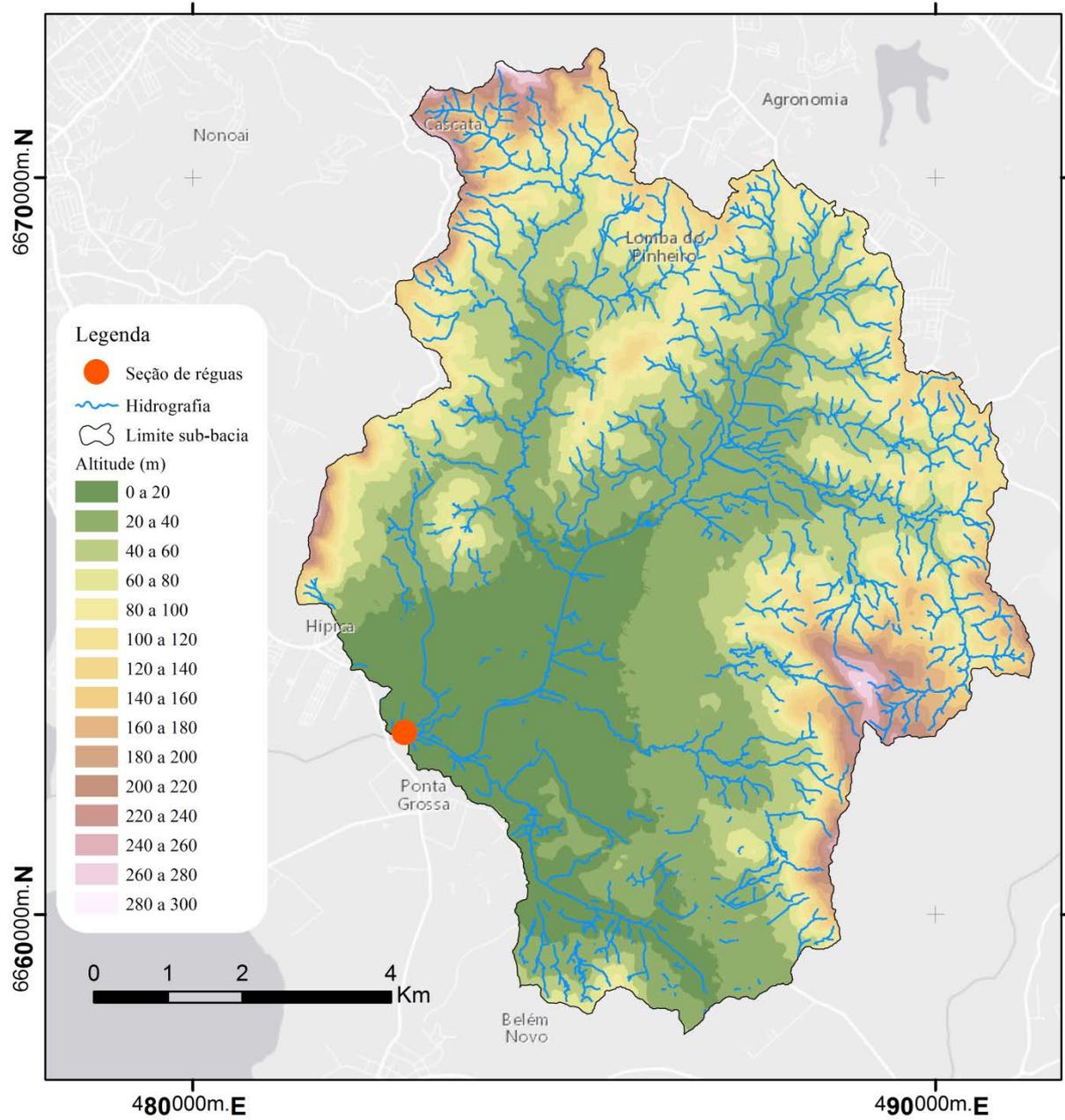


Figura 12 – Mapa hipsométrico da sub-bacia Estação Arroio do Salso.

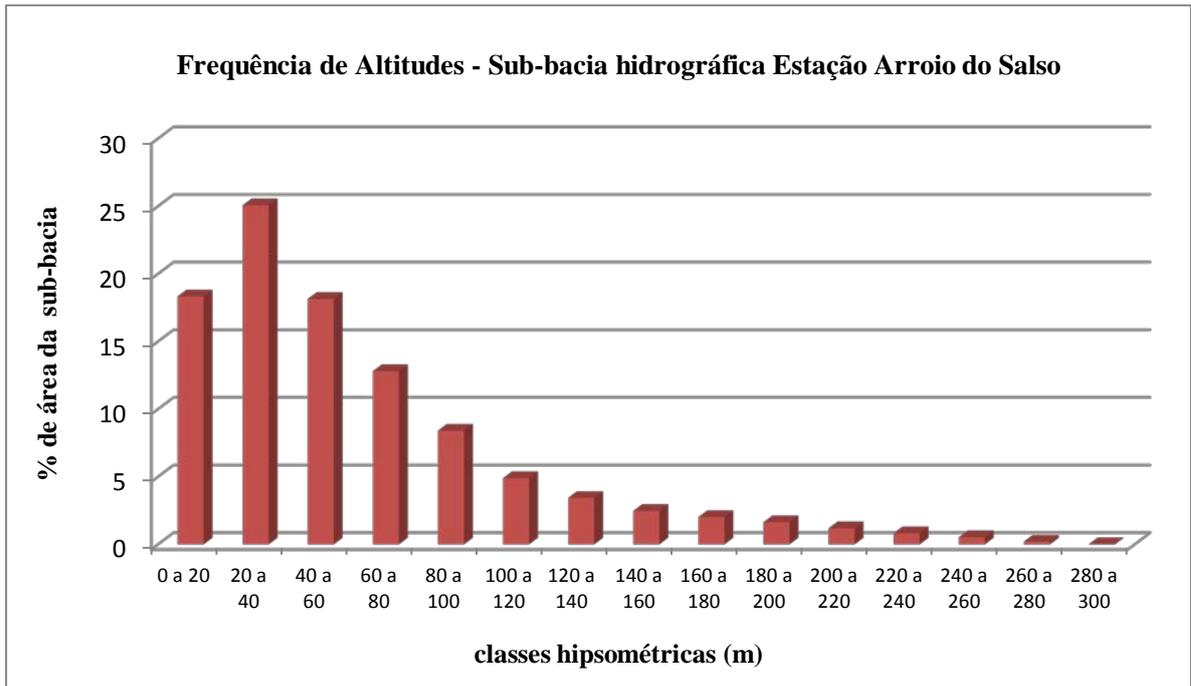


Gráfico 2 – Frequência de altitudes.

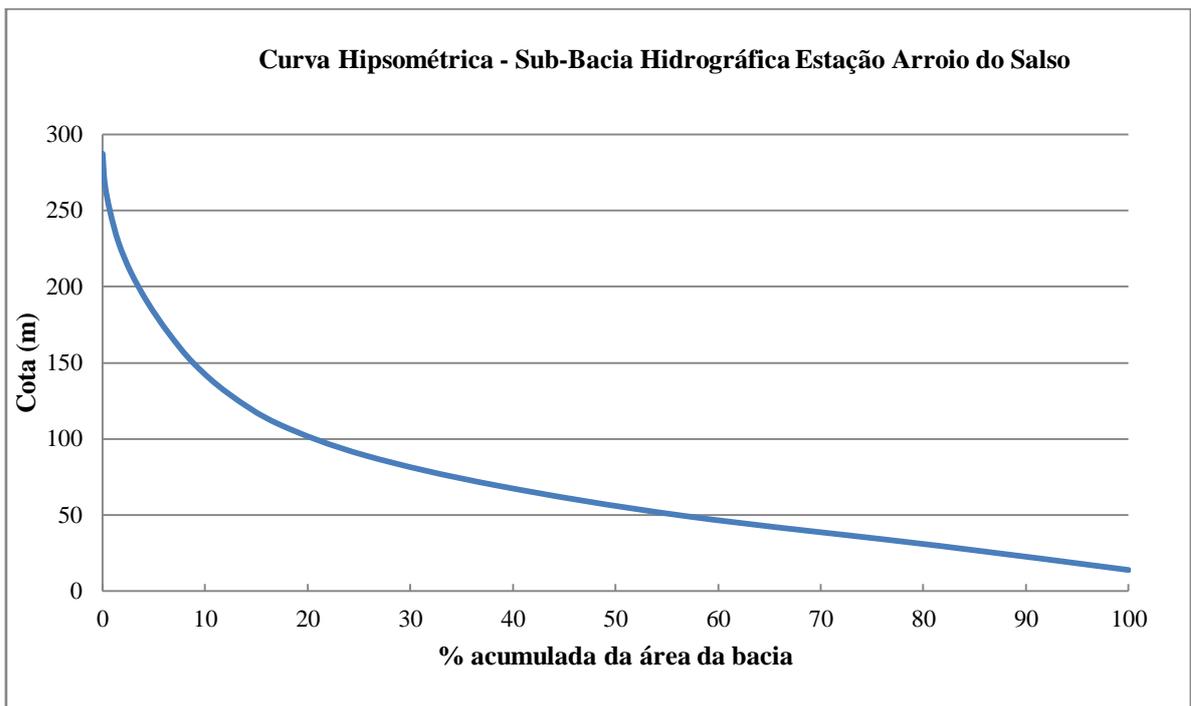


Gráfico 3 – Curva hipsométrica da sub-bacia hidrográfica Estação Arroio do Salso.

Classes	cotas(m)			Área(km <sup>2</sup> )			
	Mínimo (m)	Máximo (m)	Média (m)	intervalo	Acumulado	% acum	% intervalo
1	2,4	20,0	13,86	14,33	78,16	100,00	18,33
2	20,0	40,0	29,62	19,59	63,83	81,67	25,07
3	40,0	60,0	49,49	14,18	44,24	56,60	18,15
4	60,0	80,0	69,36	10,01	30,06	38,45	12,80
5	80,0	100,0	89,05	6,57	20,05	25,65	8,41
6	100,0	120,0	109,50	3,83	13,48	17,24	4,90
7	120,0	140,0	129,49	2,69	9,65	12,35	3,44
8	140,0	160,0	149,54	1,93	6,96	8,91	2,47
9	160,0	180,0	169,66	1,58	5,03	6,44	2,02
10	180,0	200,0	189,53	1,28	3,45	4,42	1,64
11	200,0	220,0	209,45	0,93	2,17	2,78	1,19
12	220,0	240,0	228,81	0,65	1,24	1,59	0,83
13	240,0	260,0	249,15	0,41	0,59	0,76	0,53
14	260,0	280,0	267,86	0,16	0,18	0,23	0,21
15	280,0	294,9	287,41	0,02	0,02	0,03	0,03

Tabela 7 – Dados utilizados para traçado da curva hipsométrica.

### 6.5 Dados iniciais da Estação de monitoramento hidrometeorológico

A seguir foram sistematizados os primeiros dados de nível, chuva, medições de vazão e o resultado da primeira medição de descarga sólida em suspensão realizada em 27/08/2013 da Estação Arroio do Salso.

#### **Nível do Arroio do Salso(cm) e Chuva(mm) no período de dezembro de 2013 a novembro de 2014**

Os dados iniciais de nível e chuva obtidos através da estação Arroio do salso estão apresentados abaixo através dos gráficos que relacionam o nível do arroio (cota dada em centímetros) com o volume de chuva (mm). As linhas representam a variação do nível de acordo com as duas leituras diárias feitas na régua linimétrica e as barras o volume de chuva diário medido pelo pluviômetro.

O gráfico 4 compreende o período de 27/12/2013 a 30/11/2014, isto é todo o período de operação da estação até os dados mais recentes fornecidos pela CPRM. O gráfico 5 refere-se ao período de 27/12/2013 a 28/02/2014, o gráfico 6 refere-se ao período de 01/03/2014 a

31/05/2014, o gráfico 7 refere-se ao período de 01/06/2014 a 30/08/2014, o gráfico 8 representa o período compreendido entre os dias 01/09/2014 e 30/11/2014.

### Chuva x Nível - Estação Arroio do Salso 27/12/2013 a 30/11/2014

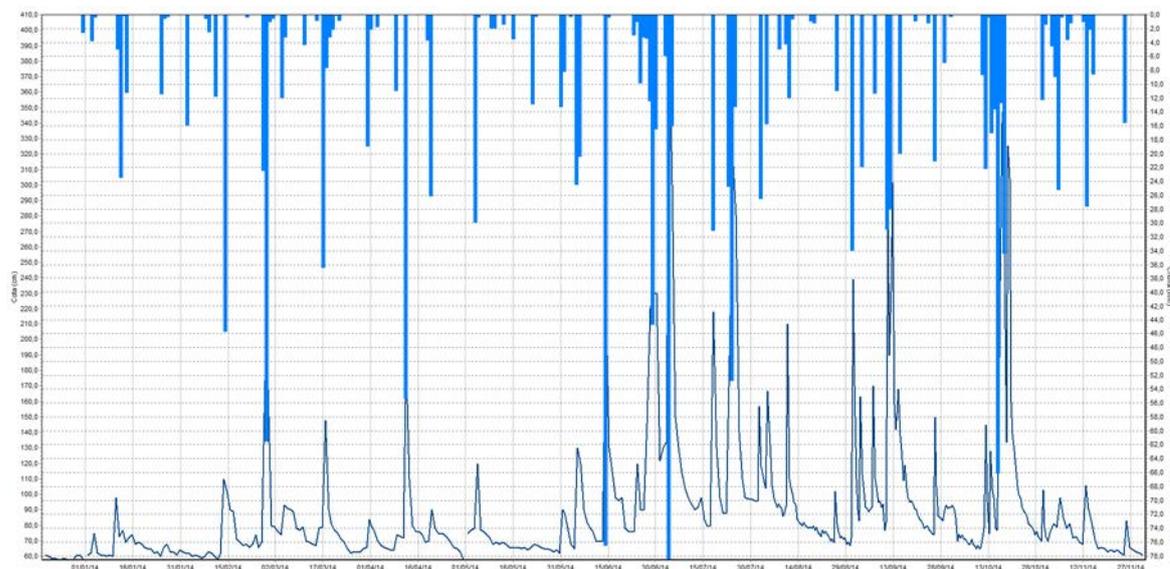


Gráfico 4 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 01/09/2014 e 30/11/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA.

### Chuva x Nível - Estação Arroio do Salso 27/12/2013 a 28/02/2014



Gráfico 5 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 27/12/2013 e 28/02/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA.

### Chuva x Nível - Estação Arroio do Salso 01/03/2014 a 31/05/2014

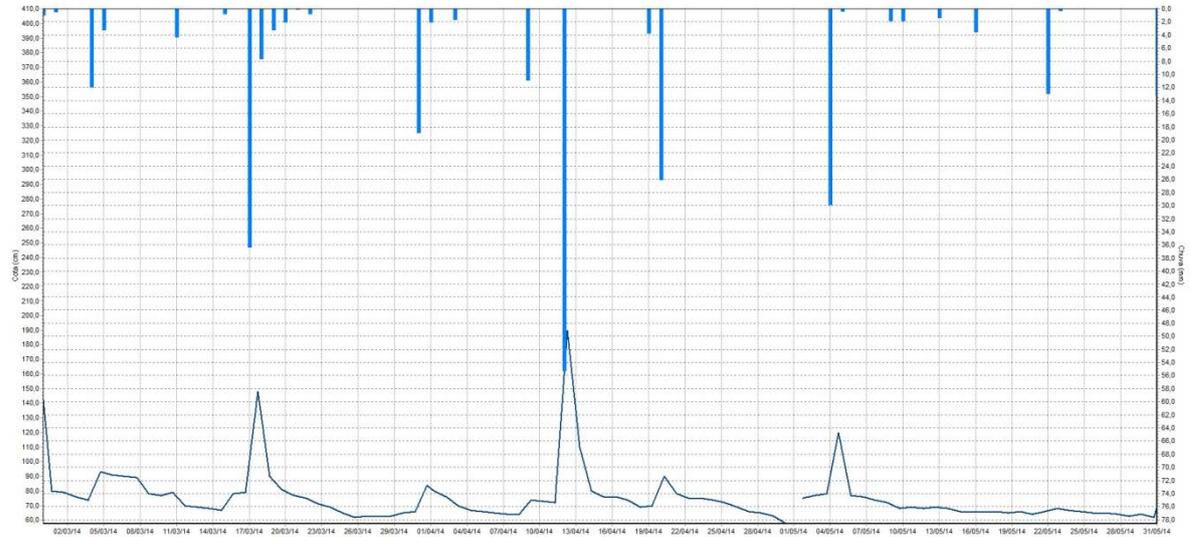


Gráfico 6 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 01/03/2014 e 31/05/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA.

### Chuva x Nível - Estação Arroio do Salso 01/06/2014 a 30/08/2014

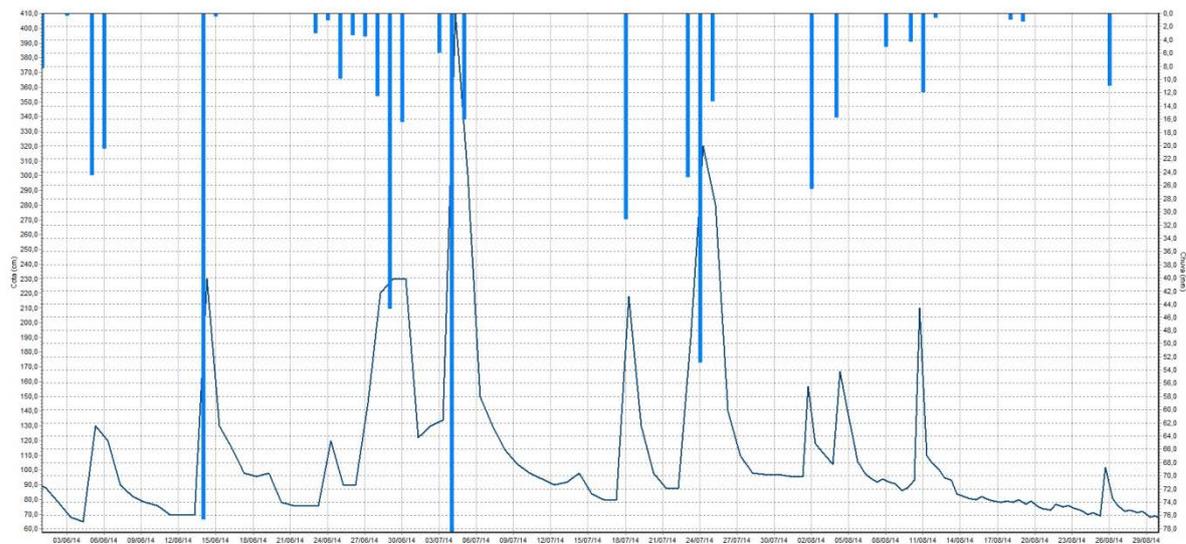


Gráfico 7 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 01/06/2014 a 30/08/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA.

### Chuva x Nível - Estação Arroio do Salso 01/09/2014 a 30/11/2014

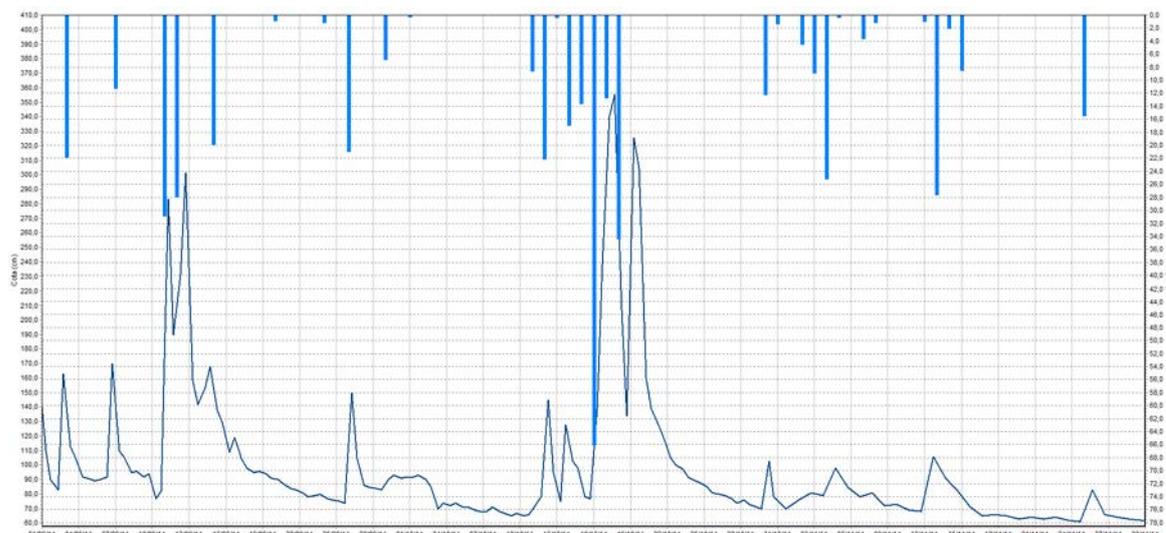


Gráfico 8 – Dados de chuva e nível do período compreendido entre 01/09/2014 a 30/11/2014. Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos boletins pluviométricos e fluviométricos fornecidos pela CPRM – SUREG PA.

A tabela 7 apresenta um resumo dos dados pluviométricos da Estação Arroio do Salso.

A partir dos dados de nível foi também traçada uma curva de permanência de nível apresentada no gráfico 9.

Mês	máxima(mm)	total (mm)	dias de chuva
jan/14	23,5	57,2	10
fev/14	61,5	162,4	9
mar/14	36,5	91	12
abr/14	55,3	100,3	6
mai/14	30	66,3	9
jun/14	76,5	225,3	15
jul/14	78,5	222,8	8
ago/14	34	111,8	10
set/14	31	142,8	9
out/14	66,1	189,8	11
nov/14	27,7	99,6	11

Tabela 8 – Dados de chuva Estação Arroio do Salso.

### Curva de permanência de nível – Estação Arroio do Salso – dez/2013 a 11/2014

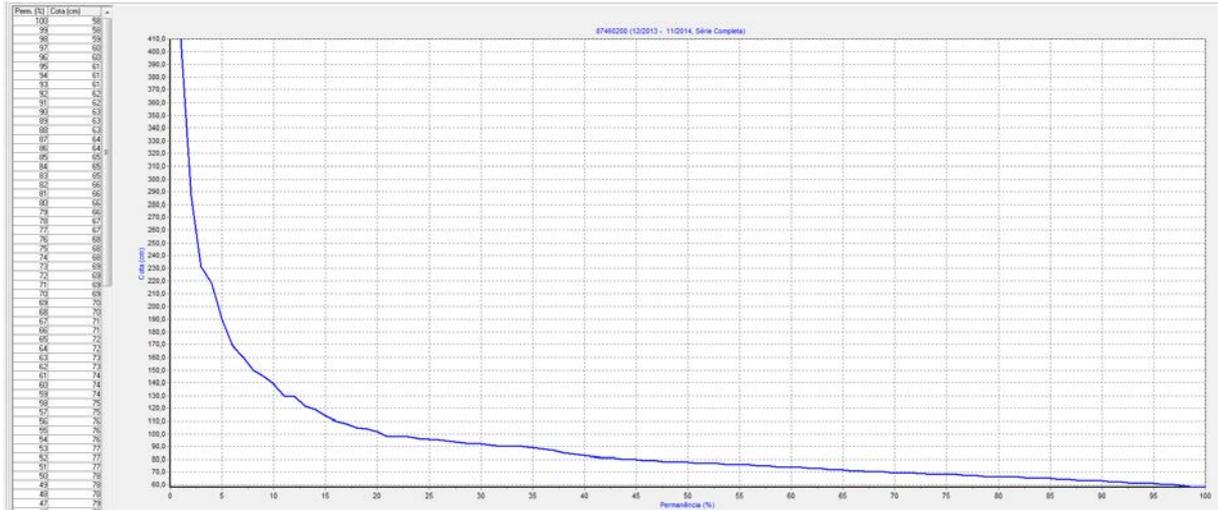


Gráfico 9 – Curva de permanência para a estação Arroio do Salso.

As medições de vazão efetuadas na estação Arroio do Salso estão listadas na tabela 8. O gráfico 10 apresenta o que seria um primeiro esboço de uma curva-chave para a estação Arroio do Salso, onde no eixo x está representada a vazão em  $m^3/s$  e no eixo y a cota, ou nível do arroio medido na seção de régua.

Data	nº medição	Q( $m^3/s$ )	cota (m)
27/08/2013	1	11,67	2,2
02/12/2014	3	1,83	0,95
08/05/2014	2	0,55	0,67

Tabela 9 – Medições de Vazão realizadas na Estação Arroio do Salso.

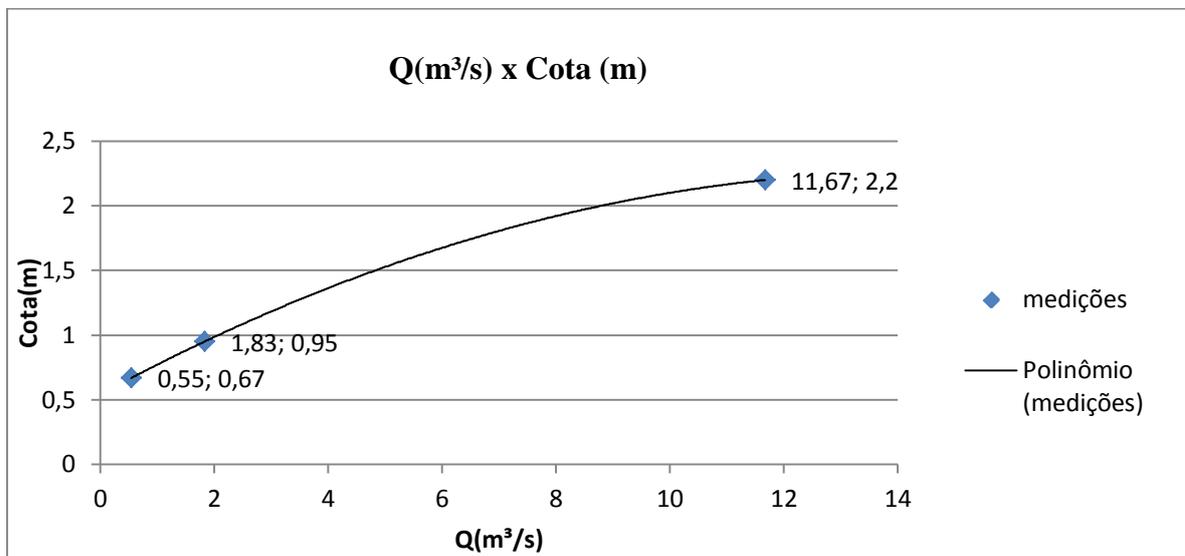


Gráfico 10 – Medições de vazão x cota na Estação Arroio do Salso.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através deste trabalho foi possível efetuar a caracterização hidromorfológica da sub-bacia em análise. Em um segundo momento, foram sistematizados os primeiros dados de chuva, nível e vazão obtidos através da Estação Arroio do Salso.

A caracterização hidromorfológica, iniciou pela delimitação do divisor de águas e traçado das drenagens aonde se chegou à área da bacia de 78,16km<sup>2</sup> e perímetro de 50,79km. O padrão de drenagem é do tipo dendrítico apesar de parte dos cursos d'água não mais ocorrerem de forma natural nas áreas urbanizadas da sub-bacia. A hierarquia encontrada para os canais da sub-bacia foi de sexta ordem.

A análise linear da sub-bacia permitiu concluir que o canal principal mede 11,16km, possui índice de sinuosidade de 1,28, isto é, é um canal pouco sinuoso o que pode ser explicado pela urbanização da área que tende a fazer intervenções nos curso d'água. Com a análise areal da bacia chegou-se a um índice de compacidade de 1,601 o que indica um médio risco a inundação da sub-bacia por suas características de forma. Da análise hipsométrica, obteve-se o valor de 132m para altitude média da sub-bacia sendo a faixa de altitudes mais frequente a que compreende as cotas entre 20 a 40m, o que demonstra que a sub-bacia possui uma altitude predominantemente baixa, 61,55% é mais baixa que 60m. A inclinação média do canal principal encontrada foi de 5,6m/km.

A sistematização dos dados de nível possibilitou concluir que os maiores valores de atingidos foram observados entre os meses de julho e outubro de 2014, sendo as maiores cotas observadas de 4,10m no dia 04/07/2014, de 2,39m no dia 01/09/2014, de 3,20m no dia 24/07/2014, de 3,01m no dia 12/09/2014 e 3,55m em 17/10/2014. Com a série histórica do período estudado foi traçada uma curva de permanência de nível que permitiu concluir que em 90% das observações o nível de 0,63m foi igualado ou superado, que em 75% das observações o nível 0,68cm foi igualado ou superado e que em 50% das observações o nível de 0,78cm foi igualado ou superado. Em relação aos dados de chuva, observou-se que os meses mais chuvosos foram os de junho e julho de 2013 que apresentaram totais acumulados e 225,3 mm e 222,8mm respectivamente. A respeito dos dados de vazão, começou-se a traçar um esboço de uma curva chave, mesmo sabendo que a quantidade de observações é insuficiente para realizar maiores inferências.

Ao longo do trabalho foi constatado que para uma melhor caracterização do comportamento hidrológico do arroio do salso seria importante a instalação por parte da ANA de uma plataforma de coleta de dados onde fosse possível monitorar a variação de nível e chuva em intervalos menores de tempo. Com isso seria possível fazer um melhor diagnóstico do tempo de concentração da bacia e tempos de pico de cheia, informação essa que pode ser usada como um indicador de degradação ambiental dessa importante bacia hidrográfica do município de Porto Alegre.

## 8 REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997

BORSATO, F, MARTONI, A. **Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná.** Disponível em:

<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciHumanSocSci/article/view/1391%20-%20acesso%20em%2015/11/2014>. Acesso jul. 2014.

CARDOSO, M.R.D.; MARCUZZO, F. F. N.; PINTO FILHO, R. F. **Caracterização Física da Bacia do Rio Araguaia visando determinar susceptibilidade a enchentes.** Disponível em: [www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/.../12815](http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/.../12815). Acesso out. 2014.

CARVALHO, N.O. et al. **Guia de práticas sedimentométricas.** Brasília: ANEEL. 2000. 154p.

SANTOS, C.A; SOBREIRA, F. G. **Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Bação e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG.** Disponível em:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672008000100013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672008000100013&lng=en&nrm=iso)>. Acesso nov. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2 ed., São Paulo, SP: Edgard Blucher, 1980.

Hutchinson, M.F. 1988. **Calculation of hydrologically sound digital elevation models.** *Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling*, August 17-19, Sydney. International Geographical Union, Columbus, Ohio, pp 117-133.

Hutchinson, M.F. 1989. **A new method for gridding elevation and streamline data with automatic removal of pits.** *Journal of Hydrology* 106: 211-232.

Hutchinson, M. F. and Gallant, J. C. 1999. **Representation of terrain. In: Geographical Information Systems: Principles, Technical Issues, Management Issues and Applications.** Second Edition. Edited by Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. and Rhind, D.W. Wiley, New York, Chapter 9, pp 105-124.

LIMA, W. P. **Manejo de Bacias Hidrográficas.** Disponível em [http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula\\_1/Caracteristicas%20fisicas%20da%20bacia\\_foto%20piracicamirim.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula_1/Caracteristicas%20fisicas%20da%20bacia_foto%20piracicamirim.pdf). Acesso. Nov.2014.

MOURA, N.S. M. ; DIAS, T. S. **Estudo sobre a suscetibilidade à inundação do Setor Sul do Município de Porto Alegre-RS: Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso.** In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2010, Recife -

SILVEIRA, A. L.L. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica.** In: TUCCI, Carlos E.M (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Universidade UFRGS/ABRH, 1993. Cap. 1. p. 35-40.

GUERRA, A.J.T; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.