

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**CONTROLE DA DRENAGEM NA FONTE E SUA
COMPATIBILIZAÇÃO AO PLANO MUNICIPAL DE
SANEAMENTO AMBIENTAL DE SANTA MARIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Carlos Augusto Roman

Santa Maria, RS, Brasil
2015

**CONTROLE DA DRENAGEM NA FONTE E SUA
COMPATIBILIZAÇÃO AO PLANO MUNICIPAL DE
SANEAMENTO AMBIENTAL DE SANTA MARIA**

Carlos Augusto Roman

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

**Orientador Prof. Dr. Daniel Gustavo Allasia Picilli
co-Orientador Prof^a. Dr^a. Rutinéia Tassi**

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Roman, Carlos Augusto
CONTROLE DA DRENAGEM NA FONTE E SUA COMPATIBILIZAÇÃO
AO PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SANTA
MARIA / Carlos Augusto Roman.-2015.
144 p.; 30cm

Orientadora: Daniel Gustavo Allasia Piccilli
Coorientadora: Rutinéia Tassi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2015

1. Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa
Maria 2. Drenagem Urbana 3. Medidas de Controle do
Escoamento Pluvial junto à Fonte 4. Controle da Drenagem
na Fonte 5. Compatibilização I. Piccilli, Daniel Gustavo
Allasia II. Tassi, Rutinéia III. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Carlos Augusto Roman. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: carlosaugustoroman@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**CONTROLE DA DRENAGEM NA FONTE E SUA
COMPATIBILIZAÇÃO AO PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO
AMBIENTAL DE SANTA MARIA**

elaborada por
Carlos Augusto Roman

como requisito parcial para obtenção de grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA

Daniel Gustavo Allasia Piccilli, Dr.
(Presidente/Orientador)

Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves, Dr. (UFAL)

Geraldo Lopes da Silveira, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 06 de julho de 2015.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, professores Daniel Gustavo Allasia Piccilli e Rutinéia Tassi e todos que participaram direta e indiretamente desta etapa.

A CAPES, pela concessão da bolsa.

À Universidade Federal de Santa Maria - UFSM.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

A toda minha família que mesmo longe me apóia e torce pelos meus resultados, em especial, agradeço aos meus pais, Máximo Roman e Maria Caparroz Roman que dentro de suas possibilidades, sempre fizeram tudo que estava ao seu alcance para nos educar da melhor maneira que foi possível.

Também faço um agradecimento muito mais do que especial a Taisa Gomes Ferreira, a esta pessoa que esta sempre ao meu lado, agradeço por todo seu apoio, dedicação, paciência, privação e confiança, aliás, confiança não somente nesta etapa e sim em todos os desafios que tenho me submetido nos últimos dez anos.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

CONTROLE DA DRENAGEM NA FONTE E SUA COMPATIBILIZAÇÃO AO PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL DE SANTA MARIA

Autor: Carlos Augusto Roman

Orientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli

co-Orientador: Rutinéia Tassi

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 06 de julho de 2015.

A Prefeitura de Santa Maria contratou o Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria (PLAMSAB), em relação à drenagem urbana, uma das temáticas do Plano, o Ministério das Cidades estimula a utilização de práticas de drenagem urbana que incluem tanto as abordagens com técnicas compensatórias, quanto as abordagens com princípio do desenvolvimento urbano de baixo impacto. Assim, esta pesquisa teve como objetivo identificar se o (PLAMSAB) incorpora propostas voltadas para o controle do escoamento na fonte e de que forma elas são abordadas, o estudo foi conduzido em 3 etapas. Inicialmente foi realizada a análise das medidas de controle do escoamento pluvial propostas no (PLAMSAB), estudando em que nível são atendidos os preceitos de medidas de controle do escoamento pluvial junto à fonte (MCF). Posteriormente foi verificada a viabilidade das MCF para o município, considerando as restrições de cada dispositivo e as particularidades da ocupação urbana e do grupo hidrológico do solo. Para fornecer subsídio para o dimensionamento futuro das MCF, foi necessário uma etapa intermediária de determinação de parâmetros hidrológicos de dimensionamento, tais como, atualização da relação intensidade-duração-frequência (IDF), determinação do valor da vazão específica de pré-desenvolvimento (Qpd) e do volume de controle (v). Baseado nas definições de controle da drenagem na fonte, é possível afirmar que nenhuma das propostas do PLAMSAB para a drenagem urbana, atende aos preceitos de medidas de controle na fonte, a partir das observações realizadas neste estudo é possível afirmar, a partir dos dados disponíveis, que grande parte do perímetro urbano do município tem potencial para a utilização de MCF. As propostas apresentadas no PLAMSAB, em relação a drenagem, consistem na construção de aproximadamente 631 km de redes de drenagem, além da construção de aproximadamente 180.000 m³ de depósito anti-DSP, sendo essas distribuídas na cobertura dos 20 anos do horizonte de projeto do Plano. Para a previsão de implantação da rede de microdrenagem, os autores do PLAMSAB adotaram a vazão de 6,9 m³.s⁻¹, calculado mediante o método racional, com a utilização dos seguintes parâmetros: Coeficiente de escoamento (C) = 0,6; Área da bacia (A) = 1,5 km²; Tempo de concentração (tc) = duração da chuva (t) = 1,63 horas; Tempo de retorno (Tr) = 10 anos; Intensidade de chuva (I) = 27,4 mm.h⁻¹, para a obtenção do valor referente à intensidade de chuva (I), os autores utilizaram o ajuste de extremo Gumbel dos dados registrados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Utilizando a equação IDF atualizada neste estudo, e considerando os mesmos valores de (t) e (Tr) utilizados no PLAMSAB, resulta um valor de (I) = 42,72 mm.h⁻¹, para esta intensidade, e para os mesmos valores de (C) e (A), resulta uma vazão de 10,69 m³.s⁻¹, valor 56% maior que a apresentada no PLAMSAB. A potencialidade do município para implantação de MCF ficou evidenciada a partir dos resultados deste estudo, o uso de práticas de drenagem em pequena escala, disseminados por toda a bacia hidrográfica a fim de reproduzir ou manter as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento se apresenta como uma alternativa positiva.

Palavras-chave: Drenagem Urbana, Medidas de Controle do Escoamento Pluvial junto à Fonte, Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post-Graduation Program in Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

CONTROL OF THE DRAINAGE IN THE SOURCE AND ITS COMPATIBILITY TO THE MUNICIPAL PLAN OF THE ENVIRONMENTAL SANITATION OF SANTA MARIA.

Author: Carlos Augusto Roman
Advisor: Daniel Gustavo Allasia Piccilli
co-Advisor: Rutinéia Tassi
Defense Date and Place: Santa Maria, July 07th, 2015.

The City Hall of Santa Maria hired the Municipal Plan of Environmental Sanitation of Santa Maria (MPLAENS), in relation to the urban drainage, one of the themes of the Plan. The Ministry of Cities encourages the use of urban drainage practices that include as much approaches with compensatory techniques, as approaches with principle of urban development of low impact. Thus, this research aimed to identify if the (MPLAENS) incorporates proposals focused in the control of drainage in the source and how they are adressed. The study was performed in three steps: initially, it was carried out the analysis of measures of control of the storm water runoff proposed in (MPLAENS), in order to understand in which level were received the precepts of measures of control of the storm water runoff at source (MCS). Afterwards, the feasibility of MCS for the city has been verified, considering the restrictions of each device and the particularities of the urban occupation and the hydrologic group of the soil. To provide subsidy for the future sizing of MCS, it was necessary an intermediate step of determination of hydrologic parameters of sizing, such as, update of the relation intensity-duration-frequency (IDF), determination of value of the specific flow of predevelopment (Qpd) and the volume of control (v). Based on definitions of control of the drainage at source, it is possible to affirm that, none of the proposals of MPLAENS for the urban drainage meet the precepts of measures of control at source. From the held observations in this study and the data available, it is possible to state that large extent of the urban perimeter of the city has potential for the use of MCS. The suggestions presented in MPLAENS in relation to drainage consist in the construction of approximately 631 km of drainage networks, besides the construction of approximately 180.000 m³ of anti-DSP deposit, being these distributed within the next twenty years of project of the Plan. For an estimate of deployment of the micro drainage network, the authors of MPLAENS adopted the flow of 6,9 m³.s-1, calculated by the rational method with the use of the following parameters: Runoff coefficient (R) = 0,6; Basin area (B) = 1,5 km²; Time of concentration (tc) = rain duration (t) = 1,63 hours; Time of return (Tr) = 10 years; Intensity of the rain (I) = 27,4 mm.h-1. To obtain the referent value of the intensity of the rain (I), the authors used the Gumbel distribution of the data recorded by Instituto Nacional de Meteorologia (National Institute of Meteorology). The IDF equation updated in this study and the same values of (t) and (Tr) used in MPLAENS, results in a value of (I) = 42,72 mm.h-1 for this intensity, and for the same values of (R) and (B) the result is a flow of 10,69 m³.s-1, value 56 percent higher than the present in MPLAENS. The potential of the municipality for the deployment of MCS became evident through the results of this study, thus, the use of drainage practices in small-scale spread over the whole river basin in order to reproduce or maintain the hydrological conditions of predevelopment presents itself as a positive alternative.

Keywords: Urban Drainage, Measures of Control of the Stormwater Runoff at Source, Municipal Plan of Environmental Sanitation of Santa Maria.

LISTA DE ABREVIATURAS

BIRD - Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento

BMPs - Best management practices

CN - Curva número

DCF - Dispositivos de controle na fonte

DEP - Departamento de Esgotos Pluviais (Porte Alegre)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

LID - Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto

MCF - Medidas de controle na fonte

NASA - National Aeronautics and Space Administration

PLAMSAB - Plano Municipal de Saneamento Ambiental da cidade de Santa Maria – RS

PMSM - Prefeitura Municipal de Santa Maria - RS

RD - Reservatórios de detenção

SCS - Soil Conservation Service

SDH - Sistema de drenagem higienista

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems

TdR - Termo de Referencia

WSUD - Water Sensitive Urban Design

LISTA DE SÍMBOLOS

A - Área

AI - Parcela da bacia com área impermeável

A_{IMP} - Área impermeável contribuinte

A_{INF} - Área de infiltração

C - Coeficiente de escoamento

C_i - Coeficiente de escoamento de uma área impermeável

C_p - Coeficiente de escoamento da área permeável da bacia

ha - Hectare

I - Intensidade da precipitação

k - Fator de conversão de unidades

Q - Vazão máxima

Q_n - Vazão de pré-desenvolvimento

Q_{pd} - Vazão específica de pré-desenvolvimento

Q_u - Vazão resultante do desenvolvimento urbano

S - Declividade

t - Duração

t_c - Tempo de concentração da bacia

T_r - Tempo de retorno

v - Volume

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - COMPARAÇÃO ENTRE CHUVAS INTENSAS OBTIDAS A PARTIR DE IDF'S E PELA METODOLOGIA DA RELAÇÃO ENTRE DURAÇÕES	138
---	-----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Justificativa	7
1.2 Objetivos.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Impactos do desenvolvimento urbano	11
2.2 Medidas de controle das inundações.....	12
2.3 Classificação das medidas de controle.....	12
2.4 Medidas de controle na fonte.....	13
2.5 A evolução do sistema de drenagem urbana.....	16
2.5.1 Sistema higienista	16
2.5.2 Métodos compensatórios ou alternativos	17
2.5.3 Desenvolvimento urbano de baixo impacto (LID).....	20
2.6 Modelo atual de gestão dos recursos hídricos no Brasil.....	23
2.6.1 Gestão hídrica nos estados brasileiros	24
2.6.2 Aspectos legais sobre a destinação das águas pluviais no Brasil	24
2.6.3 Aspectos legais sobre a captação de água de chuva no Brasil.....	25
2.7 Parâmetros para dimensionamento de medidas de controle na fonte.....	30
2.7.1 Vazão de pré-desenvolvimento	31
2.7.2 Chuvas intensas	32
2.7.3 Tipo e uso do solo.....	34
2.8 Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria (PLAMSAB)	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 Caracterização da área de estudo	38
3.1.1 Características dos cursos d'água no perímetro urbano de Santa Maria - RS.....	42

3.1.2	Uso e ocupação do solo urbano de Santa Maria - RS.....	44
3.2	Resumo da Metodologia.....	47
3.3	Análise dos sistemas de drenagem urbana propostos no (PLAMSAB).....	47
3.4	Estimativa de parâmetros de projeto.....	48
3.4.1	Atualização da relação IDF do município de Santa Maria - RS.....	48
3.4.2	Determinação do valor da vazão específica de pré-desenvolvimento (Qpd).	51
3.4.3	Determinação do volume de controle do escoamento pluvial.....	54
3.5	Viabilidade de diferentes MCF para a área urbana do município.....	56
3.5.1	Estimativa e processamento das informações para identificação de Medidas de Controle na Fonte	56
3.5.2	Estimativa das Medidas de Controle na Fonte mais apropriadas para cada área do município.....	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1	Diagnóstico do sistema de drenagem urbana do município de Santa Maria segundo o PLAMSAB (2013).....	61
4.1.1	Microdrenagem.....	61
4.1.2	Macrodrenagem.....	63
4.1.3	Áreas de risco de alagamentos, inundações, deslizamentos e solapamentos em Santa Maria.....	66
4.1.4	Resumo dos problemas na rede de drenagem pluvial do município	72
4.1.5	Sistema proposto para drenagem urbana do município.....	75
4.1.6	Comparativo entre o TdR-SM, o Termo de Referência apresentado pela Funasa (TdR-Funasa) e o PLAMSAB.....	78
4.1.7	Quais dentre os propostos, atendem aos preceitos de medidas de controle na fonte	80
4.2	Atualização da IDF de Santa Maria (RS), determinação do valor da vazão específica de pré-desenvolvimento e do volume de controle	81
4.2.1	Atualização da IDF de Santa Maria (RS).....	81
4.2.2	Vazão específica de pré-desenvolvimento	88

4.2.3 Volume de controle	90
4.2.4 Comparativo entre valores de intensidades de precipitação e vazão máxima apresentados no PLAMSAB (2013) e os valores obtidos a partir da nova equação IDF (SM) (equação 13)93	
4.3 Conclusões e recomendações sobre o diagnóstico do sistema de drenagem urbana do município de Santa Maria segundo o PLAMSAB (2013)	95
4.4 Verificação da viabilidade de implantação das medidas de controle da drenagem na fonte no perímetro urbano de Santa Maria - RS.....	97
4.4.1 Grupos hidrológicos de solo urbano de Santa Maria - RS	97
4.4.2 Medidas de controle mais apropriadas para o município	104
4.5 Conclusões e recomendações com relação a viabilidade das medidas de controle da drenagem na fonte no perímetro urbano de Santa Maria - RS.....	116
5 CONCLUSÃO GERAL	119
6 RECOMENDAÇÕES	122
REFERÊNCIAS	123
LISTA DE APÊNDICES	134

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

O processo de urbanização e de expansão das cidades tem sido constante em todo o mundo nos últimos anos, porém este fenômeno tem uma representatividade maior nos países em desenvolvimento. O Brasil não é alheio a este fenômeno, sendo possível observar nas últimas décadas um acelerado processo de urbanização e crescimento significativo das cidades e da população urbana, resultando nas chamadas regiões metropolitanas (TUCCI et al., 1995).

No levantamento realizado pelo IBGE em 2010, os resultados apontam que a população urbana teve um aumento significativo, passando de 81%, observados no censo realizado em 2000, para 84%, observados no censo de 2010, ou seja, quase 160 milhões de pessoas morando em cidades (IBGE, 2014).

O padrão de desenvolvimento urbano desordenado e caótico, apresentado pelas municipalidades brasileiras nas últimas décadas, provoca, entre outras coisas, a diminuição do potencial de armazenamento natural dos deflúvios (CANHOLI, 2005; FORGIARINI, 2010). Os autores enfatizam que esta diminuição, por sua vez, resulta em perdas tanto materiais quanto humanas, além de problemas sociais devido às inundações, alagamentos e poluição dos corpos d'água.

Entre os vários fenômenos relacionados à crescente urbanização e à falta de planejamento, no que se refere ao uso e à ocupação do solo, destacam-se as profundas alterações do ciclo hidrológico com o aumento da impermeabilização; redução da cobertura vegetal; diminuição da eficácia dos sistemas de drenagem urbana; alteração da distribuição da água entre a superfície terrestre, subsolo e atmosfera, além da alteração da qualidade da água, ocasionada pelo aumento de sedimentos e carreamento de poluentes (AMARAL e BEMFICA, 2013; CANHOLI, 2013; TUCCI et al., 1995).

Em decorrência do aumento da impermeabilização, ocorre a diminuição do tempo de concentração das bacias hidrográficas na área urbana, o aumento da vazão nos corpos d'água e o aumento da velocidade do escoamento das águas superficiais em direção às calhas de drenagem. Estas alterações dos volumes e nos tempos de resposta das bacias ocasionam enchentes e inundações. Surge, assim, a necessidade de obras para a correção de problemas relacionados ao sistema de drenagem pluvial urbana.

Estas correções, na maioria das vezes, consistem simplesmente na ampliação ou canalização das redes de drenagem nos trechos que não são capazes de atender às atuais solicitações, a fim de conduzir de maneira mais rápida o excedente dos deflúvios. Esse tipo de medida, isto é, a retirada das águas de áreas urbanizadas, simplesmente resulta em uma transferência dos impactos locais para áreas a jusante, que por sua vez não terão condições de drenar de forma sustentável o acréscimo das vazões (AGRA, 2001; BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011; CANHOLI, 2005; TASSI, 2002; TUCCI, et al., 1995).

Em muitos casos, segundo os autores, as intervenções necessárias na rede de drenagem tendem a tornar-se impraticáveis em virtude dos elevados custos sociais, financeiros e eventuais limitações físicas do local. Observa-se, assim, que a abordagem utilizada para o tratamento de problemas relacionados à drenagem pluvial urbana, baseada nos conceitos clássicos ou tradicionais, não contempla soluções para a bacia hidrográfica como um todo (AMARAL e BEMFICA, 2013; CANHOLI, 2005).

Neste sentido, se fazem necessárias novas abordagens com soluções tecnológicas de drenagem e manejo das águas pluviais, que evitem a transferência do problema para jusante, resolvendo-o o mais próximo da origem ou fonte. Em várias cidades do mundo se buscam equalizar os efeitos negativos da urbanização com a utilização de medidas de controle do escoamento pluvial junto à fonte (MCF) (CANHOLI, 2013). A escala considerada para o tratamento do escoamento pluvial junto à fonte inclui lote, loteamento, condomínio, estacionamento, parques e passeios públicos (IPH/DEP, 2005).

O controle do escoamento pluvial junto à fonte inclui MCF de pequenas dimensões, localizadas o mais próximo possível do local de geração deste deflúvio (CANHOLI, 2005; RIGHETTO, MOREIRA e SALES, 2009). Ainda, segundo esses autores, deste modo ocorre uma compensação da deficiência causada pela impermeabilização e remoção da cobertura vegetal.

Para o controle do escoamento pluvial junto à fonte podem ser utilizadas diferentes abordagens, desde as técnicas compensatórias, também chamadas de técnicas alternativas de drenagem, até técnicas que aplicam o conceito de *Low Impact Development* (LID).

As técnicas compensatórias apresentam uma série de vantagens quantitativas e qualitativas em relação às soluções clássicas e tradicionais dos sistemas de drenagem urbana (BRITO, 2006). Essas técnicas buscam compensar sistematicamente os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011).

Segundo os autores, esta compensação é efetuada pelo controle da produção de excedentes de água, decorrentes da impermeabilização e evitando-se a sua transferência rápida para jusante. O objetivo principal das técnicas compensatórias é amortecer os picos de vazão e reduzir os volumes de enchentes por meio da retenção temporária em reservatórios ou por infiltração e controlar os escoamentos superficiais nas proximidades do local da precipitação (CANHOLI, 2005; TAVANTI, 2009).

O uso dos reservatórios individuais de retenção (RD) se apresenta como uma das alternativas para o controle de cheias urbanas, e a finalidade principal do RD é promover a redução do pico das enchentes pelo armazenamento temporário dos volumes escoados (TASSI, 2002). Segundo a autora, o armazenamento temporário no RD reduz o pico do hidrograma de saída a um valor igual ou menor que o existente antes da urbanização planejada, ou para valores de vazão que o sistema de drenagem a jusante seja capaz de suportar.

O uso dos RDs tem sido crescente no Brasil, sendo previsto, recomendado ou até mesmo obrigatório na legislação de diversos municípios brasileiros (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011).

Neste contexto, foi realizada, neste estudo, uma análise do Plano Municipal de Saneamento Ambiental do Município de Santa Maria - RS (PLAMSAB, 2013), com o objetivo de investigar o grau de utilização de MCF e realizar proposições de adequações a respeito da aplicabilidade dos RDs. Além dos aspectos legais, o trabalho desenvolvido considerou as características da área de estudo no que diz respeito ao tipo de solo, seu uso e ocupação, pluviometria, além de outras informações relevantes.

1.2 Objetivos

Identificar se o Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria (RS) (PLAMSAB) incorpora propostas voltadas para o controle do escoamento pluvial na fonte e de que forma elas são abordadas.

De maneira mais específica, este estudo teve como objetivos:

- Verificação da existência, no PLAMSAB, de propostas que atendam aos preceitos de medidas de controle do escoamento pluvial na fonte (MCF);
- Elaborar mapas temáticos e quadros descritivos das MCFs mais apropriadas para a área urbana do município de Santa Maria;
- Propor MCFs que sejam mais apropriadas para cada área do município, considerando as restrições de aplicação dos dispositivos;
- Relação de critérios de projeto de MCFs tais como a atualização da curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) para a cidade de Santa Maria;
- Determinar, para a área urbana do município de Santa Maria (RS), o valor da vazão específica de pré-desenvolvimento e o volume de controle necessário para dimensionamento dos reservatórios de retenção (RD).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Impactos do desenvolvimento urbano

Com a urbanização das cidades ocorre o aumento das vazões máximas em função da impermeabilização e canalização das redes de drenagem (ALLASIA, 2002). A parcela de água que antes da urbanização infiltrava no solo ou ficava retida pela vegetação e escoava lentamente pela superfície do solo, após a urbanização passa a escoar pelos condutos, resultando num aumento do escoamento superficial (TUCCI et al., 1995).

Diversos autores indicam que o processo de urbanização altera de forma significativa os processos de escoamento natural da bacia hidrográfica, proporcionando assim o aumento do volume das águas pluviais escoadas superficialmente, desencadeando o aumento das vazões, a diminuição da recarga subterrânea, a degradação da qualidade da água e a geração de sedimentos, entre outros (AGRA, 2001; CANHOLI, 2013; RIGHETTO, MOREIRA e SALES, 2009; TAVANTI, 2009, VILLANUEVA et. al., 2011).

Em face do constante e acelerado desenvolvimento do meio urbano e dos seus impactos, é necessário um maior controle e planejamento da ocupação do solo, de maneira a propiciar o desenvolvimento sustentável dos municípios e reduzir os impactos decorrentes da urbanização (ACIOLI, 2005).

Nesta situação, ao longo da história, diversas soluções têm sido propostas para o controle dos problemas desencadeados pelo processo crescente de urbanização das municipalidades.

Para prevenir ou solucionar esses problemas, surgem as medidas de controle das inundações. Essas medidas podem ser classificadas em função da natureza do controle, da abrangência espacial, da atuação sobre o ciclo hidrológico, entre outros (AGRA, 2001).

2.2 Medidas de controle das inundações

As medidas de controle das inundações são classificadas em medidas estruturais, que correspondem às obras de engenharia (quando o homem modifica o rio); e medidas não estruturais (quando o homem convive com o rio), as medidas estruturais podem ser implantadas com a finalidade de corrigir ou até mesmo prevenir os problemas ocasionados pelas enchentes; já as medidas não estruturais buscam prevenir ou reduzir os danos e as consequências das inundações (TUCCI et al., 1995; CANHOLI, 2005).

Canholi (2005) enfatiza que, às vezes, as soluções para prevenir/solucionar as enchentes abrangem ambos os grupos de medidas (estruturais e não estruturais) em complementaridade. Assim, esses conceitos não são totalmente distintos no que se refere à sua classificação.

Um exemplo de medida não estrutural e que age em complementaridade com medida estrutural são os instrumentos legais. Normalmente, por meio destes instrumentos legais são fornecidos critérios para a instalação de medidas estruturais que devem garantir o comprimento dos valores de vazão específica de pré-desenvolvimento.

2.3 Classificação das medidas de controle

As medidas de controle podem ser classificadas de acordo com a localização de sua aplicação segundo Canholi (2013). Essas medidas têm a seguinte classificação:

- Medidas de controle regionais;
- Medidas de controle locais;
- Medidas de controle na fonte.

As medidas de controle regionais e locais são classificadas como medidas de controle de jusante em função do posicionamento relativo de suas estruturas na bacia urbana. Já as medidas de controle na fonte são implantadas de maneira disseminada na bacia urbana, e buscam controlar o escoamento superficial o mais próximo possível da fonte geradora (CANHOLI, 2013). Ainda segundo autor, é importante ressaltar que, muitas vezes, a classificação dos sistemas de drenagem depende do referencial em que se está trabalhando.

2.4 Medidas de controle na fonte

O termo controle da drenagem na fonte inicialmente foi utilizado para fazer uma distinção entre o sistema de drenagem das águas pluviais que controlam os escoamentos pluviais gerados o mais próximo possível da sua fonte geradora, em oposição a bacias de retenção de maiores portes construídos a jusante da rede de drenagem (FLETCHER et al., 2014).

De forma pragmática, pode-se definir como drenagem na fonte a drenagem instalada em um lote, condomínio, estacionamento, parques e passeios públicos (IPH/ DEP, 2005). A adoção de medidas de controle da drenagem junto à fonte tende a proporcionar a reaproximação entre o urbanismo e às águas urbanas (SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012).

A implantação destes dispositivos tem a finalidade de minimizar os impactos negativos ocasionados em decorrência do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica (RIGHETTO, MOREIRA e SALES, 2009). Em algumas situações, em razão da alta taxa de impermeabilização do solo da bacia hidrográfica e das suas consequências, chega-se a um determinado ponto em que a única solução ambientalmente aceitável é a utilização do controle do escoamento pluvial na fonte (ACIOLI, 2005).

O controle na fonte possui caráter estrutural, pois as formas de controle do escoamento necessitam que sejam implantadas obras complementares para o desvio e manutenção das vazões (TASSI, 2002).

Os dispositivos de controle das águas pluviais junto à fonte mais comuns são os que fazem uso de infiltração ou evapotranspiração como, por exemplo, trincheiras de infiltração, bacias de infiltração, sistemas de biorretenção, jardins de chuva, e valas de infiltração (FLETCHER et al., 2008). Esses dispositivos têm potencial para modificar o balanço hídrico e, conseqüentemente o escoamento superficial (HAMEL, DALY e FLETCHER, 2013).

Segundo Urbonas e Strahre (1993) a eficiência das MCF que fazem uso de infiltração ou percolação esta diretamente relacionada as características do solo local, deste modo em função do grupo hidrológico do solo é possível saber se essas MCF podem ser implantadas ou não em uma determinada localidade.

Também é comum no controle das águas pluviais junto à fonte a utilização de sistemas de armazenamento temporário, como por exemplo, reservatórios de detenção (FLETCHER et al., 2008). Os reservatórios de detenção (RD), ou microrreservatórios domiciliares (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011), apresentam como principal finalidade promover a redução do pico das enchentes. Essa redução é obtida pelo armazenamento temporário dos volumes escoados (TASSI, 2002).

Além de serem utilizados para amortecer o escoamento adicional gerado pela impermeabilização do solo, os RDs instalados na fonte, podem ser usados em conjunto com outros usos domésticos, como irrigação de jardim, lavagens de piso e demais usos que requeiram águas menos nobres (TUCCI et al., 1995). Para que o RD atue com dupla função (amortecimento de cheias e reserva de água para abastecimento), a concepção e critérios do seu projeto devem estar adequados a essa dupla função (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011).

O controle do escoamento das águas pluviais com a utilização de dispositivos de controle na fonte apresenta algumas vantagens e desvantagens, porém permite um melhor aproveitamento do sistema de condução do fluxo a jusante (CANHOLI, 2005). Segundo Urbonas e Stahre (1993), as vantagens e as desvantagens dos dispositivos de controle na fonte são:

- Redução das vazões máximas a jusante;
- Redução do tamanho dos condutos;
- Aumento da recarga do aquífero;
- Preservação da vegetação natural;

- Redução da poluição transportada para os rios;
- Impermeabilização do solo de algumas áreas pela falta de manutenção;
- Aumento do nível do lençol freático, atingindo construções em subsolo.

A preservação da infiltração e evapotranspiração consistem em manter as condições mais próximas possíveis das condições naturais na bacia hidrográfica (URBONAS e STAHLRE, 1993). A figura 1 fotos A e B exemplificam a utilização de MCFs implantadas para o controle do escoamento pluvial.



Figura 1. Foto A) Uso de biorretenção em via pública para o controle do escoamento pluvial na fonte. Fonte: wsud.org (2014). Foto B). Uso de biorretenção em lote para o controle do escoamento pluvial na fonte. Fonte: jordancove.uconn.edu (2014).

No Brasil, o Ministério das Cidades recomenda a adoção de MCF por entender que a adoção destas técnicas tende a proporcionar um manejo sustentável das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2012b), ainda segundo o Ministério das Cidades, a adoção de MCF proporciona a preservação do ciclo hidrológico natural, a partir da redução do escoamento superficial adicional gerado pelas alterações da superfície do solo consequentes do desenvolvimento urbano.

Além do Ministério das Cidades a utilização de MCF para a drenagem urbana é recomendada pela Fundação Nacional de Saúde (Funasa) por intermédio do Termo de Referencia para a Elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico (TdR-Funasa) (BRASIL, 2012a).

2.5 A evolução do sistema de drenagem urbana

A evolução do sistema de drenagem pode ser caracterizada por três fases, sendo elas, higienista, compensatória e de sistemas de baixo impacto (ALLASIA, TASSI e GONÇALVES, 2012; SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012).

2.5.1 Sistema higienista

Os preceitos higienistas de drenagem de águas pluviais e águas servidas que surgiram no século XIX sugerem a rápida evacuação das águas das áreas urbanas, fazendo uso de condutos, preferencialmente subterrâneos, e que funcionam por gravidade (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011). Esse sistema é fundamentado na eficiência da drenagem baseada na capacidade de condução do escoamento superficial aos sistemas receptores (BURNS et al., 2012).

A adoção desta prática era preconizada como medida de saúde pública, já que o afastamento das águas nocivas proporcionaria a eliminação dos problemas derivados da falta de saneamento, como doenças de veiculação e vetores (TAVANTI, 2009; SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012). Sob esta óptica, o sistema de drenagem urbana, alicerçado nos preceitos higienistas, foi por muitos anos extremamente positivo para o desenvolvimento das cidades e da sua população, contribuindo assim de forma positiva num dado momento da história.

Tendo como premissa os conceitos do movimento higienista do século XIX, a grande maioria dos lotes e edificações das áreas urbanas passou a adotar soluções para as questões da drenagem das águas pluviais, fundamentadas nos preceitos do conceito higienista (OHNUMA JÚNIOR, 2008).

Assim, segundo Ohnuma Júnior (2008), todas as novas edificações no meio urbano eram projetadas de modo a facilitar o rápido escoamento das águas precipitadas para o mais longe possível de sua área de captação.

Salvo algumas exceções, muitas municipalidades brasileiras ainda empregam o sistema de drenagem higienista, embora seja sabido nos dias atuais que este sistema não trabalhe em sua plenitude de eficiência na depuração e desencadeia alterações significativas no ciclo hidrológico (POMPÊO, 2000; SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012; CANHOLI, 2013).

Segundo Pompêo (2000) e Canholi (2013), o sistema de drenagem das águas pluviais, fundamentado nos preceitos do conceito higienista, amplia consideravelmente o pico de descarga superficial, aumenta o volume do escoamento superficial, aumenta a duração e frequência de inundações e diminui a recarga subterrânea e a evaporação. Assim, a abordagem higienista das águas pluviais basicamente reflete em dois aspectos (CANHOLI, 2005):

- A transferência do problema para áreas de jusante, ocasionando a necessidade de novas obras de ampliação do sistema e com custos normalmente elevados;
- A falsa sensação de segurança na população com respeito às inundações, resultando em significativos prejuízos para a sociedade.

As soluções propostas pelo conceito higienista em muitas vezes conduzem a situações irreversíveis, que limitam outros usos no presente ou no futuro. Por exemplo, a construção de uma galeria impossibilita a inserção dos cursos d'água na paisagem urbana, ou mesmo a prática de atividades esportivas e de lazer junto a este (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011).

Na tentativa de corrigir grande parte das deficiências apresentadas pelo sistema de drenagem das águas pluviais, fundamentadas nos preceitos do conceito higienista, os métodos compensatórios de manejo de águas pluviais na última década passaram a ser adotados em algumas municipalidades brasileiras, como Porto Alegre, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e São Paulo (CANHOLI, 2013).

2.5.2 Métodos compensatórios ou alternativos

Por volta dos anos 1970 surge outra abordagem para tratar os aspectos de drenagem urbana. O novo conceito foi denominado de “tecnologias alternativas” ou “compensatórias” de drenagem (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011). Essas novas abordagens também são chamadas de medidas não convencionais, pelo fato de se diferenciarem das estruturas tradicionais de canalização e favorecem a reservação (CANHOLI, 2005).

Este novo conceito busca neutralizar os efeitos da urbanização com relação aos processos hidrológicos, resultando em benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011). A figura 2 exemplifica de forma esquemática os conceitos de reservação e canalização.

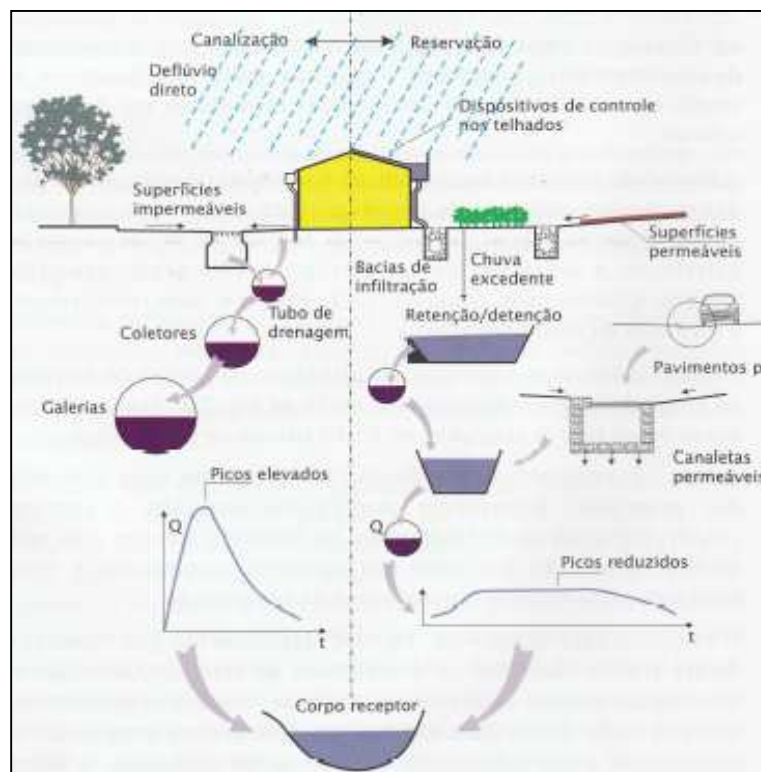


Figura 2. Ilustração esquemática dos conceitos de reservação e canalização. Fonte: Canholi (2005).

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud, (2011), as técnicas compensatórias são classificadas como não estruturais e estruturais, sendo:

- Técnicas compensatórias não estruturais: (legislação, racionalização do uso do solo urbano, educação ambiental e tratamento de fundo de vale);
- Técnicas compensatórias estruturais: (trincheiras de infiltração, valas, valetas, pavimentos permeáveis/ reservatórios, poços de infiltração, bacias de retenção/ retenção/ infiltração e técnicas adaptadas à parcela).

Sendo as bacias de retenção ou retenção são as medidas compensatórias mais utilizadas. Esses dispositivos apresentam diferentes escalas, permitindo assim a utilização desde um lote ou até mesmo em nível regional. O princípio em que se baseiam as bacias é a retenção temporária do volume excedente, com liberação lenta deste volume, proporcionando assim, o amortecimento do pico de cheia (CANHOLI, 2013). A figura 3 exemplifica o uso de uma bacia de retenção instalada na região de São Mateus (SP).



Figura 3. Exemplo do uso de bacia de retenção (Reservatório Aricanduva 5), instalada na região de São Mateus (SP). Fonte: hidrostudio.com.br (2014)

Quando comparadas ao sistema higienista, as técnicas compensatórias são consideradas um avanço, porque consideram os impactos decorrentes da urbanização de forma global, adotando a bacia hidrográfica como base de estudo, visando compensar de forma sistemática os efeitos gerados pela urbanização (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011).

A visão multidisciplinar e sistêmica do problema, que é empregada pelas medidas compensatórias, garante a diminuição do volume escoado após a urbanização, a manutenção do tempo de concentração da bacia hidrográfica, o controle das velocidades de escoamento, a manutenção da qualidade da água e a captação e uso para fins não potáveis da água de chuva, entre outros (CANHOLI, 2013).

Quando bem concebidas, as técnicas compensatórias contribuem diretamente para o ganho na qualidade de vida nas cidades, com a recuperação e a preservação do meio ambiente, indo ao encontro das condições necessárias para o desenvolvimento sustentável em áreas urbanizadas (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011).

Desta forma, as técnicas compensatórias atuam no zoneamento e desestimulam a impermeabilização do solo; e além de um controle quantitativo das águas pluviais, podem proporcionar um ganho qualitativo destas águas.

2.5.3 Desenvolvimento urbano de baixo impacto (LID)

Atualmente, novas abordagens, muito mais abrangentes e que levam em consideração o papel do solo e da vegetação no controle quali-quantitativo das águas pluviais, estão sendo adotadas no desenvolvimento urbano. Entre essas abordagens, segundo Urrutiaguer et al. (2010) apud Baptista, Nascimento e Barraud (2011, p. 27), destacam-se os conceitos “*Sustainable Urban Drainage Systems*” (SUDS), no Reino Unido, o “*Water Sensitive Urban Design*” (WSUD), na Austrália, e o “*Low Impact Development*” (LID), na América do Norte.

Pelo fato de que todas essas abordagens são perfeitamente compatíveis e congregam as técnicas compensatórias em suas soluções (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011), principalmente quando instaladas na fonte, algumas técnicas compensatórias também são consideradas LID.

De modo particular, as abordagens e aplicações do conceito LID têm sido muito observadas em regiões dos Estados Unidos, Canadá e Europa. Esta abordagem, quando devidamente empregada, é capaz de atender aos critérios estabelecidos em certificações ambientais para edificações (SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012).

No Brasil, o conceito LID é traduzido como sendo o Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (BRASIL, 2006). No que se refere ao manejo das águas pluviais, o conceito LID, pode ser entendido como o uso de uma série de técnicas de controle do escoamento próximo à sua fonte geradora e que favorecem a infiltração, o armazenamento, a filtragem, a evapotranspiração e a detenção (LID CENTER, 2014).

Basicamente, o conceito LID consiste na preservação do ciclo hidrológico natural, baseado na redução do escoamento superficial adicional gerado pelas alterações da superfície do solo, decorrentes do desenvolvimento urbano (BRASIL, 2012b). Com as abordagens LID, o controle e a gestão dos impactos em decorrência do desenvolvimento urbano são realizados, não somente pela utilização de técnicas estruturais, mas principalmente pela educação pública e as peculiaridades locais (TAVANTI, 2009).

O grande diferencial do conceito LID, com relação às demais técnicas utilizadas para o controle do escoamento pluvial, encontra-se na integração com outros setores de interesse da sociedade via planejamento da bacia hidrográfica e aplicação de dispositivos de manejo integrado, na busca por realizar perturbação mínima de processos naturais (SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012). Como exemplo dessas abordagens, o LID Center (2014) destaca:

- Áreas de biorretenção;
- Os telhados verdes;
- Pavimentos permeáveis;
- Barris de chuva;
- Cisternas de águas pluviais.

Estas alternativas são econômica e ambientalmente mais viáveis e com uma relação custo-benefício muito maior quando comparadas aos sistemas de drenagem tradicionais (LID CENTER, 2014; TASSI, 2002).

A figura 4 exemplifica algumas das utilizações de LID, a foto A exemplifica o uso de biorretenção, a foto B exemplifica o uso de telhado verde. A foto C exemplifica o uso de barril de chuva, a foto D exemplifica o uso de pavimento permeável.



Figura 4. Exemplos de utilizações de LID. Foto A. Biorretenção, instalada em estacionamento em Massachusetts (EUA). Fonte: mass.gov (2014). Foto B. Telhado verde, instalado em Washington (EUA). Fonte: epa.gov (2014). Foto C. Barril de chuva instalado. Fonte: epa.gov (2014). Foto D. Pavimento permeável, instalado na Austrália. Fonte: wsud.org (2014).

Segundo o LID Center (2014), a principal proposta dessa tecnologia é gerenciar as chuvas na fonte com o uso de controles em microescala, de forma descentralizada e uniformemente distribuída. Estas abordagens LID atuam diretamente no gerenciamento e no controle do escoamento das águas pluviais, buscando imitar as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento local (TAVANTI, 2009).

O LID se caracteriza como um planejamento mais sustentável da drenagem urbana. Com esta técnica, busca-se uma recuperação das funções do ciclo hidrológico, alteradas no processo de ocupação urbana (FORGIARINI, 2010), por dar grande ênfase na utilização de ecossistemas naturais como infraestrutura, por meio de conservação e aproveitamento de características da vegetação e do solo local (SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012).

As estratégias LID no manejo das águas pluviais, além de proporcionarem o controle do pico da vazão, do volume, da frequência, da duração e da qualidade do escoamento, agregam ganhos ambientais, paisagísticos e econômicos (SOUZA, 2005).

O Ministério das Cidades tem estimulado nos últimos anos a utilização de práticas voltadas ao manejo das águas pluviais em meio urbano, que incluem tanto as abordagens com técnicas compensatórias, quanto as abordagens com princípio LID (BRASIL, 2012b). Tal estímulo é enfatizado para o seu uso na elaboração dos Planos de Saneamento Básico e, mais especificamente, em Planos de Drenagem Urbana (BRASIL, 2012a).

2.6 Modelo atual de gestão dos recursos hídricos no Brasil

No Brasil, atualmente, o tema água é regulamentado pela Constituição Federal nos artigos 20 (inciso III), 21 (inciso XIX) e 22 (inciso IV). No artigo 21 (inciso XIX) ficou estabelecido como competência da União instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (CASTRO, 2012).

Segundo Castro (2012), para estabelecer este sistema e oferecer resposta aos problemas socioambientais observados no passado, uma nova estrutura institucional foi criada nos anos 1990. Esta estrutura teve como ponto culminante a aprovação da Política Nacional de Recursos Hídricos contida na Lei nº 9.433, de janeiro 1997, mais conhecida como Lei das Águas.

Este novo marco regulatório foi estabelecido com base em instrumentos de controle e de comando (planos de bacia, autorização para captação e uso da água, classificação dos cursos de água e sistemas de informação), além de incentivos econômicos para o uso racional dos recursos hídricos (cobrança pelo uso da água e compensações financeiras) (CASTRO, 2012). Ainda segundo o autor, a criação do SINGREH incluiu:

- O Conselho Nacional de Recursos Hídricos e o Ministério do Meio Ambiente (MMA);
- O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama);
- A Agência Nacional de Águas (ANA);
- Os conselhos estaduais de recursos hídricos (CERHs);

- Os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e dos municípios;
- Os comitês de bacia;
- As agências de água estaduais com competências relacionadas com a gestão de recursos hídricos.

2.6.1 Gestão hídrica nos estados brasileiros

A principal mudança a partir da nova institucionalidade de gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil (década de 1990) foi a descentralização da gestão dos recursos hídricos que teve como objetivo dividir a responsabilidade da tomada de decisão sobre esta temática entre a União e os governos estaduais e municipais (CASTRO, 2012).

Além disso, a partir da década de 1980, foi consolidada no mundo a discussão de novo modelo de desenvolvimento que apresenta como princípio central o conceito de sustentabilidade (CASTRO, 2012). Ainda segundo autor, é justamente no contexto desta agenda, de descentralização e sustentabilidade, que os estados brasileiros passaram a tratar e redefinir seus arcabouços jurídicos e institucionais na temática dos recursos hídricos.

2.6.2 Aspectos legais sobre a destinação das águas pluviais no Brasil

No Brasil, segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2011), seja nas esferas federal, estadual e municipal, não há uma base regulamentar específica e voltada à temática do emprego de técnicas compensatórias ou LID para o manejo das pluviais urbanas.

Ainda nestas esferas não faltam leis com relação aos principais problemas relacionados ao setor de manejo das águas pluviais; assim, cabe primordialmente aos municípios fiscalizar e ordenar o desenvolvimento urbano e seus impactos; já as esferas federal e estadual podem auxiliar nesta fiscalização (FORGIARINI, 2010).

A Lei Federal nº 10.257, de 10 de agosto de 2001 (Estatuto da Cidade), se mostra como uma importante ferramenta de gestão urbana e apresenta instrumentos de política urbana com grande potencial para o emprego como meio de controle dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e os recursos hídricos (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011).

Esta lei aponta uma profunda preocupação com as questões urbanísticas e com direito à cidade sustentável, cabendo um destaque a seu caráter social (TAVANTI, 2009). O referido Estatuto define que todas as municipalidades com mais de 20 mil habitantes devem ter planos diretores municipais (FORGIARINI, 2010).

Posteriormente ao Estatuto das Cidades, foi publicada, em 2007, a Lei nº 11.445 que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Com a promulgação desta lei foi alterado profundamente o arcabouço legal e se abriram novas perspectivas institucionais para a concepção e gestão das águas pluviais (BAPTISTA, NASCIMENTO e BARRAUD, 2011).

2.6.3 Aspectos legais sobre a captação de água de chuva no Brasil

Um tipo de medida especial e que se enquadra nas medidas de controle na fonte são as medidas de captação e aproveitamento de água de chuva.

O aproveitamento de água de chuva nas regiões metropolitanas tem se configurado como sendo uma solução para os problemas relacionados às frequentes inundações em áreas urbanizadas, como também uma promissora alternativa para a solução de problemas relacionados à escassez de água para o abastecimento humano (CARVALHO, OLIVEIRA e MORUZZI, 2007).

No Brasil, Veloso e Mendes (2013) apresentaram um levantamento dos atos normativos que estão em vigência ou em tramitação para posterior vigência, relacionados ao desenvolvimento de políticas públicas de utilização de água de chuva com as finalidades de:

- Prevenção de enchentes;
- Conservação de recursos hídricos;
- Fomento do uso racional da água.

Com base no estudo de Veloso e Mendes (2013) e restringindo a uma discussão no âmbito municipal, foi feito um estudo comparativo sobre quais leis municipais das cidades relacionadas pelos autores contemplam a prevenção de enchentes e/ou a conservação de recursos hídricos associada ao fomento do uso racional da água.

As experiências legislativas destes municípios brasileiros foram reagrupadas, e a temática prevenção de enchentes foi definida como sendo a retenção das águas pluviais como prevenção de enchentes (R). A temática conservação de recursos hídricos, associada ao fomento do uso racional da água, foi definida como sendo o aproveitamento das águas pluviais, como uso racional da água e conservação de recursos hídricos (A).

Já para as situações quando ocorre tanto a temática de prevenção de enchentes como a temática de conservação de recursos hídricos associada ao fomento do uso racional da água, foi definida como sendo as medidas de retenção das águas pluviais como prevenção de enchentes conexas ao aproveitamento das águas pluviais como uso racional da água e conservação de recursos hídricos (R/A). As experiências legislativas dos municípios estão divididas e apresentadas da seguinte maneira:

- Quadro 1. Apresenta as experiências da Região Sul do Brasil;
- Quadro 2. Apresenta as experiências da Região Sudeste do Brasil;
- Quadro 3. Apresenta as experiências da Região Nordeste do Brasil;
- Quadro 4. Apresenta as experiências da Região Norte do Brasil.

Destaque relevante deve ser dado ao artigo 4º do Decreto nº 18.611/14, do município de Porto Alegre (RS). Este artigo regulamenta que as condições de pré-ocupação no lote ou no parcelamento do solo devem ser mantidas; desta forma, toda ocupação que resulte em superfície impermeável não poderá resultar em uma vazão máxima específica de saída para a

rede pública de águas pluviais maior que 20,80 l/(s.ha). O quadro 1, apresenta as experiências da Região Sul do Brasil.

Cidade	Principais contribuições	(R)	(A)	(R/A)
Curitiba (PR) Decreto N ^o 293/06	Para o licenciamento de construções no Município, fica obrigatório que no projeto de instalações hidráulicas seja prevista a implantação de mecanismo de captação das águas pluviais, nas coberturas das edificações, as quais deverão ser armazenadas para posterior utilização em atividades que não exijam o uso de água tratada.		X	
Maringá (PR) LEI N ^o 6.574/04	Serão implantadas cisternas nas praças do Município, com a finalidade de captar as águas pluviais e aproveitá-las para a limpeza dos próprios municipais e aguagem dos canteiros e jardins públicos.		X	
Ponta Grossa (PR) Decreto N ^o 7.673/13	Deverá ser instalado um sistema que conduza toda água captada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos ao reservatório. A água contida pelo reservatório deverá preferencialmente infiltrar-se no solo, podendo ser despejada na rede pública de drenagem após uma hora de chuva ou ser conduzida para outro reservatório para ser utilizada para finalidades não potáveis.			X
Porto Alegre (RS) Decreto N ^o 18.611/14	Toda nova ocupação urbana deverá considerar a aplicação do conceito de desenvolvimento urbano de baixo impacto, por meio da implantação de técnicas que privilegiem a infiltração e a reservação das águas pluviais. A água precipitada sobre o terreno não pode ser drenada diretamente para ruas, sarjetas ou redes de drenagem.	X		
<p>Legenda:</p> <p>(R): retenção das águas pluviais como prevenção de enchentes;</p> <p>(A): uso racional da água e conservação de recursos hídricos;</p> <p>(R/A): prevenção de enchentes conexas ao aproveitamento das águas pluviais como uso racional da água e conservação de recursos hídricos.</p>				

Quadro 1 – Experiência legislativa dos municípios da Região Sul do Brasil.

Um aspecto interessante, observado no quadro 2, está no fato de que a lei municipal da cidade de Guarulhos (SP) sugere que o Poder Executivo Municipal tenha o papel de desenvolver projetos de construção de reservatórios de captação de água de chuva com baixo custo, além de formar agentes multiplicadores da tecnologia para garantir à população de baixa renda a instalação do equipamento.

Cidade	Principais contribuições	(R)	(A)	(R/A)
São Paulo (SP) LEI Nº 13.276/02	Deverá ser instalado um sistema que conduza toda água captada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos ao reservatório. A água captada deverá preferencialmente infiltrar-se no solo, podendo ser despejada na rede pública de drenagem após uma hora de chuva ou ser conduzida para outro reservatório para ser utilizada para fins não potáveis.			X
Matão (SP) LEI Nº 4.520/12	Deverá ser instalado um sistema que conduza a água captada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos ao reservatório. O excesso da água captada deverá preferencialmente infiltrar-se no solo, podendo ser despejada na rede pública de drenagem ou ser conduzida para outro reservatório para ser utilizada para fins não potáveis. Ajudar a conter as enchentes, represando parte da água que teria de ser drenada para galerias e rios.			X
Guarulhos (SP) LEI Nº 6.511/09	Adotar medidas que disciplinem, obriguem e fiscalizem a implantação de reservatórios para a captação de águas advindas de chuva e/ou de drenagem nas novas edificações da cidade. Promover a conscientização dos usuários quanto à importância do uso racional da água potável para a vida das presentes e futuras gerações e incentivar o seu uso racional combatendo o desperdício.		X	
Legenda: (R): retenção das águas pluviais como prevenção de enchentes; (A): uso racional da água e conservação de recursos hídricos; (R/A): prevenção de enchentes conexas ao aproveitamento das águas pluviais como uso racional da água e conservação de recursos hídricos.				

Quadro 2 – Experiência legislativa dos municípios da região Sudeste do Brasil.

No quadro 3 observa-se que o município de João Pessoa (PB) possui duas leis distintas sobre o assunto.

Cidade	Principais contribuições	(R)	(A)	(R/A)
Recife (PE) LEI N ^o 18.011/14	Adoção de medidas que reduzam o escoamento das águas pluviais provenientes dos lotes na rede de drenagem, mediante o aumento da infiltração do solo, bem como a contenção, captação ou aproveitamento das águas pluviais, com o fim de minimizar os riscos de inundação.			X
Salvador (BA) LEI N ^o 7.893/10	Para o licenciamento de construções no Município, fica obrigatório que no projeto de instalações hidráulicas seja prevista a implantação de mecanismo de captação de águas pluviais nas coberturas das edificações, as quais deverão ser armazenadas para posterior utilização em atividades que não exijam o uso de água tratada.		X	
João Pessoa (PB) LEI N ^o 10.479/05	Em todos os lotes que tenham área impermeabilizada superior a 300m ² deverão ser executados reservatórios para acumulação de águas pluviais como condição para obtenção do Certificado de Conclusão ou Auto de Regularização. A água contida pelo reservatório deverá infiltrar-se no solo, podendo ser despejada na rede			X
João Pessoa (PB) LEI N ^o 12.166/11	Cria o sistema de uso de água de chuva, objetivando a instalação de reservatórios para captação e utilização de água pluvial para uso não potável em todos os novos empreendimentos.		X	
Fortaleza (CE) LEI N ^o 10.051/13	Fica obrigada a instalação de reservatórios e captadores de água da chuva nos postos de combustíveis e quaisquer estabelecimentos que possuam sistema de lavagem de veículos.		X	
<p>Legenda:</p> <p>(R): retenção das águas pluviais como prevenção de enchentes;</p> <p>(A): uso racional da água e conservação de recursos hídricos;</p> <p>(R/A): prevenção de enchentes conexas ao aproveitamento das águas pluviais como uso racional da água e conservação de recursos hídricos.</p>				

Quadro 3 – Experiência legislativa dos municípios da Região Nordeste do Brasil.

No quadro 4 é possível notar que o único município da região norte do Brasil que possui alguma lei a respeito deste assunto é o município de Manaus (MA).

Cidade	Principais contribuições	(R)	(A)	(R/A)
Manaus (MA) LEI N ^o 1.192/07	A água das chuvas poderá ser captada nas edificações e encaminhada a um reservatório para ser utilizada, após tratamento adequado, em atividades que não requeiram o uso de água potável.		X	
Legenda: (R): retenção das águas pluviais como prevenção de enchentes; (A): uso racional da água e conservação de recursos hídricos; (R/A): prevenção de enchentes conexas ao aproveitamento das águas pluviais como uso racional da água e conservação de recursos hídricos.				

Quadro 4 – Experiência legislativa do município da Região Norte do Brasil.

A grande maioria das municipalidades aqui observadas possui suas legislações voltadas à captação e ao aproveitamento das águas pluviais. Outras delas até fazem menção quanto à retenção com a finalidade de controle de enchentes, porém, dentre todas as observadas, a única que trata com exclusividade a temática da retenção das águas pluviais como prevenção de enchentes é a lei do município de Porto Alegre.

2.7 Parâmetros para dimensionamento de medidas de controle na fonte

A prática de dimensionamento de projetos de obras pluviais de pequeno porte normalmente demanda métodos simples e confiáveis para não tornar complexo um estudo de

alternativas que, em algumas vezes pode agregar um arranjo com diferentes medidas de controle na fonte (SILVEIRA e GOLDENFUM, 2007).

Apesar de cada medida de controle ter sua metodologia de dimensionamento própria e específica, elas têm em comum a necessidade de uma série de informações que irão orientar o projetista, inclusive sobre a metodologia mais adequada para cada região da cidade.

Entre as informações necessárias, encontra-se a vazão de pré-desenvolvimento, o volume de controle, a equação de chuvas intensas, o uso da terra e o tipo de solo, além da disponibilidade de espaço físico para a implantação dos dispositivos.

2.7.1 Vazão de pré-desenvolvimento

A vazão de pré-desenvolvimento corresponde às condições mais próximas da situação natural, ou seja, antes da implementação do empreendimento ou estrutura que afetou o ciclo hidrológico do local (ALLASIA, TASSI e GONÇALVES, 2012). Na aplicação de sistemas de drenagem urbana por meio de medidas compensatórias ou LID é requerido que após o desenvolvimento urbano esta vazão seja mantida (AMARAL e BEMFICA, 2013).

Para a estimativa desta vazão, um estudo hidrológico deve ser realizado; no entanto, como isso pode impactar no custo de pequenas obras, opta-se geralmente pela utilização de um valor genérico ou de uma metodologia simplificada para toda a cidade, ou para uma região da cidade.

Nesse sentido, é necessário estabelecer critérios simples que sejam aplicáveis de forma geral na área urbana do município, sem prejuízo do seu controle e simplificando a sua eventual regulamentação (TUCCI, 2000). É normal que na legislação ou plano de uso e ocupação de solo de uma cidade, ou, eventualmente no marco regulatório do Saneamento Básico, se contemple esta regulamentação.

Nas municipalidades brasileiras, é possível observar uma grande diferença entre as exigências legais de implantação de dispositivos de controle do escoamento pluvial na fonte,

em cidades como Porto Alegre, São Paulo e Curitiba, por exemplo, não existe um critério único para a determinação dos volumes de reservação (AMARAL e BEMFICA, 2013).

Nota-se também que a vazão máxima de saída para a rede pública é estimulada apenas nas legislações de Porto Alegre, Curitiba, Brotas e do Distrito Federal, exigência esta de extrema importância para que se possa assegurar o efetivo controle do escoamento pluvial excedente e manter as condições de pré-desenvolvimento (AMARAL e BEMFICA, 2013).

Amaral e Bemfica (2013) realizaram uma comparação entre as legislações de cidades brasileiras e concluíram que os critérios adotados dividem-se em três grandes grupos. No primeiro grupo, o volume do dispositivo de controle é obtido com equações de durações críticas de chuva de maneira a maximizar os volumes; no segundo grupo, utiliza-se uma formulação com uma chuva padrão com duração fixa de uma hora e aplica-se um coeficiente de abatimento; no terceiro grupo, as legislações definem um volume fixo de reservação por m² de área que exceda à taxa máxima de impermeabilização admitida ou por m² de área total do lote.

2.7.2 Chuvas intensas

Para o dimensionamento de obras de drenagem urbana e de manejo das águas pluviais é necessário o conhecimento dos valores precisos das chuvas intensas (TUCCI, et al., 1995; MELLO et al., 2003). Normalmente esses são obtidos com base nas relações intensidade-duração-frequência (IDF), para os locais que possuem registros pluviográficos com séries longas.

Nas localidades onde há escassez de dados pluviográficos ou pequenos períodos de observação, se faz necessária a utilização de métodos analíticos para que se possa estimar a intensidade máxima de precipitações de projeto (BACK, 2009).

No Brasil, entre os métodos mais utilizados nestas situações, destacam-se aqueles que se baseiam nas relações entre precipitações de diferentes durações para desagregar a chuva máxima diária em uma chuva de duração inferior a esta (método das relações entre durações) (BACK, 2009; BERTONI e TUCCI, 2000).

A aplicabilidade do método das relações entre durações é ainda mais evidenciada em razão da existência de um grande número de pluviômetros com série longa, distribuídos em grande parte do território nacional (BERTONI e TUCCI, 2000).

No entanto, alguns resultados controversos têm sido discutidos na literatura. Por exemplo, Costa e Rodrigues (1999) indicam que, com base na regionalização, para a relação entre durações proposta por Torrico (1974), é possível encontrar diferenças de 7,5 a 54% nos valores de intensidade da chuva estimada, em relação às aquelas que seriam obtidas com o emprego das equações IDF. Oliveira et al. (2000), comparando as estimativas de chuvas obtidas por meio da desagregação da chuva, utilizando as relações apresentadas pela CETESB (1986), com aquelas obtidas com equações IDF, encontraram erros relativos abaixo de 15%.

No município de Santa Maria (RS), por meio dos dados pluviográficos obtidos na Estação Experimental da Secretaria de Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, atual FEPAGRO, Belinazo (1991) determinou a equação genérica (equação 1), que representa a relação intensidade-duração-frequência (IDF) para este município.

Esta estação está localizada no Distrito de Boca do Monte, na cidade de Santa Maria (RS). Para a elaboração da equação 1, o autor utilizou os dados de chuva do período de 1963 a 1988.

$$I = \frac{807,801 \times Tr^{0,1443}}{(t + 5,67)^{0,742 \times TR^{-0,0280}}} \quad (1)$$

sendo I a intensidade da chuva em mm.h^{-1} ; Tr o período de recorrência do evento chuvoso em anos; e t a duração da chuva intensa, em minutos.

Em estudo realizado neste mesmo município, Roman et al. (2015) verificaram que o método das relações entre durações produz resultados bastante semelhantes aos obtidos com base na IDF local (equação 1). Os autores obtiveram a relação entre durações, obtida em cada ano, com base nos dados observados na mesma estação utilizada por Belinazo (1991). Com base nesses valores, foram obtidas as relações entre durações médias para o período de 1963 a 1988, corroborando com o período de dados utilizados para o desenvolvimento da IDF desta localidade.

Baseados nestas análises, os autores verificaram que o método da relação entre durações produz resultados muito semelhantes aos obtidos na IDF, principalmente quando utilizados os tempos de retorno (Tr) de 2, 5 e 10 anos, independentemente das durações subsidiárias escolhidas.

Em 75% destes resultados, apresentados por Roman et al. (2015), as diferenças relativas entre a precipitação gerada com base na relação entre duração e a precipitação gerada diretamente com base na equação IDF estão entre 10,7% e 16,2%. Isto pode ser considerado um valor pequeno, uma vez que os erros entre as estimativas são, em geral, menores que os erros associados ao próprio processo de obtenção do dado de chuva, erros que podem ser observados em OMM (1994).

Os resultados deste estudo mostram que, no caso de Santa Maria (RS), quando comparado o método da relação entre durações com as IDFs obtidas de dados observados, desde que utilizados os mesmos dados (mesmo pluviógrafo e período), não existem diferenças significativas nas estimativas dos volumes de chuva, corroborando com os estudos apresentados por Oliveira et al. (2000).

No entanto, cabe destacar que, mesmo que a relação das metodologias seja equivalente, a equação IDF (equação 1) tem 26 anos de antiguidade (1963 até 1988). Nesse sentido, surge a necessidade de atualização desta equação, para que assim os valores das intensidades de chuva obtidos por meio da IDF atualizada possam ter uma representatividade melhor para o dimensionamento dos projetos hidráulicos deste município.

Neste estudo, o conhecimento dos valores das intensidades de chuva se faz necessário para a correta determinação tanto do valor da vazão específica de pré-desenvolvimento quanto para a determinação do volume de controle dos dispositivos de drenagem na fonte para o município de Santa Maria (RS), além de colaborar para os demais dimensionamentos que se farão necessários para os dispositivos de manejo das águas pluviais do município, diante das propostas apresentadas no volume III do PLAMSAB 2013. No apêndice A encontra-se uma cópia da publicação de Roman et al. (2015), que faz parte das publicações derivadas desta dissertação.

2.7.3 Tipo e uso do solo

Os estudos pautados nas problemáticas ambientais em áreas urbanas revelam-se como desafios para grande parte da comunidade científica (ALVES, 2012), o conhecimento do tipo

e do uso do solo é de grande importância para as tomadas de decisões por parte do gestor público. Deste modo a classificação dos solos nas áreas urbanas possui grande importância na organização das informações sobre essa temática (PEDRON et al., 2012), principalmente com relação ao seu potencial de utilização e limitações.

Segundo Alves (2012), variados usos e coberturas da terra tornam a análise do ciclo hidrológico cada vez mais complexa, e conseqüentemente dificultam a produção de informações no que se refere ao comportamento do escoamento superficial, que são imprescindíveis no processo de apropriação urbana do espaço.

Outro fator de grande relevância para a produção de informações, referente ao comportamento do escoamento superficial, está relacionado ao tipo de solo da região de interesse. Deste modo, o conhecimento do tipo e uso do solo tende a auxiliar no planejamento urbano, informações com relação ao grupo hidrológico do solo são fundamentais para o correto planejamento da expansão urbana e a definição de leis de uso e ocupação do solo mais adequado as características locais.

Alves (2012) elaborou o mapa dos grupos hidrológicos de solos do perímetro urbano de Santa Maria (RS), baseado na reclassificação dos tipos de solo, realizada por Dalmolin e Pedron (2009). A classificação dos solos na área urbana do município de Santa Maria realizada por Dalmolin e Pedron (2009), indicou a presença de solos do tipo Neossolos, Planossolos, Argissolos e Gleissolos, como consequência desta variação de solo ocorre uma grande variedade de potenciais de uso e ocupação do solo desta região.

Também a partir do estudo realizado por Alves (2012) com relação aos grupos hidrológicos de solos do perímetro urbano, é possível indicar em nível de planejamento, quais as áreas desta localidade possuem uma maior aptidão para a implantação de medidas de controle da drenagem na fonte (MCF).

Solos do grupo hidrológico A, B, por exemplo, apresentam grande aptidão para receberem MCF que façam uso de infiltração e percolação para a disposição das águas pluviais, por outro lado, nos locais com solos do grupo hidrológico D, não é recomendado a implantação de MCF que façam uso de infiltração e ou percolação.

2.8 Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria (PLAMSAB)

Com a publicação da Lei nº 11.445/2007 (Lei do Saneamento Básico), tornou-se obrigatória a elaboração da Política e do Plano de Saneamento Básico por parte dos municípios. A referida lei define o saneamento básico como sendo o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais relativos aos processos de:

- i. Abastecimento de água potável;
- ii. Esgotamento sanitário;
- iii. Manejo de resíduos sólidos;
- iv. Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

A Lei nº 11.445/2007 é regulamentada pelo Decreto nº 7.217/2010, que prorrogou o prazo de entrega dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB), inicialmente para 2010, para o final de 2013.

O § 2º do artigo 26 do Decreto nº 7.217/2010 determina que a partir do exercício financeiro de 2014, o acesso a recursos da União, quando destinados a serviços de saneamento básico, estão condicionados à existência do PMSB

Por meio do Decreto nº 8.211/2014, novamente o prazo de entrega do PMSB foi prorrogado para o exercício financeiro de 2016, passando a valer a data final de entrega dos planos para 31 de dezembro de 2015 (TRATA BRASIL, 2014).

Seis anos após a Lei do Saneamento Básico ter sido sancionada, os resultados observados em nível nacional ainda são insatisfatórios. Observando as maiores cidades brasileiras, apenas 12% delas entregaram o PMSB com todos os requisitos da lei, necessários para a formulação dos planos e a regulação dos serviços; 54% entregaram o plano contemplando pelo menos um dos requisitos exigidos; e 34% não entregaram o PMSB (TRATA BRASIL, 2014).

O município de Santa Maria (RS) não possuía um PMSB que contemplasse uma visão integrada dos componentes como água, esgoto, drenagem e resíduos sólidos. Neste sentido, a Prefeitura contratou, por meio de licitação pública e com recursos do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), os serviços de elaboração do Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria (PLAMSAB) (PMSM, 2013).

A elaboração deste plano ficou a cargo do consórcio AGBAR – QUÍRON, formado pela Sociedad General de Aguas de Barcelona S.A. e a Quíron Serviços de Engenharia Ltda e

foi entregue e apresentado ao município em 28 de novembro de 2013 e, posteriormente, encaminhado e submetido ao debate na Câmara de Vereadores com a comunidade.

Segundo o Termo de Referência do PLAMSAB, o objetivo geral do Plano é proporcionar a melhoria da qualidade de vida da população do município por meio de um planejamento integrado das ações de saneamento básico (PMSM, 2014).

O PLAMSAB é composto de cinco volumes, dos quais o de número 3, objeto deste estudo, contempla o sistema de drenagem urbana e é apresentado em 186 páginas.

Em linhas gerais, o PLAMSAB contempla o diagnóstico da prestação dos serviços e das condições de saúde, salubridade e meio ambiente, além da definição dos programas e ações compreendendo as seguintes linhas de atuação:

- Diagnóstico do sistema atual;
- Proposta de Modelo de Gestão;
- Estudo de Alternativas de Financiamento;
- Estrutura para a Regulamentação dos Serviços.

Para facilitar a leitura da análise do PLAMSAB, uma descrição mais detalhada é realizada dentro do capítulo de resultados desta dissertação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O município limita-se ao norte com as cidades de São Martinho da Serra, Itaara, Júlio de Castilho e Silveira Martins; ao sul, limita-se com os municípios de Formigueiro, São Sepé e parte do município de São Gabriel; a leste, limita-se com o município de Restinga Seca; a oeste, limita-se com os municípios de Dilermando de Aguiar, São Pedro do Sul e parte do município de São Gabriel (figura 5).

O último Censo demográfico realizado no ano de 2010 apontou que o município de Santa Maria possui uma população de 261.031 habitantes, distribuídos em uma área de 1.778,121 km² (IBGE, 2014), sendo que do total do contingente populacional, 96% reside na área urbana do município (GOMES, 2013).

Segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil 2013, do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), a renda per capita média de Santa Maria cresceu 82,43% nas últimas duas décadas, passando de R\$ 617,91, em 1991, para R\$ 843,18, em 2000, e para R\$ 1.127,25, em 2010 (PNUD, 2013).

Santa Maria, juntamente com o Rio de Janeiro, ocupa o segundo maior contingente militar do Brasil, sendo também conhecida como “Cidade Universitária”, visto que o município apresenta grande destaque no que se refere ao ensino e constitui um sistema universitário da região central do estado, proporcionando assim uma atração semestral de estudantes que ingressam nos cursos técnicos, tecnológicos e ensino superior além de pós-graduação e especialização (NUNES e KARNOPP, 2013).

Em função do potencial de formação em ensino superior e pós-graduação nas ciências da saúde ofertadas pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Hospital Universitário (HUSM), o município proporciona uma série de atendimentos diversificados em clínicas e consultórios, ambulatórios, hospitais públicos e privados, constituindo-se em um

centro de convergência dos municípios de toda a região central além dos municípios da fronteira do Rio Grande do Sul (NUNES e KARNOPP, 2013).

Compreendido no seu limite municipal, Santa Maria esta dividida em dez distritos, sendo eles: 1º Distrito: Sede Municipal com 129,45 km²; 2º Distrito: São Valentim; 3º Distrito: Pains; 4º Distrito: Arroio Grande; 5º Distrito: Arroio do Só; 6º Distrito: Passo Verde; 7º Distrito: Boca do Monte; 8º Distrito: Palma; 9º Distrito: Santa Flora; 10º Distrito: Santo Antônio. A figura 5 apresenta o perímetro urbano de Santa Maria (RS).

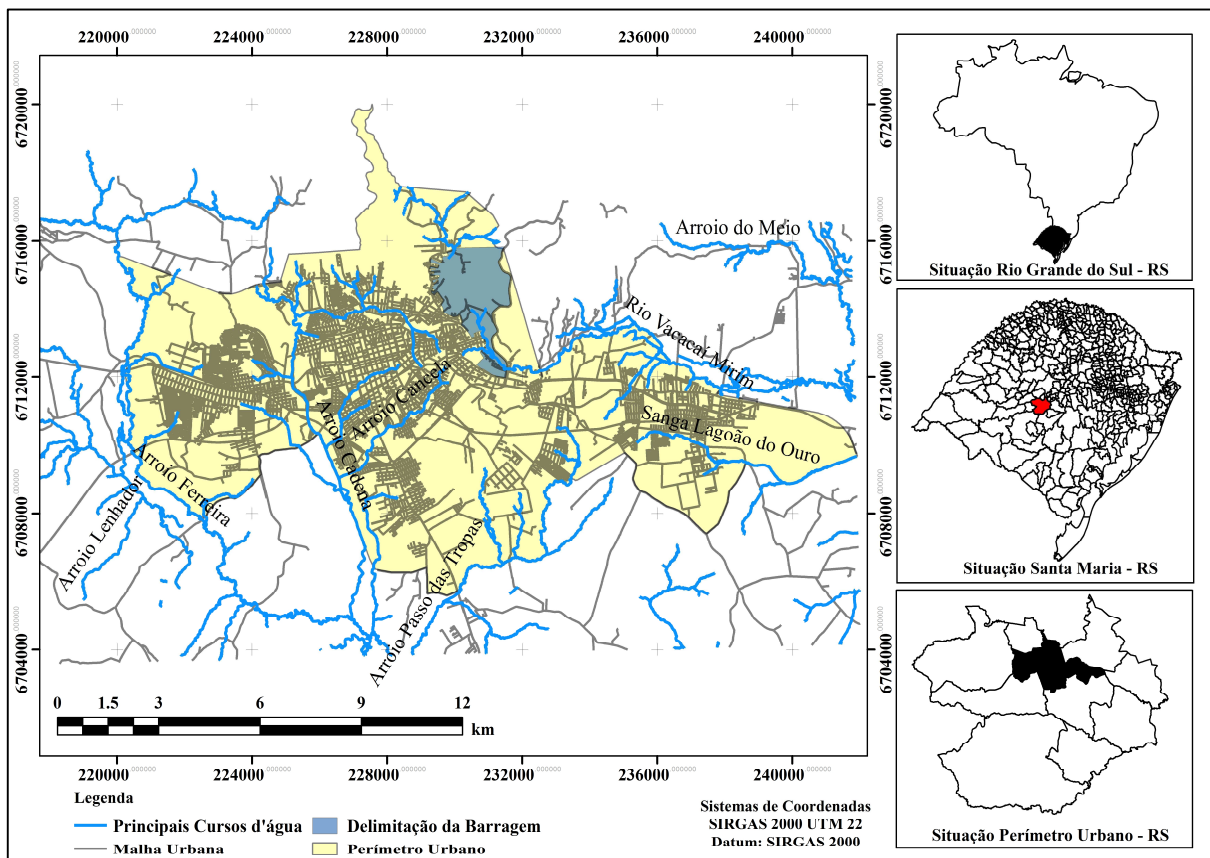


Figura 5. Perímetro urbano de Santa Maria (RS).

O 1º Distrito, Sede Municipal, foi definido como unidade de análise deste estudo. Esta escolha foi fundamentada na Lei Complementar nº 33 (lei de uso e ocupação do solo, parcelamento, perímetro urbano e sistema viário do município de Santa Maria) e na Lei

Complementar n° 34 (política de desenvolvimento urbano e sobre o plano diretor de desenvolvimento urbano ambiental do município de Santa Maria) ambas de 29 de dezembro de 2005. As Leis complementares definem que o 1° Distrito é a representação do perímetro urbano de Santa Maria, e que o perímetro urbano, contempla as áreas já urbanizadas e as áreas sujeitas a expansão urbana e parcelamento do solo para urbanização. O quadro 5 apresenta os dados climatológicos do município de Santa Maria.

Dados Climatológicos do Município de Santa Maria									
Mês	Temp. máxima registrada (°C)	Temp. máxima média (°C)	Temp. média (°C)	Temp. mínima média (°C)	Temp. mínima registrada (°C)	Chuva (mm)	Dias com chuva (≥ 1 mm)	Umidade relativa (%)	Horas de sol
Jan.	39,3	30,4	24,2	19,1	9,4	163	9	71	225,2
Fev.	40,2	30	23,9	19,5	9,4	127,2	8	76	196,7
Mar.	39	28,2	21,9	17,9	5,9	136,2	8	79	184,9
Abr.	36,6	25	18,4	14,5	3	121,4	6	80	168,7
Mai.	33,2	22,1	15,9	11,8	0,1	127,5	8	82	151,3
Jun.	31	19,2	13,9	9,3	-2,6	139,3	8	81	125
Jul.	32	19,6	14,1	9,5	-2,9	144,9	9	80	133,1
Ago.	34	20,3	14,2	10,4	-1,2	142,1	9	78	141,4
Set.	36,6	22,5	16,5	11,3	0,2	124,3	8	78	160,7
Out.	37,8	24,8	18,6	13,5	3,4	128,2	8	73	206,8
Nov.	40	27,3	21	15,9	5,8	120,5	7	71	223,3
Dez.	40,2	29,5	23,3	18,3	7,2	142,2	8	69	244,7
Ano	40,2	24,9	18,8	14,3	-2,9	1.616,8	96	76,5	2.161,8

Quadro 5 - Normal climatológica de do município de Santa Maria (1961 a 1990). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia INMET.

A partir da classificação de Köppen, Heldwin et al. (2009), identificaram que Santa Maria apresenta um clima subtropical úmido e com verões quentes, as estações secas não são definidas e o município é uma das cidades mais quentes do estado do Rio Grande do Sul, isso segundo os autores, ocorre principalmente em função da baixa altitude registrada nesta região.

A temperatura média do mês mais frio apresenta valores entre 13°C e 15°C e média das mínimas entre 8°C e 10°C. As temperaturas médias anuais apresentam valores entre 16°C e 20°C. A temperatura média do mês mais quente é superior a 24°C, a média das máximas apresenta valores que variam entre 28°C e 32°C e as máximas absolutas podem chegar a 39°C (PLAMSAB, 2013).

Em relação à umidade relativa do ar, esta é elevada praticamente durante o ano todo, condicionando assim um clima úmido e com precipitações distribuídas durante os doze meses do ano (HELDWIN et al., 2009). O regime pluviométrico em Santa Maria apresenta valores médios mensais entre 120,1 mm (novembro) e 126,8 mm (agosto) e 159 mm (setembro a outubro) com uma média total anual de 1.712 mm (GOMES, 2013), evidenciando assim que não à uma estação seca definida no município. A figura 6 apresenta o Modelo Digital de Elevação do distrito sede de Santa Maria.

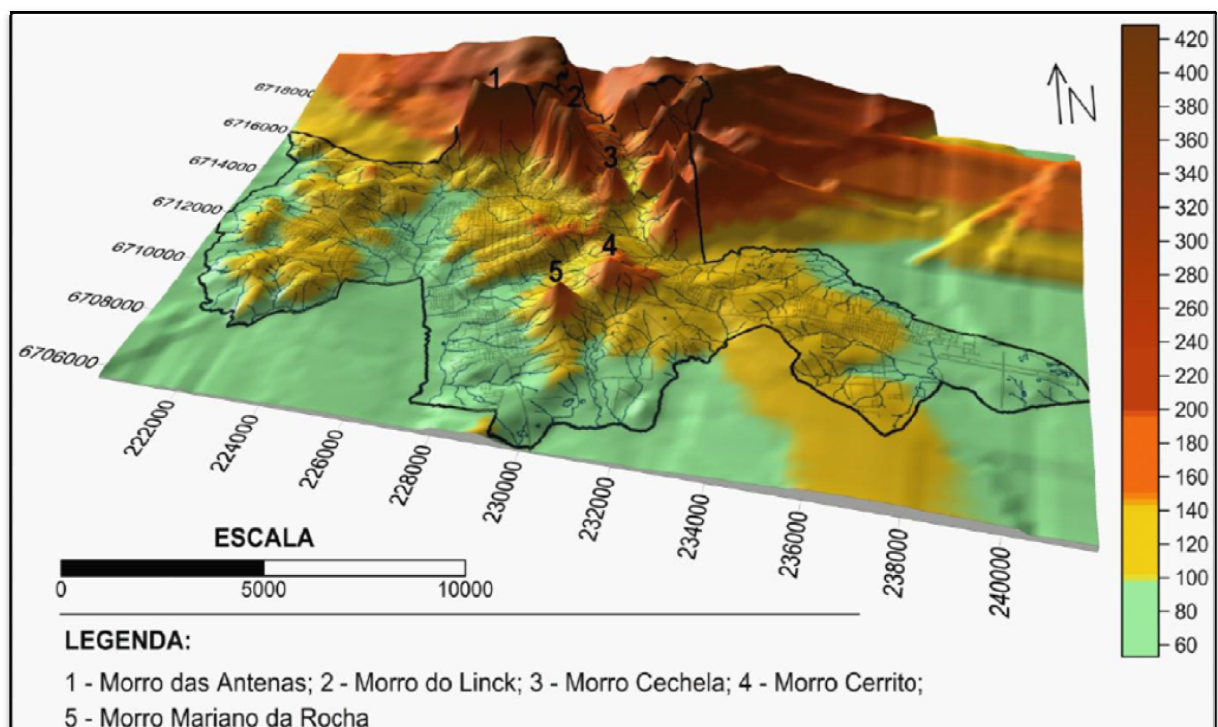


Figura 6. Modelo Digital de Elevação do perímetro urbano de Santa Maria (RS) (*) Fonte: Da Fonseca Pires e Dal'asta. (2011, p.282).

Santa Maria está localizada em uma região de transição de relevo compreendida entre a depressão periférica sul-riograndense e o planalto da bacia do Paraná (PIPPI et al., 2009). Assim, segundo os autores o município apresenta áreas correspondentes à formação campestre (bioma Campos Sulinos) e à formação florestal (bioma Mata Atlântica).

No encontro entre as duas unidades de relevo, observa-se o rebordo do planalto, marcado por áreas de relevos profundamente dissecados, constituídos por escarpas e morros-testemunhos (camadas de rochas vulcânicas da formação serra geral), intercalados por arenitos eólicos (formação Botucatu) e fluviais (formação Caturrita). A área do município possui grande quantidade de cursos d'água e que forma uma área sedimentar com considerável número de planícies aluviais, cabendo destacar as várzeas do arroio Cadena (Oeste) e do rio Vacacaí- Mirim (Leste e Sul) (PIPPI et al., 2009).

A amplitude altimétrica do perímetro urbano de Santa Maria é de 372 metros, na proporção norte encontra-se o Morro das Antenas, o seu topo com 432 metros acima do nível do mar é o ponto mais alto do distrito Sede de Santa Maria. No extremo sul da área urbana junto ao Arroio Passo das Tropas, encontra-se o ponto mais baixo com altitude de 60 metros (DA FONSECA PIRES e DAL'ASTA. 2011). Segundo os autores, quase 85% do perímetro urbano situa-se em altitudes inferiores a 150 metros do nível do mar, o relevo característico desta área apresenta-se suavemente ondulado, com declividades menores que 15%, marcado pela presença de colinas e planícies aluviais, com predomínio de inclinações menores que 2%.

3.1.1 Características dos cursos d'água no perímetro urbano de Santa Maria - RS

No perímetro urbano de Santa Maria se encontram as bacias do Arroio Cadena e Vacacaí-Mirim que são as mais significativas em abrangência de área, e juntas representam mais de 73% da área total urbana e drenam as porções norte, centro, leste e sul. As porções oeste e sudeste são drenadas pelos afluentes da margem direita do Arroio Ferreira e da margem esquerda do Arroio Passo das Tropas (GOMES, 2013). As características das principais bacias hidrográficas do perímetro urbano de Santa Maria estão representadas no quadro 6.

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Ordem	Comprimento total dos canais	Nº de canais de 1º ordem/ Magnitude	Densidade de drenagem
Arroio Cadena	48,96	5ª	112,94 km	95	2,30 km/km ²
Arroio Vacacaí Mirim	46,48	5ª	133,09 km	113	2,86 km/km ²
Arroio Ferreira	20,04	4ª	63,73 km	56	3,18 km/km ²
Arroio Passo das Tropas	15,45	4ª	51,66 km	45	3,34 km/km ²

Quadro 6 - Características das principais bacias hidrográficas (*) Adaptado de Dal'asta (2009, p.80).

Santa Maria possui no seu perímetro urbano uma grande densidade de cursos de drenagem natural das águas pluviais. Segundo PLAMSAB (2013), grande parte dos cursos d'água presente na área urbano do município se encontra canalizada, e com crescente degradação. Esse fato esta diretamente associado ao aumento da urbanização e a falta de planejamento no que se refere ao uso e a ocupação do solo urbano.

A figura 7 foto A apresenta a degradação e o acúmulo de sólidos em um dos trechos da Sanga Lagão do Ouro na zona leste da área urbana de Santa Maria.

O principal curso d'água que percorre o município de Santa Maria é o Arroio Cadena, sendo que suas nascentes (figura 7, foto B) encontram-se canalizadas e sobre esta localizado o Parque Itaimbé, (BOLFE, 2003). A canalização do canal principal do Arroio Cadena teve inicio no ano de 1968, nesta ocasião foram canalizados em galeria fechada de concreto armado um total de 1.200 metros (OLIVEIRA, 2004).



Figura 7 foto A. Degradação e o acúmulo de sólidos em trecho da Sanga Lagão do Ouro na zona leste da área urbana de Santa Maria. Fonte: Autor (2014). Figura 7 foto B. Nascente canalizada do Arroio Cadena no Parque Itaimbé. Fonte: Bolfe, (2003).

O Arroio Cadena sempre foi visto como um obstáculo para a expansão urbana, como consequência disso, grande parte do seu curso natural já sofreu modificações por meio de canalização e retificação. Algumas áreas do arroio e de sua várzea foram transformadas em área de lazer e de recreação na área central da cidade, a exemplo do próprio Parque Itaimbé (BOLFE, 2003). A partir da década de 1980, outra alteração significativa realizada no mesmo Arroio Cadena foi a retificação do seu canal principal em alto e médio cursos. Na busca por solucionar os problemas relacionados a inundações ao longo do canal, o leito foi transferido, aprofundado e retificado em seu médio curso, sendo o leito original aterrado. Porém, as obras realizadas no Arroio Cadena não resolveram os problemas de inundação e apenas transferiram os problemas locais para a sua jusante (DAL'ASTA, 2009).

3.1.2 Uso e ocupação do solo urbano de Santa Maria - RS

Em estudo realizado por Alves et al. (2011), os autores elaboram o mapa com as classes de uso e cobertura da terra no perímetro urbano de Santa Maria-RS, acrescidas das informações referentes à rede de drenagem. O quadro 7 apresenta a proporção do uso e da cobertura do solo em função da urbanização no perímetro do distrito sede.

Classes de uso e cobertura da terra	Área (ha)	(%) com a área total do perímetro urbano
Área predominantemente residencial.		
Tamanho médio dos lotes		
< 500 m ²	986,61	7,62
1000 m ²	1.621,25	12,52
2000 m ²	412,31	3,18
Áreas de comércio, serviços e instituições	460,83	3,56
Áreas industriais	76,52	0,59
Arruamentos e áreas asfaltadas	130,92	1,01
Total	3.688,44	28,49

Quadro 7 - Medidas de classes de uso e da cobertura do solo em função da urbanização (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p. 5674).

Com base nas informações apresentadas no quadro 7. É possível notar que os lotes com área média de 1.000 m² são maioria e representam cerca de 53,68% do total de 3.020,17 ha de área com uso predominantemente residenciais, já os lotes com áreas superiores a 2000 m² representam apenas 3,18 % do total da área do perímetro urbano.

A figura 8 traz a representação temática do uso e da cobertura do solo do distrito sede em função da urbanização, é possível notar com base nesta figura, uma predominância das áreas residenciais nas zonas periféricas e sub-centrais, enquanto as áreas comerciais, serviços e instituições apresentam uma predominância de ocorrência nas zonas centrais e ao longo das principais vias de tráfego no perímetro urbano.

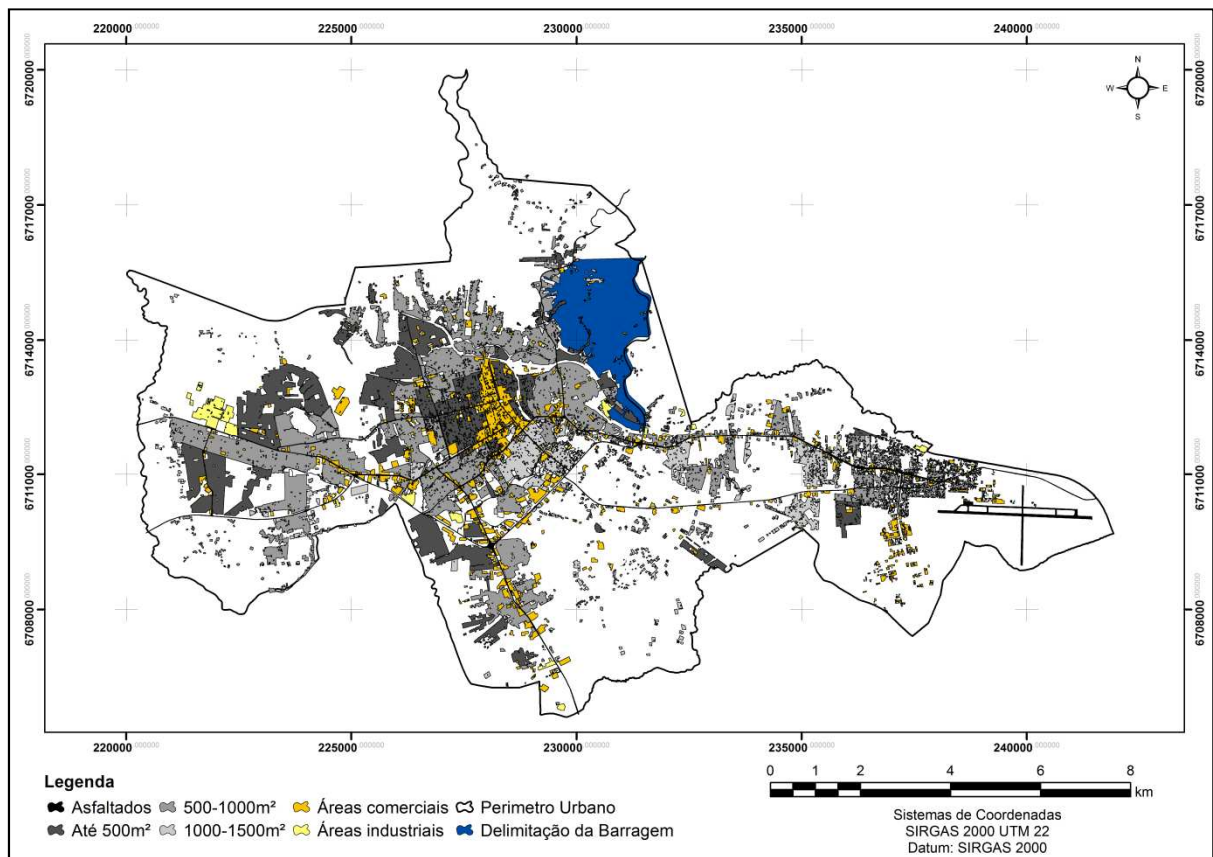


Figura 8 - Uso e da cobertura do solo em função da urbanização (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5674).

A figura 9 e o quadro 8 apresentam a cobertura do solo em função da vegetação e campos no distrito sede de Santa Maria.

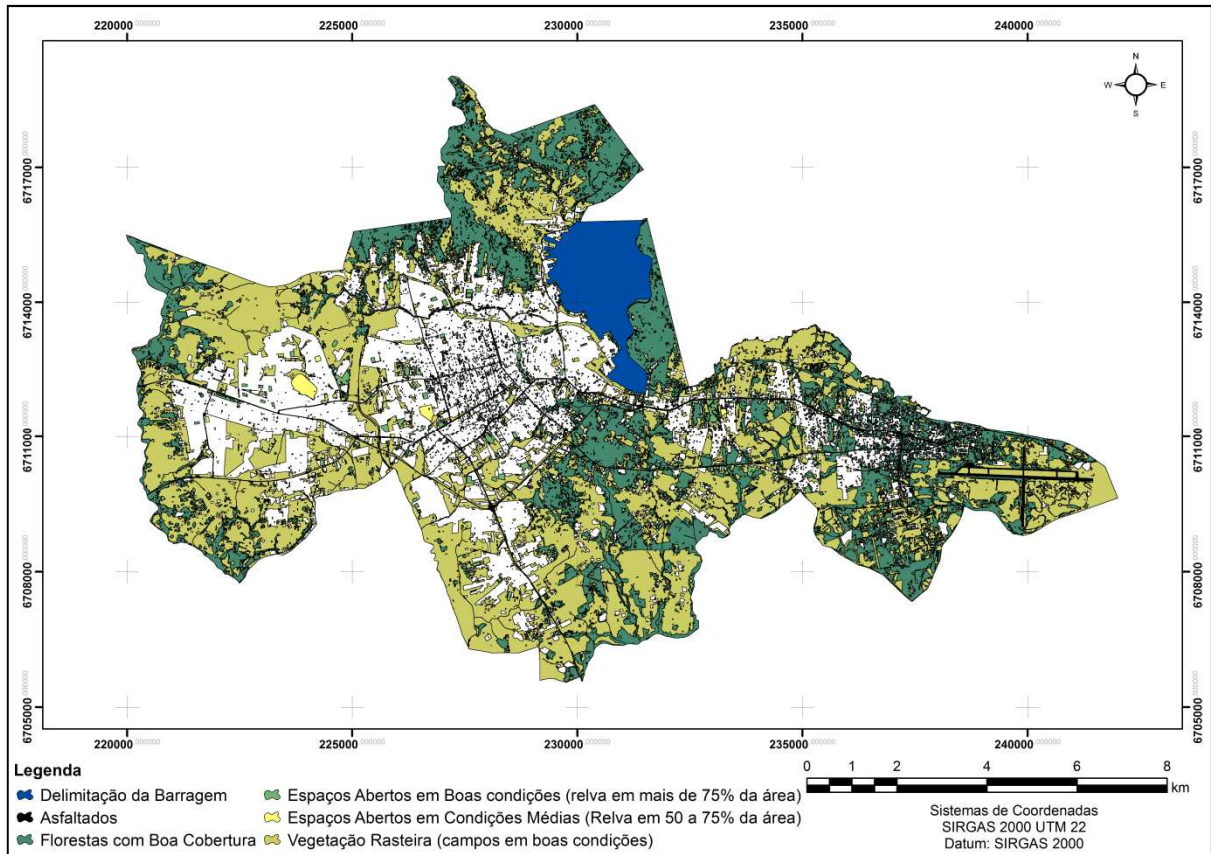


Figura 9 - Uso e da cobertura do solo em função da vegetação e campos (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5674).

Classes de uso e cobertura da terra	Área (ha)	(%) com a área total do perímetro urbano
Vegetação arbórea de cobertura boa	3.580,59	27,66
Vegetação rasteira em boas condições	5.382,49	41,57
Espaços abertos: parques, praças, cemitérios e campos de futebol:		
Em condições boas (relva em mais de 75% da área)	101,95	0,79
Em condições médias (relva em 50% a 75% da área)	40,41	0,31
Água	152,46	1,18
Total	9.257,90	71,51

Quadro 8 - Medidas de classes de uso e da cobertura da vegetação, rede de drenagem natural e reservatório (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p. 5674).

Com relação à vegetação e campos, os resultados observados a partir dos dados de apresentados por Alves et al. (2011) e representados no quando 8 e na figura 9, demonstram uma boa proporção da vegetação arbórea de boa cobertura e da vegetação rasteira (campos) em boas condições em relação a área total do perímetro urbano. Se somadas as duas áreas deste tipo de uso, eles representam 8.963,08 ha, aproximadamente 69,23% do total da área do perímetro urbano.

3.2 Resumo da Metodologia

A metodologia possui 3 etapas principais. Inicialmente foi realizada a análise das medidas de controle do escoamento pluvial propostas no PLAMSAB, estudando em que medida são atendidos os preceitos de MCF. Posteriormente foi verificada a viabilidade de diferentes MCF para a área urbana do município, considerando as restrições de cada dispositivo e as particularidades da cidade de forma a complementar as MCF propostas no PLAMSAB, além disso, foi necessário uma etapa intermediária de determinação de parâmetros hidrológicos de dimensionamento, tais como, relações IDF do município, vazão específica de pré-desenvolvimento e o volume de controle para a área urbana de Santa Maria.

3.3 Análise dos sistemas de drenagem urbana propostos no (PLAMSAB)

Para descrever a abordagem utilizada na tratativa das águas pluviais do meio urbano propostas no PLAMSAB (2013) foi realizada a leitura e revisão do volume de número III do referido Plano. A partir da leitura, foi elaborada uma análise das soluções técnicas apresentadas para a drenagem urbana do município. Assim foram identificadas quais, dentre

as propostas técnicas para a drenagem urbana apresentadas no PLAMSAB (2013), atendem aos preceitos de MCF.

Para a contratação do serviço de elaboração do PLAMSAB a Prefeitura Municipal de Santa Maria (PMSM) elaborou um Termo de Referência (TdR-SM), deste modo, foi realizada a revisão deste TdR-SM.

Paralelamente, foi feito um comparativo entre o TdR-SM, o Termo de Referência apresentado pela Funasa (TdR-Funasa) e as propostas apresentadas no PLAMSAB (2013), mais especificamente no que se refere à projeção de demandas e prospectivas técnicas mínimas no eixo de infraestrutura de águas pluviais.

As comparações dos TdR's tiveram como função verificar se eventuais deficiências do PLAMSAB se deveram a falhas na sua execução, ou nas regras que ditaram a sua elaboração.

3.4 Estimativa de parâmetros de projeto

Nesta etapa é descrita a metodologia empregada para a estimativa de parâmetros necessários para o dimensionamento de MCF's. Entre os parâmetros estimados se encontra a atualização das relações IDF do município, determinação do valor da vazão específica de pré-desenvolvimento (Q_{pd}), e o volume de controle para a área urbana de Santa Maria.

3.4.1 Atualização da relação IDF do município de Santa Maria - RS

Para a correta determinação do valor da Q_{pd} , do volume de controle e dos demais dimensionamentos de obras hidráulicas do município de Santa Maria (RS), foi realizada uma atualização das curvas intensidade-duração-frequência (IDF) desta localidade, através da

metodologia da relação entre durações (BACK, 2009; BERTONI e TUCCI, 2000). A utilização desta metodologia foi embasada em Roman et al. (2015) que mostrou que o método das relações entre durações produz resultados bastante semelhantes aos obtidos com base diretamente nos dados observados.

Assim, a partir dos dados de Belinazo (1991), foram obtidas as relações entre durações médias para o período de 1963 a 1988, que foram complementados com dados de 1989 obtidos de Eltz, Reichert e Cassol (1992) a partir da estação localizada no Distrito da Boca do Monte, na sede da FEPAGRO. Ainda, foram digitalizadas novas informações da FEPAGRO obtidas de Pavi et al. (2011), compondo assim uma série ininterrupta entre 1963 e 1998.

Também foram utilizados neste estudo, os dados obtidos e apresentados por Pfafstetter (1957) para o município de Santa Maria – RS, com um período de observação de 38 anos de leituras diárias em pluviômetro e 16 anos de leituras diárias em pluviógrafo, Pfafstetter utilizou a mesma estação localizada na sede da FEPAGRO. Vale destacar que embora não se tenha o período exato utilizado por Pfafstetter para a estimativa das IDF e, conseqüentemente, das relações entre durações, sabe-se que são anteriores à publicação em 1957.

Deste modo, é possível indicar que se possui uma série de dados de pluviógrafos de 52 anos, o que é exatamente o dobro dos 26 anos utilizados anteriormente por Belinazo (1991) na definição da IDF do município.

O simples fato da ampliação da série de dados por si só já seria capaz de justificar a atualização da IDF, baseado no que sugerem Naghettini e Pinto (2007), para não se trabalhar na faixa de extrapolação dos dados, visto que o ideal é possuir uma série com extensão de pelo menos duas vezes o Tempo de Retorno (T_r) que se quer estimar. Assim, a confiabilidade dos resultados gerados pela IDF apresentada por Belinazo (1991) se encontra na faixa dos valores de T_r de até 13 anos; portanto, com a atualização da IDF do município proposta neste estudo, a confiabilidade dos seus resultados se encontra para valores de T_r de até 26 anos.

Ainda para a atualização da IDF (SM), foram utilizados os dados de precipitação com leituras diárias do pluviômetro instalado na estação da UFSM. Estes dados foram obtidos junto ao Banco de Dados Meteorológicos para Estudos e Pesquisas (BDMEP) com leituras compreendidas entre os anos de 1961 a 2013.

A partir destes dados de pluviômetro, foram determinadas as precipitações máximas diárias com as seguintes durações: 1 dia, 2 dias, 5 dias, 10 dias, 15 dias, 20 dias, 30 dias, 45

dias e 60 dias. A esses dados foi ajustada uma distribuição probabilística de extremos e tempos de retorno (Tr) de 2, 5, 10, 15, 20, 50 e 100 anos a partir da distribuição de Gumbel do tipo I (Chow, Maidment e Mays, 1988) que já se mostrou eficiente para estimativa de extremos na região.

Em Santa Maria, Belinazo (1991), ao determinar a equação anual das chuvas intensas do município (equação 1), utilizou a distribuição de log Gumbel em função de ter sido esta a que melhor descreveu os dados observados quando estes analisados de maneira individual por tipo de dado (anual), porém segundo o próprio autor, a distribuição de Gumbel foi a que em média apresentou os melhores resultados.

Nesta mesma localidade, Eltz, Reichert e Cassol (1992), testaram para valores máximos de precipitação, as distribuições lognormal 2 parâmetros; lognormal 3 parâmetros; Pearson tipo III; logPearson tipo III; extrema tipo I e extrema tipo III, e constataram que a distribuição de extremos do tipo I (Gumbel, 1958) foi a única a apresentar resultados satisfatórios para o referido estudo.

Segundo Beijo, Muniz e Castro Neto (2005), para a obtenção dos valores das precipitações pluviométricas máximas, a teoria de valores extremos, em especial a que se refere a distribuição de valores extremos do tipo I, desenvolvida por Gumbel (1958) também conhecida como distribuição de Gumbel, distribuição tipo I de Fisher-Tippet, ou dupla exponencial, tem apresentado grande importância em vários campos da pesquisa, e tem sido usada com bastante frequência na análise estatística de variáveis relacionadas a fenômenos de comportamento meteorológicos.

Já para a obtenção dos valores de precipitação e de intensidade para as durações subdiárias (10, 20 e 30 minutos e 1, 2, 4, 6, 8 e 12 horas), foi utilizada a informação das relações entre durações médias já mencionadas.

Para expressar a nova IDF-SM, foi escolhida a equação potencial, que segundo Silveira e Goldenfum (2007) é a equação genérica mais comum no Brasil (2).

$$I = \frac{a \times Tr^b}{(t + c)^d} \quad (2)$$

sendo I , a intensidade da chuva em mm.h^{-1} ; T_r o período de recorrência do evento chuvoso em anos; e t é a duração da chuva intensa em minutos; a , b , c e d , são parâmetros de ajuste específicos para cada localidade.

A determinação dos coeficientes empíricos (a , b , c e d) da equação 2 foi realizada com a utilização *software* multi-plataforma (*Curve Expert*), versão 2.0.3 (HYAMS, 2013).

A utilização deste *software* multi-plataforma, proporcionou a análise de curvas e dados, o qual foi aplicado análises de modelos de regressão não-lineares. Os modelos de regressão não-lineares utilizam vários testes estatísticos para determinar qual é o melhor ajuste para cada coeficiente.

Após a obtenção dos coeficientes empíricos (a , b , c e d) da equação 2 foi feita a verificação de erros no ajuste através da relação apresentada na equação 3:

$$\text{erro} = \frac{\text{valor gerado por Gumbel} - \text{valor gerado pela IDF}}{\text{valor gerado por Gumbel}} \times 100 \quad (3)$$

3.4.2 Determinação do valor da vazão específica de pré-desenvolvimento (Q_{pd}).

A vazão máxima (Q) é definida como a vazão máxima de contribuição à rede de drenagem pluvial. Quando esta corresponde à situação anterior a urbanização do local, se denomina de vazão máxima natural e o seu valor pode ser expresso como vazão específica (valor da vazão dividido pela área), que neste estudo foi denominada como vazão específica de pré-desenvolvimento (Q_{pd}).

Para a definição da Q_{pd} foi fundamental estabelecer critérios simples para, além de facilitar a sua adoção, possibilitassem uma fiscalização simples por parte do gestor público do município. Apesar da possibilidade de se determinar uma Q_{pd} para cada grupo hidrológico do solo urbano do município, num primeiro momento, a adoção da Q_{pd} genérica para toda a área urbana de Santa Maria é mais vantajosa, principalmente frente à necessidade da aceitação da população.

Para se determinar o valor da Qpd para a área urbana do município de Santa Maria-RS, foi utilizada a metodologia apresentada por DEP/PMPA (2000) e Tucci (2000). Com esta metodologia, o valor da Q é obtido com a utilização do método racional expressa pela equação 4.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (4)$$

sendo, Q a vazão máxima em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, I a intensidade da chuva em $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, C o coeficiente de escoamento adimensional, A é a área da bacia em km^2 .

Para que o valor de Q seja expresso como vazão específica Qpd, foi utilizada a equação 5.

$$Qpd = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

sendo, Qpd a vazão específica de pré-desenvolvimento em $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, Q a vazão máxima em $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ e A a área da bacia em ha.

Porém, tanto para a determinação do valor da Q, como para a determinação do valor da Qpd, se fez necessária a determinação de alguns parâmetros, entre eles o limite da área da bacia (A) referente à área de contribuição da microdrenagem, a intensidade da chuva (I) e o coeficiente de escoamento (C).

Como se trata de um valor genérico para toda a cidade, DEP/PMPA (2000) sugere que para a definição do valor da Qpd, seja considerada uma bacia hidrográfica hipotética típica que apresenta as seguintes características: formato retangular; comprimento aproximadamente duas vezes a largura da bacia; área (A) de 100 ha e tempo de concentração (tc) de 1 hora.

Desta forma, foi definido como limite da área da bacia (A) referente à microdrenagem o valor de 100 ha.

Para a determinação do valor da intensidade da chuva (I) em $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$, obtido por meio da utilização das relações IDF local, foi necessário adotar valores padrões de período de recorrência do evento chuvoso em anos (Tr), e duração da chuva intensa em minutos (t).

Em relação ao tempo de recorrência, foi adotado um valor de Tr de 10 anos. Tucci (2000) enfatiza que este valor de Tr se refere ao risco adotado para o controle do escoamento

pluvial na macrodrenagem, e que este mesmo valor deve ser adotado no controle do escoamento de novos desenvolvimentos.

Tucci (2000) enfatiza que a duração t , está diretamente relacionada com o tempo de concentração (t_c) da área de captação da bacia hidrográfica. O autor ainda afirma que mesmo que se admita que a área máxima da bacia seja de 100 ha, o t_c tende a variar muito, principalmente em função do comprimento do talvegue, da declividade da bacia além de eventuais obstruções ao escoamento.

Porém, em função da necessidade de se fixar um valor para a t , afim de que se possa realizar o cálculo da Q e Q_{pd} , foi adotado neste estudo o valor de t estimado em 60 minutos para o evento de projeto que corresponde a uma situação típica numa bacia hidrográfica urbana.

Com relação ao valor do C , Tucci (2000) afirma que o valor deste parâmetro, depende de uma série de fatores como, por exemplo, a geomorfologia local, a intensidade de precipitação, as condições iniciais de umidade do solo, o tipo de cobertura e uso do solo, entre outros. O quadro 9 apresenta alguns valores do C em função das características de uso do solo.

Descrição das áreas das bacias tributárias	C
Comércio:	
Áreas centrais	0,70 a 0,95
Áreas de periferia do centro	0,50 a 0,70
Residencial:	
Áreas de uma única família	0,30 a 0,50
Multi-unidades, isoladas	0,40 a 0,60
Multi-unidades, ligadas	0,60 a 0,75
Residencial (suburbana)	0,25 a 0,40
Áreas de apartamentos	0,50 a 0,70
Industrial:	
Áreas leves	0,50 a 0,80
Áreas densas	0,60 a 0,90
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Playgrounds	0,20 a 0,35
Pátio e espaço de serviços de estrada de ferro	0,20 a 0,40
Terrenos baldios	0,10 a 0,30

Quadro 9 - Valores do coeficiente de escoamento superficial, adaptado de DNIT (2005).

Em função da grande variabilidade dos valores do C e a necessidade em se definir um valor padrão único para este parâmetro, foi adotado $C = 0,15$, como sendo o valor padrão do escoamento superficial para o cálculo da Q e Qpd.

Os valores de C se justificam, pois são capazes de proporcionar uma boa representação para as respectivas condições de pré e pós-desenvolvimento.

3.4.3 Determinação do volume de controle do escoamento pluvial

A determinação do volume para o controle do escoamento pluvial para a área urbana do município de Santa Maria - RS seguiu a metodologia apresentada pelo DEP/PMPA (2000), Tucci (2000) e Urbonas e Stahre (1993), para isso foi utilizada a equação 6.

$$V = (Q_u - Q_n) \times t \times k \quad (6)$$

sendo, V o volume a ser armazenado em m^3 , Q_u a vazão gerada após a urbanização da área de estudo (vazão de pós-desenvolvimento) em $m^3.s^{-1}$, Q_n a vazão de pré-desenvolvimento em $m^3.s^{-1}$, t a duração da chuva em minutos e k o fator de conversão das unidades e que possui valor igual a 60.

As vazões de pré e pós-desenvolvimento foram determinadas com a utilização do método racional. Os valores de coeficientes de escoamento utilizados foram definidos com base nas informações do quadro 9, sendo o valor de C para a situação de pré-desenvolvimento igual a 0,15 e para a situação de pós-desenvolvimento igual a 0,95.

A escolha dos valores de C para a situação de pré-desenvolvimento igual a 0,15 e para a situação de pós-desenvolvimento igual a 0,95 se justifica em função do fato de que estes valores são capazes de proporcionarem uma boa representação para as respectivas condições de pré e pós-desenvolvimento.

Com relação ao valor de intensidade de precipitação, este foi obtido com a utilização da equação IDF atualizada neste estudo, o tempo de duração foi obtido por interação.

A vazão de pós-desenvolvimento (Q_u) foi estimada com a utilização da equação 4, já a vazão de pré-desenvolvimento (Q_n) foi determinada com a utilização a equação 5.

Para poder analisar o volume a ser armazenado apresentado pela equação 6 em volume por unidade de área, a equação 6 foi transformada em volume específico (v) com a utilização da equação 7 segundo metodologia apresentada por Tucci (2000) e URBONAS e STAHERE (1993).

$$v = \frac{V}{A} = (0,278 \times C \times I - Q_{pd}) \times 60 \times t \quad (7)$$

sendo, v o volume específico em $m^3 \cdot ha^{-1}$.

A principal variável na determinação do valor do coeficiente de escoamento em áreas urbanas é a quantidade de áreas impermeáveis presente na bacia hidrográfica, no caso deste estudo, em um lote. Assim, pode-se estimar o coeficiente de escoamento a partir de uma média ponderada entre áreas permeáveis e impermeáveis.

Nesta situação Tucci (2000), sugere a utilização da equação 8 para se obter o valor do coeficiente de escoamento superficial.

$$C = 0,15 + 0,80 \times AI \quad (8)$$

sendo, AI a área impermeável do terreno em %.

O valor da intensidade de chuva (I) na equação 7 foi obtido com a utilização da equação 9.

$$I = \frac{a}{(t+b)^d} \quad (9)$$

Substituindo a equação 9 na equação 7, obtivemos a equação 10.

$$v = \left(\frac{0,278 \times (0,15 + 0,80 \times AI) \times a}{(t+b)^d} - Q_{pd} \right) \times 60 \times t \quad (10)$$

Os coeficientes da equação 9 foram obtidos com a utilização da equação IDF-SM atualizada neste estudo, associada a um Tr de 10 anos, resultando em: ($a = 1.267,25$; $b = 8,76$; $d = 0,7258$), o valor de pré-desenvolvimento ($Q_{pd} = 2,45$). Desta forma, a equação 10 resultou na equação 11 para o volume específico.

$$v = \left(\frac{52,84 + 281,84 \times AI}{(t + 8,76)^{0,7258}} - 2,45 \right) \times 60 \times t \quad (11)$$

A equação 11 varia em função da duração t , deste modo o volume foi obtido derivando a equação 11 e igualando a zero. A duração t foi obtida pela equação 12.

$$t = \frac{(t + 8,76)}{0,7258} \times \left[1 - \frac{2,45 \times (t + 8,76)^{0,7258}}{52,84 + 281,84 \times AI} \right] \quad (12)$$

O tempo de duração (t) foi determinado por interação para a equação 12, substituindo na equação 11, obtendo assim o volume máximo correspondente.

3.5 Viabilidade de diferentes MCF para a área urbana do município

3.5.1 Estimativa e processamento das informações para identificação de Medidas de Controle na Fonte

A análise e o processamento das informações da área de estudo, com a finalidade de verificar quais as MCF são mais apropriadas, foi realizada por meio do processamento de diferentes bancos de dados referentes à área urbana do município de Santa Maria.

Para esta análise foi utilizado os dados do artigo apresentado por Alves, Sausen e Lacruz, (2011), além da dissertação de mestrado de Alves (2012). Assim, foram consultadas as seguintes informações sobre a área urbana do município de Santa Maria:

- Cobertura da terra;
- Distribuição da cobertura vegetal;
- Grupos hidrológicos do solo;

- Potencial de escoamento superficial;
- Uso da terra.

Também foram utilizados os dados obtidos junto à Prefeitura Municipal de Santa Maria (PMSM), por intermédio do Escritório da Cidade. Estes dados estão no formato *shapefile*, que é um formato de arquivo de feições utilizado no software ArcGIS.

As demais informações necessárias sobre a topografia e a direção do escoamento superficial da área urbana de Santa Maria foram obtidas a partir da classificação de imagens de radar do programa idealizado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), denominada Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Farr e Kobrick, (2000).

Essas imagens foram obtidas na página da Embrapa Monitoramento por Satélite, onde se encontram disponíveis as imagens articuladas compatíveis com a escala 1:250.000 IBGE, (MIRANDA, 2014). Para a área de estudo foi utilizada a carta de referência SH-22-V-C, que possui resolução espacial de 90 metros.

No decorrer do estudo, com o cruzamento das informações e a elaboração dos mapas temáticos, foram criados novos bancos de dados que apresentaram informações relacionadas à área de estudo.

Todo a elaboração de mapas temáticos e o processamento das imagens foram realizados com o apoio do software ArcGIS 10.1 da ESRI. A utilização desta ferramenta possibilitou a obtenção do cruzamento das informações com maior rapidez e precisão.

3.5.2 Estimativa das Medidas de Controle na Fonte mais apropriadas para cada área do município

Considerando que as principais medidas de controle na fonte (MCF) são segundo IPH/DEP (2005) as que proporcionam:

- Aumento da infiltração por meio da utilização de dispositivos como, por exemplo, valo de infiltração, pavimentos permeáveis, plano de infiltração, entre outros.
- Armazenamento temporário do escoamento pluvial, o armazenamento pode ser realizado em pequenos reservatórios urbanos distribuídos na fonte em escala de lote, microdrenagem ou até mesmo em escala de macrodrenagem.

O conhecimento das características específicas do solo é de fundamental importância para a escolha mais apropriada das MCF, assim, neste estudo, para as MCF propostas para o município de Santa Maria (RS), foram considerados os diferentes tipos de solo em função do seu referido grupo hidrológico.

O *Soil Conservation Service* (SCS) divide os solos em quatro grupos hidrológicos, distinguidos por A; B; C e D. Segundo Allasia (2002), a classificação do SCS varia desde areias muito porosas a solos argilosos. As características das texturas dos solos segundo os grupos hidrológicos estão apresentadas no quadro 10.

Grupos Hidrológicos do Solo	Descrição do Solo	Condutividade Hidráulica (mm.h⁻¹)
Tipo A	Baixo potencial de escoamento superficial. Solos arenosos com pouco silte e argila. Solos muito arenosos.	8 - 12
Tipo B	Moderado a baixo potencial de escoamento superficial. Solos arenosos e menos profundos que os do tipo A.	4 - 8
Tipo C	Moderado a alto potencial de escoamento superficial. Solos rasos com significativa quantidade de argila.	1 - 4
Tipo D	Alto potencial de escoamento. Solos com grande quantidade de argilas expansivas e solos com camada inferior impermeável.	0 - 1

Quadro 10 - Características das texturas dos solos segundo os grupos hidrológicos (*) Adaptado de Risso et al. (2008) apud Alves, (2012, p. 43).

Segundo Urbonas e Strahre (1993) a disposição das águas pluviais por percolação não é recomendada para os solos do grupo hidrológico C, já a disposição das águas pluviais por infiltração e/ou percolação não é apropriada para os solos do grupo hidrológico D.

Deste modo, os locais onde ocorrem os solos do grupo hidrológico D as MCF que funcionam pelo princípio da percolação não são recomendadas, portanto, recomenda-se que nestes locais sejam utilizados dispositivos de armazenamento temporário. Do ponto de vista da utilização de MCF que tenham disposição por infiltração ou percolação, os solos do grupo hidrológico A e B apresentam um bom desempenho quanto à utilização destes dispositivos.

No que se refere aos grupos hidrológicos dos solos ocorrentes no perímetro urbano de Santa Maria (RS), Dalmolin e Pedron (2009) classificaram os solos desta localidade em três grupos. Posteriormente, Alves et al. (2011) reclassificaram os solos desta localidade em grupos hidrológicos B; C e D e digitalizaram essas informações sobre base georeferenciada.

Desta forma, a classificação hidrológica dos tipos de solo ocorrentes no perímetro urbano do município de Santa Maria (RS) e que foram utilizadas como parâmetro de escolha das alternativas de MCF esta apresentada no quadro 11.

Classe de Solo	Tipo de Solo
B	argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelos
C	argissolos amarelos, bruno acinzentados e planossolos de textura arenosa/argilosa
D	planossolos, neossolos litólicos e regolíticos

Quadro 11 - Classificação dos grupos hidrológicos do solo do perímetro urbano de Santa Maria-RS (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p. 5674).

Segundo Urbonas e Stahre (1993), outras características locais devem ser levadas em consideração quando da disposição de águas pluviais por infiltração e ou percolação, como por exemplo, verificação in loco da profundidade do lençol freático no período chuvoso, sendo que esta profundidade na ocasião deste período deverá ser maior que 1,20 metros abaixo da superfície infiltrante ou no caso de percolação, maior que 1,20 metros abaixo do leito de percolação.

Ponce e Hawking (1996) enfatizam, que quando o grupo hidrológico do solo associado a informação do tipo de uso e ocupação do solo, é possível obter diretamente os valores de Curva Número (CN). O método da Curva Número do SCS permite determinar de maneira simples o escoamento superficial direto em função de um único parâmetro, o CN, ao qual apresenta os seus valores tabulados (quadro 12).

Os valores de CN variam de 0 até 100, quanto maior o valor de CN, maior a quantidade do escoamento superficial direto esperado de uma determinada chuva, deste modo para um valor de CN igual a 100, é possível afirmar que não ocorre infiltração e que toda a precipitação esco superficialmente (PONCE e HAWKINS, 1996).

Tipo de uso e cobertura da terra e suas condições	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Vegetação arbórea de cobertura boa	25	55	70	77
Vegetação rasteira (campos) em boas condições	30	58	71	78
Área predominantemente residencial, tamanho médio dos lotes				
< 500 m ²	77	85	90	92
1000 m ²	61	75	83	87
2000 m ²	54	70	80	85
Áreas de comercio, serviços e instituições	89	92	94	95
Áreas industriais	81	88	91	93
Espaços abertos: parques, praças, cemitérios e campos de futebol:				
Em condições boas (relva em mais de 75% da área)	39	61	74	80
Em condições médias (relva em 50% a 75% da área)	49	69	79	84
Arruamentos e áreas asfaltadas	98	98	98	98

Quadro 12 - Valores Curva Número para bacias urbanas. Adaptada de Tucci 1993.

Os autores do PLAMSAB (2013) utilizaram os valores da Curva Numero para analisar a impermeabilidade atual do solo no perímetro urbano do município e também utilizaram os valores da Curva Numero para estabelecer uma hipótese da futura impermeabilidade do solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados os resultados da descrição dos sistemas de drenagem urbana propostos no Plano, a identificação de quais dentre as propostas atendem aos preceitos de MCF, além dos resultados obtidos no atendimento do objetivo de determinar para a área urbana do município de Santa Maria, o valor da vazão específica de pré-desenvolvimento e o volume de controle, além da atualização das relações IDF desta localidade. Também serão apresentados os resultados da análise e processamento das informações de diferentes bancos de dados, além das propostas de quais as MCF são mais apropriadas para a área urbana do município de Santa Maria - RS.

4.1 Diagnóstico do sistema de drenagem urbana do município de Santa Maria segundo o PLAMSAB (2013)

4.1.1 Microdrenagem

A estrutura de microdrenagem do município é fragmentada, e representada por poucos trechos de tubulação que, em grande parte das vezes estão presentes apenas nas partes baixas e planas do município, por esse motivo, quando ocorrem as precipitações, as águas pluviais escoam pelas ruas até atingirem estas zonas. Por consequência, este escoamento resulta na degradação do pavimento das vias, além de transtornos e insegurança para a circulação dos pedestres e dos veículos (PLAMSAB, 2013).

Ainda, com relação à infraestrutura de microdrenagem existente, esta não segue uma padronização construtiva, e juntamente com a falta de manutenção, representa um risco de acidentes à população (PLAMSAB, 2013). A figura 10, fotos A e B apresentam alguns elementos de microdrenagem do município de Santa Maria.



Figura 10 - Elementos de microdrenagem da área urbana de Santa Maria. Fonte: Autor (2014).

Segundo os autores do PLAMSAB (2013), em função dos gradientes de declividade do município, quando da ocorrência de alagamentos, estes são de pequena duração, causando desta forma, transtornos por um curto período de tempo (figura 11) o que resulta numa menor priorização de investimentos do setor público para a minimização dos alagamentos e seus respectivos efeitos.



Figura 11 - Enchente urbana na Avenida Dores em Santa Maria – FONTE: diário de Santa Maria.

Outra questão apresentada pelos autores do PLAMSAB (2013), é que grande parte dos trechos das tubulações da rede de microdrenagem sofre com o problema de rompimento de juntas, deformação dos tubos e obstrução das vazões de água.

Atualmente o município conta com uma equipe de operações de manutenção e limpeza dos sistemas de microdrenagem, composta por 20 pessoas, 3 caminhões e 3 retroscavadeiras, e a cargo da Secretaria de Infraestrutura e Serviços as equipes atuam segundo a necessidade,

após solicitação do serviço por parte da comunidade, não existindo assim um plano preventivo de manutenção e limpeza dos sistemas PLAMSAB (2013).

Segundo os autores do PLAMSAB (2013), recentemente a prefeitura de Santa Maria contratou o serviço especializado de limpeza não destrutiva da rede de microdrenagem, após a contratação deste serviço a eficiência das operações de limpeza melhoraram significativamente. Os critérios de escolha dos locais onde se utiliza o método de limpeza não destrutiva são: Histórico de enchentes; Frequência de circulação de veículos pesados; Existência de transporte coletivo, escolas, hospitais e demais serviços.

No que se refere a cadastro da rede de drenagem, em Santa Maria - RS não existe um cadastro consolidado da rede de microdrenagem, a elaboração de um cadastro único dos sistemas de drenagem em meio digital, e que este seja atualizado de maneira constante, é de extrema importância (PLAMSAB, 2013).

Para isso segundo os autores do PLAMSAB (2013), será necessário fazer um recadastramento e georreferenciamento das redes de drenagem já existem no município. Atualmente as plantas e perfis da rede de microdrenagem executados junto com as obras de asfaltamento das vias encontram-se arquivadas em diferentes divisões ligadas à Prefeitura Municipal, como por exemplo, o Escritório das Cidades, a Secretaria de Controle e Mobilidade Urbana, a Superintendência de Controle e Monitoramento de Obras (PAC), e a Secretaria de Infraestruturas e Serviços.

4.1.2 Macrodrenagem

A rede de macrodrenagem é composta por canais naturais e artificiais, sendo que os canais naturais predominam no sistema de macrodrenagem municipal de Santa Maria (PLAMSAB, 2013). A figura 12 fotos A e B apresentam as conexões entre o sistema de micro e de macrodrenagem na área urbana do município e na figura 5 (Perímetro urbano de Santa Maria) pode ser observada a rede dos principais canais naturais do município.



Figura 12 - Conexões entre o sistema de micro e de macrodrenagem na área urbana do município de Santa Maria. Fonte: Autor (2014).

Em função da ocupação das margens dos arroios e das sangas, além da deposição de resíduos de todo o tipo nestas áreas, ocorrem problemas de inundações no município. Estão representadas na figura 13 e no quadro 13 as características dos pontos problemáticos atuais na rede de macrodrenagem do município segundo o PLAMSAB (2013).

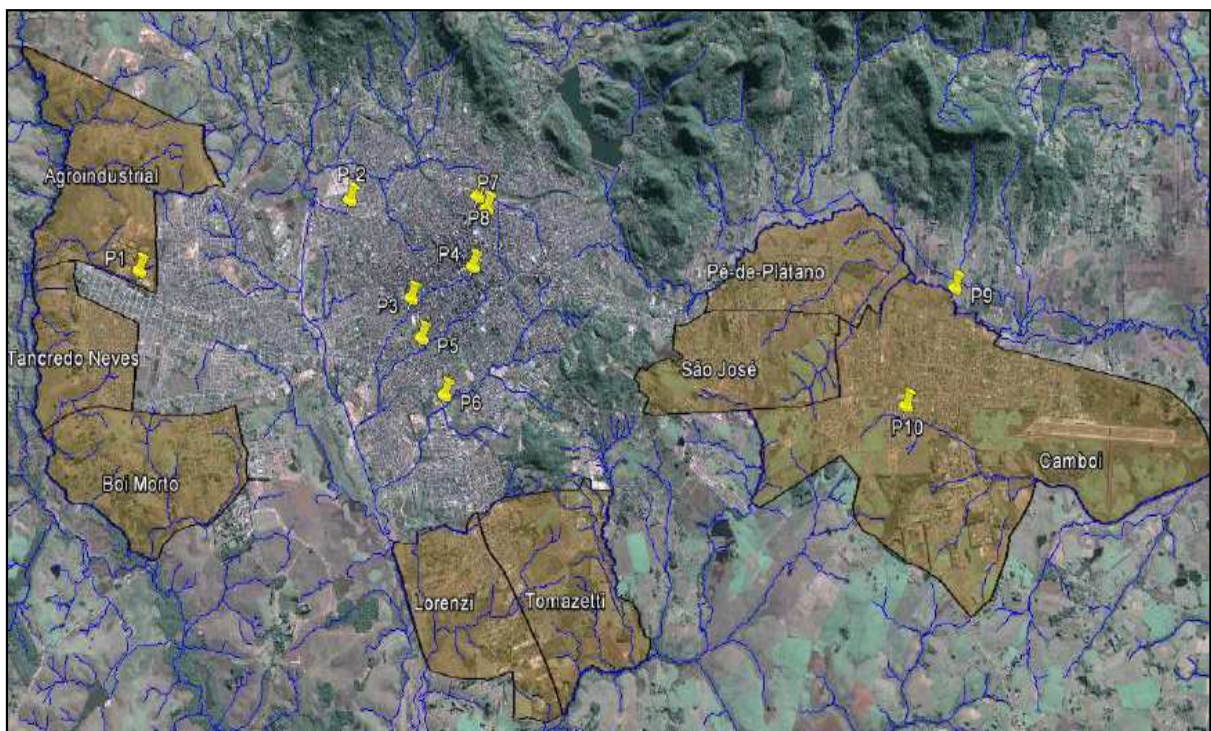


Figura 13 - Pontos problemáticos atualmente na rede de macredrenagem, adaptado de PLAMSAB, volume III, página 151, (2013).

Ponto/Bairro	Localidade	Problemas
1 Pinheiro Machado	Rua João Lino Preto	Alagamento em função da retificação da Sanga na altura da fábrica da Coca-Cola.
2 Divina Providência	Rua Coronel Valença, esquina com a Rua Major Bittencourt	Alagamento.
3 Noal	Av. Borges de Medeiros, esquina com a Rua Coronel Estácio Mariense de Lemos	Afundamento/Desmoronamento.
4 Centro	Rua Marechal Floriano Peixoto, esquina com a Rua Tuiuti	Afundamento/Desmoronamento.
5 Nossa Senhora da Medianeira	Avenida Borges de Medeiros, esquina com a Rua Papa Pio XII	Afundamento/Desmoronamento.
6 Ugllione	Avenida Hélio Basso	Contaminação do Arroio Cancela por esgotos e resíduos.
7 Centro	Rua André Marques entre as ruas Silva Jardim e Andradas	Afundamento/Desmoronamento.
8 Centro	Rua Treze de Maio entre as ruas Wauthier e André Marques	Afundamento/Desmoronamento.
9 Camobi	Rua sem nome, margem direita do Rio Vacacaí Mirim	Alagamento.
10 Camobi	Rua Luis Petry	Alagamento.

Quadro 13 - Características dos pontos problemáticos atuais na rede de macrodrenagem do município, adaptado de PLAMSAB, volume III, páginas 151 e 152 (2013).

Ademais os problemas de inundações, há presença de esgoto doméstico em todos os corpos d'água presentes na zona urbana do município. Deste modo, a contaminação dos corpos d'água ocorre não somente pela carência de cobertura do serviço de esgotamento

sanitário, mas também em função de ligações errôneas das saídas do esgoto cloacal à rede de drenagem pluvial (PLAMSAB, 2013). A figura 14 apresenta as ligações errôneas das saídas de esgoto cloacal à rede de macrodrenagem em um dos corpos d'água no perímetro urbano de Santa Maria.



Figura 14 - Ligações errôneas das saídas do esgoto cloacal à rede de drenagem pluvial em trecho da Sanga Lagão do Ouro na zona leste da área urbana de Santa Maria. Fonte: Autor (2014).

4.1.3 Áreas de risco de alagamentos, inundações, deslizamentos e solapamentos em Santa Maria

Os alagamentos e as inundações no município de Santa Maria são provocados principalmente pela alteração do curso dos eixos de drenagem natural (Sangas e Arroios), além da ocupação irregular do leito das margens dos Arroios e suas adjacentes naturalmente inundáveis (PLAMSAB, 2013). Os autores do Plano elaboraram o mapeamento das áreas de risco de alagamentos, inundações, deslizamentos e solapamentos do município a partir dos resultados apresentados no Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria-RS (2006), deste modo os referidos riscos datados do ano de 2006, foram divididos em quatro grupos e estão representados no quadro 14.

Grupo/ Zonas	Localidades	Tipo de Risco
1 Margens do Arroio Cadena e afluentes	Vila Cerro Azul	Alagamento e inundação
	Vila Salgado Filho	Alagamento e inundação/Deslizamento e solapamento
	Km 2	Alagamento e inundação
	Vila Oliveira	Deslizamento e solapamento
	Vila Arco-Íris	Deslizamento e solapamento
	Vila Renascença	Alagamento e inundação
	Vila Urlândia	Alagamento e inundação/Deslizamento e solapamento
	Vila Ecológica	Alagamento e inundação
2 Margens do Arroio Cancela	Vila Santos	Alagamento e inundação
	Vila Medianeira	Alagamento e inundação/Deslizamento e solapamento
	Vila Nonoai	Deslizamento e solapamento
3 Margens da Ferrovia e Morro Cechella	Passos dos Weber	Deslizamento e solapamento
	Bela Vista	Deslizamento e solapamento
	Montanha Russa	Deslizamento e solapamento
	Margens da Ferrovia	Deslizamento e solapamento
4 Rio Vacacaí Mirim	Vila Schirmer	Alagamento e inundação/Deslizamento e solapamento
	Km 3	Alagamento e inundação
	Vila Bilibiu	Deslizamento e solapamento
	Vila Favarin	Alagamento e inundação/Deslizamento e solapamento

Quadro 14 - Áreas de risco de alagamentos, inundações, deslizamentos e solapamentos no município, adaptado de PLAMSAB, volume III, páginas 39 e 40 (2013).

As vistas em detalhes de cada grupo (1, 2, 3 e 4) com as descrições das características gerais são apresentadas nos quadros 15, 16, 17, 18, e na figura 15.

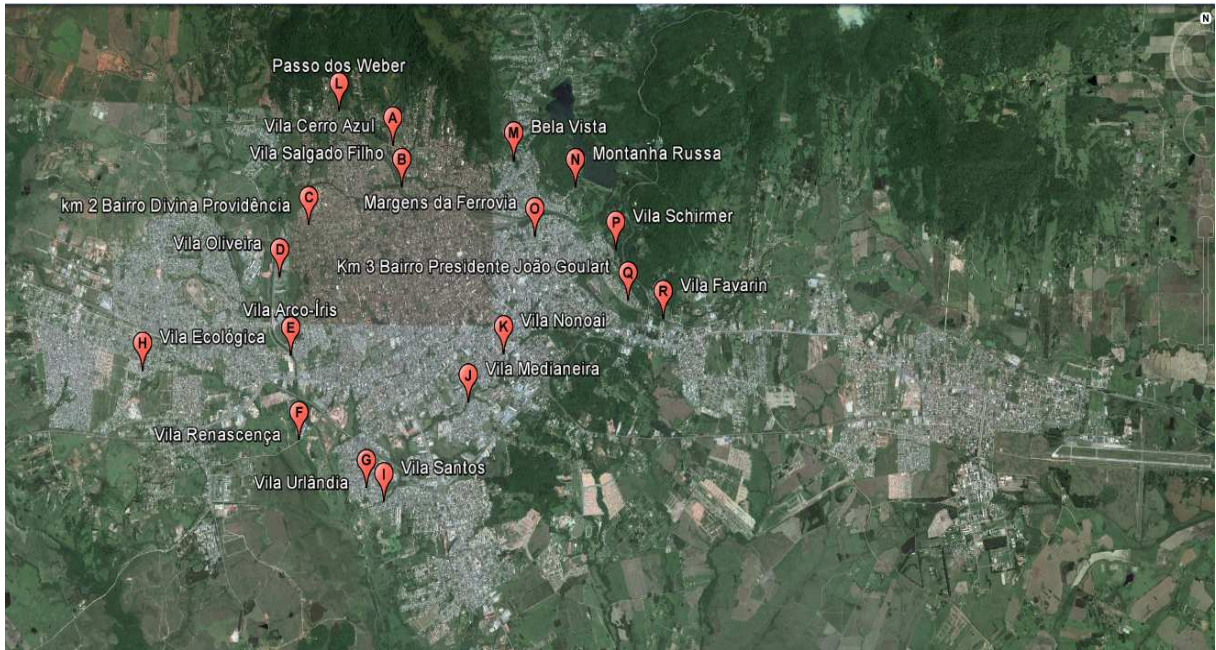









Figura 15 - Detalhe da localização das áreas de risco de alagamentos, inundações, deslizamentos e solapamentos do município de Santa Maria.

(continua)

Detalhes das Áreas de risco as Margens do Arroio Cadena e afluentes		
<p><u>Ponto A</u> Detalhes da zona de risco da Vila Cerro Azul, fonte: PLAMSAB, 2013, p.41</p>		<p>A vila Cerro Azul está localizada entre a Rua Corredor Picampo e a margem esquerda de uma das nascentes do Arroio Cadena. Ocupa uma extensão de aproximadamente 500 metros nas proximidades das ruas Aparício Borges e La Paz Com cerca de 70 edificações em área de preservação permanente (APP).</p>
<p><u>Ponto B</u> Detalhes da zona de risco da Vila Salgado Filho, fonte: PLAMSAB, 2013, p.42.</p>		<p>Localizada às margens do Arroio Cadena, a Vila Salgado Filho esta entre a Avenida Borges de Medeiros e a Rua Sete de Setembro. Possui uma extensão de aproximadamente 1 km.</p>




(continuação)

<p><u>Ponto C</u> Detalhes da zona de risco do km 2 (Bairro Divina Providência), fonte: PLAMSAB, 2013, p.42.</p>		<p>Ocupando uma extensão de aproximadamente 10 quadras, o bairro Divina Providência esta localizado entre as ruas Olegário Mariano e a continuação da Rua Coronel Valença e, entre as ruas Major Bittencourt e a margem esquerda do Arroio Cadena.</p>
<p><u>Ponto D</u> Detalhes da zona de risco da Vila Oliveira, fonte: PLAMSAB, 2013, p.43.</p>		<p>Com uma extensão de cerca de 1.500 metros, a Vila Oliveira esta situada ao longo da margem esquerda do Arroio Cadena, entre o inicio da Rua Coronel Valenciano Coelho e o inicio da Rua Venâncio Aires.</p>
<p><u>Ponto E</u> Detalhes da zona de risco da Vila Arco-Íris, fonte: PLAMSAB, 2013, p.43 e 44.</p>		<p>Localizada na Rua Maestro Roberto Barbosa entre o inicio da Rua Venâncio Aires e a Avenida Walter Jobim, a Vila Arco-Íris ocupa parte da margem esquerda do Arroio Cadena.</p>
<p><u>Ponto F</u> Detalhes da zona de risco da Vila Renascença, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 44.</p>		<p>Com acesso através de um trecho da Avenida Jornalista Maurício Sirotski, a Vila Renascença está localizada no lado esquerdo da BR 287, e ocupa uma extensão de aproximadamente duas quadras a margem direita do Arroio Cadena.</p>
<p><u>Ponto G</u> Detalhes da zona de risco da Vila Urlândia, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 45.</p>		<p>A Vila Urlândia esta localizada entre a BR 287 e a margem esquerda do Arroio Cadena e ocupa uma extensão de aproximadamente dez quadras entre a Rua Amadeu Martins Lopes e a Avenida José F. G. Ritzel.</p>





(conclusão)

<p><u>Ponto H</u> Detalhes da zona de risco da Vila Ecológica, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 45 e 46.</p>		<p>Ocupando uma extensão de aproximadamente duas quadras nas proximidades dos afluentes do Arroio Cadena. A Vila Ecológica está localizada ao lado do Parque Pinheiro Machado, na continuação da Rua Engenheiro Renato Pereira, Rua Macapá e a Avenida Brasil.</p>
--	---	--




Quadro 15 - Detalhes das Áreas de risco do Grupo 1 as Margens do Arroio Cadena e afluentes, adaptado de PLAMSAB, volume III, páginas 41 até 46, (2013).

Detalhes das Áreas de risco as Margens do Arroio Cancela		
<p><u>Ponto I</u> Detalhes da zona de risco da Vila Santos, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 46.</p>		<p>A área de risco é um segmento da Vila Santos situado ao longo do Arroio Cancela e ocupa uma extensão equivalente a dez quadras. Atinge a Rua G e confluência das ruas: Costa, Carlos, Frederico Ozanan, Agostinho Scolari, C e X.</p>
<p><u>Ponto J</u> Detalhes da zona de risco da Vila Medianeira, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 47.</p>		<p>Em uma extensão de três quadras, a área afetada está situada ao longo do Arroio Cancela a partir da Rua Duque de Caxias até o final da Rua General Neto.</p>
<p><u>Ponto K</u> Detalhes da zona de risco da Vila Nonoai, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 47 e 48.</p>		<p>A área afetada é um segmento da Vila Nonoai situada ao longo do Arroio Cancela e da Rua Almiro Amadeu Beltrame e ocupa uma extensão de duas quadras.</p>

Quadro 16 - Detalhes das Áreas de risco do Grupo 2 as Margens do Arroio Cancela, adaptado de PLAMSAB, volume III, páginas 46 até 48, (2013).

Detalhes das Áreas de risco as Margens da Ferrovia e Morro Cechella		
<p><u>Ponto L</u> Detalhes da zona de risco do Passo dos Weber, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 48.</p>		<p>O Passo dos Weber tem como ponto de referência a ponte sobre a via férrea na Rua Borges de Medeiros e está localizado ao longo da Rua Passo dos Weber e às margens direita e esquerda do talude de corte da linha férrea.</p>
<p><u>Ponto M</u> Detalhes da zona de risco do Bela Vista, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 49.</p>		<p>Localiza-se no entorno do Morro do Cechella, na Rua 14 de Julho, em um seguimento no lado esquerdo da Rua Vereador António Dias e na Rua Canários.</p>
<p><u>Ponto N</u> Detalhes da zona de risco da Montanha Russa, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 49 e 50.</p>		<p>Ocupando uma extensão de aproximadamente 800 metros e subdividida em três patamares, em função do relevo de encosta, a área denominada de Montanha Russa tem início ao longo do talude de corte da via férrea que corta a base do morro Cechella, e se estende ao longo da Rua da Fonte passando além da Barragem do Rio Vacacá-Mirim.</p>
<p><u>Ponto O</u> Detalhes da zona de risco das Margens da Ferrovia fonte: PLAMSAB, 2013, p. 50 e 51.</p>		<p>Situada ao longo do talude de corte da via férrea que atravessa a Rua Euclides da Cunha, a área denominada de Margens da Ferrovia ocupa a ambos os lados do corte e é dividida em três setores. O primeiro setor se estende ao longo da esquina das Ruas Euclides da Cunha e Silva Jardim, o segundo setor segue paralelo à via férrea a partir da Rua Euclides da Cunha até o final da Rua Anhanguera. O terceiro setor segue junto à Rua Armando Ceccin, paralelo a via férrea.</p>

Quadro 17 - Detalhes das Áreas de risco do Grupo 3 as Margens da Ferrovia e Morro Cechella, adaptado de PLAMSAB, volume III, páginas 48 até 51, (2013).

Detalhes das Áreas de risco nas proximidades do Rio Vacacaí Mirim		
<p><u>Ponto P</u> Detalhes da zona de risco da Vila Schirmer, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 51 e 52.</p>		<p>Situada às margens do Rio Vacacaí-Mirim, entre a BR-158 e a Rua Florisbino Antônio Fogueiró, a Vila Schirmer esta em uma área de encosta de morro e a sua ocupação ocorreu em dois patamares. O primeiro deles esta localizado na base do morro e é definido pela planície de inundação do Rio Vacacaí-Mirim, o segundo se encontra na encosta do morro.</p>
<p><u>Ponto Q</u> Detalhes da zona de risco do Km 3, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 52 e 53.</p>		<p>Localizada ao lado do viaduto da BR-158 entre a margem direita do Rio Vacacaí-Mirim e os trilhos da via férrea, o Km 3 (Bairro Presidente João Goulart) ocupa uma extensão de aproximadamente 500 metros.</p>
<p><u>Ponto R</u> Detalhes da zona de risco da Vila Favarin, fonte: PLAMSAB, 2013, p. 53.</p>		<p>Esta área ocupa uma extensão de aproximadamente 800 metros, e está localizada entre a via férrea e a margem direita do Rio Vacacaí-Mirim nas proximidades da BR-158.</p>

Quadro 18 - Detalhes das Áreas de risco do Grupo 4 proximidades do Rio Vacacaí Mirim, adaptado de PLAMSAB, volume III, páginas 51 até 53. (2013).

4.1.4 Resumo dos problemas na rede de drenagem pluvial do município

Segundos os autores do PLAMSAB (2013), é possível de se afirmar que os maiores problemas relacionados a drenagem pluvial do município são desencadeados pela a contaminação dos corpos d'água por esgotos sanitários, resíduos sólidos de todo tipo e o assoreamento dos cursos d'água naturais causados pela urbanização. Deste modo os autores apresentam como problemas verificados na rede de drenagem urbana no município de Santa Maria as seguintes situações:

- Interconexões dos sistemas de drenagem pluvial e esgoto sanitário;
- Ocupação irregular do leito e margens dos corpos d'água;
- Alteração do curso natural dos arroios e sangas;
- Assoreamento do Rio Vacacaí Mirim;
- Inexistência de um Plano de Gestão dos principais canais de drenagem;
- Inexistência de cadastro consolidado da rede de microdrenagem;
- Afundamento e desmoronamentos da infraestrutura de drenagem e pavimentação.

Com relação a resolução dos problemas na rede de drenagem pluvial do município, as propostas apresentadas no PLAMSAB (2013), basicamente são fundamentadas na construção e ampliação da rede de microdrenagem.

Segundo os próprios autores do Plano, esta solução provocará um aumento do volume nos pontos de lançamento da rede de micro à rede de macrodrenagem. Este aumento por sua vez, poderá provocar ou até agravar os problemas de inundações existentes na rede de macrodrenagem.

Neste sentido, os autores do PLAMSAB (2013) argumentam que a resolução dos problemas de drenagem do município deve ser feita de forma integral, agindo tanto na rede de macrodrenagem quanto na rede de microdrenagem.

Porém, no PLAMSAB (2013) os autores impõem objetivos apenas para a rede de microdrenagem, ao entender que a competência da municipalidade somente compreende este sistema de drenagem, não sendo apresentado assim nenhum objetivo para a rede de macrodrenagem, ao entenderem que estes são competência do governo estadual.

Segundo o PLAMSAB (2013), se faz necessária a ampliação da rede de drenagem existente no município em função do crescimento populacional e o aumento das áreas de impermeabilização decorrentes do processo de urbanização.

Junto a esta lista de infraestruturas a ampliar será necessário acrescentar aquelas infraestruturas que atualmente não apresentam problemas, mas que se encontram no limite de sua capacidade e que poderão se tornar insuficientes com o aumento de vazões futuras (PLAMSAB, 2013).

Em alguns bairros como Agro industrial, Tancredo Neves, Boi Morto, Lorenzi, Tomazzeti, São José e Camobi, o PLAMSAB (2013) traz a afirmativa de ocorrerá incrementos nas vazões de até 100% em função de novas ocupações e uso do solo nestas localidades.

Portanto, para a rede de microdrenagem, as diretrizes do PLAMSAB (2013) foram direcionadas, de maneira a atingir as seguintes metas:

- Construção de uma rede de microdrenagem integral em todo o município, que evite a circulação de água pelas ruas, com um nível de risco de inundação fixado;
- Melhoria da qualidade ambiental dos rios mediante a limitação das contaminações presentes na rede de drenagem.

Desta forma, os indicadores foram classificados seguindo as duas categorias de objetivos a atingir no ano 2032 que é o ano horizonte do presente Plano.

Para a universalização da implantação da rede microdrenagem em todo o distrito Sede no ano de 2032, os autores do Plano apresentam um programa de implantação constante no tempo, pelo qual, em um primeiro horizonte de cinco anos, se prevê a realização de um Programa de Recadastramento das Redes de Drenagem e construção de 5% do comprimento de redes de microdrenagem previsto para todo o distrito Sede.

Dentre as atuações que poderão ser realizadas na rede de drenagem urbana do distrito Sede, com a finalidade de melhorar a qualidade ambiental dos rios mediante a limitação das contaminações presentes na rede de drenagem, os autores do PLAMSAB (2013) destacam a construção de depósitos anti-descarga de sistemas pluviais (depósitos anti-DSP).

Esses depósitos anti-DSP (figura 16) são tanques de decantação que permitem gerir os sedimentos que contêm uma grande parte da contaminação presente na rede de drenagem. Essas infraestruturas anti-DSP, serão construídas nos próprios locais, enterradas e dotadas de uma conexão à rede de esgoto para a depuração das primeiras águas de lavagem (PLAMSAB, 2013).

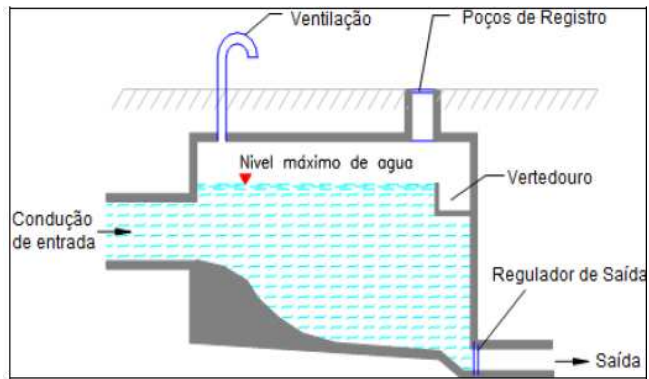


Figura 16 - Esquema geral de um depósito anti-DSP. Fonte: PLAMSAB, volume III, página 73, (2013).

Em pesquisa realizada, não foram encontradas experiências nas municipalidades brasileiras com a utilização dos depósitos anti-descarga de sistemas pluviais (depósitos anti-DSP), tão pouco informações sobre a eficiência deste dispositivo, quais parâmetros de dimensionamento, frequência de limpeza e manutenção, nem tão pouco qual o tempo de detenção recomendado para este sistema.

4.1.5 Sistema proposto para drenagem urbana do município

O sistema proposto para a drenagem pluvial urbana do município apresentado no PLAMSAB (2013), basicamente consistem em:

- Extensão da rede de microdrenagem mediante a construção de aproximadamente 631,35 km de redes, e respectivos elementos de captação (canais e grelhas de drenagem, bocas de lobo);
- Construção de aproximadamente 180.230 m³ de depósito anti-DSP, que serão instalados em locais prévios ao lançamento à rede de macrodrenagem, tendo como finalidade a melhoria da qualidade das águas nos leitos naturais abertos que formam a macrodrenagem da cidade de Santa Maria.

Os quadros 19 e 20 apresentam respectivamente, uma descrição da previsão de construção da rede de microdrenagem e, da previsão de construção de rede de volume anti-DSP contemplando as suas fases necessárias e horizontes temporais.

Horizonte Temporal	Ano Horizonte	Previsão de construção de rede de microdrenagem	Fases necessárias
Curto Prazo	5º Ano	31,58 km	Inventário topográfico da rede atual; Levantamento topográfico dos caminhos (eixos); Modelo matemático da rede de drenagem prevista em curto prazo; Plano diretor; Redação de projetos construtivos; Execução das obras.
Médio Prazo	10º Ano	94,75 km	Levantamento topográfico dos caminhos (eixos); Atualização do modelo matemático da rede de drenagem acrescentando rede prevista a médio prazo; Redação de projetos construtivos; Execução das obras.
Longo Prazo	20º Ano	504,92 km	Levantamento topográfico dos caminhos (eixos); Atualização do modelo matemático da rede de drenagem acrescentando rede prevista a longo prazo; Redação de projetos construtivos; Execução das obras.

Quadro 19 - Previsão de construção da rede de microdrenagem. Fonte: PLAMSAB, volume III, página 171, (2013).

Horizonte Temporal	Ano Horizonte	Previsão de construção de rede de volume anti-DSP	Fases necessárias
Curto Prazo	5º Ano	9.162 m ³	Redação de projetos construtivos; Execução das obras.
Médio Prazo	10º Ano	27.484 m ³	Redação de projetos construtivos; Execução das obras.
Longo Prazo	20º Ano	146.584 m ³	Redação de projetos construtivos; Execução das obras.

Quadro 20 - Previsão de construção dos volumes de depósito anti-DSP. Fonte: PLAMSAB, volume III, página 175, (2013).

No PLAMSAB (2013) ainda há uma recomendação para que no município de Santa Maria, da mesma forma que em outras municipalidades brasileiras, seja considerada a elaboração de uma legislação específica para a captação, retenção e uso de águas pluviais para grandes condomínios residenciais, centros comerciais e industriais que impermeabilize grandes parcelas do solo urbano.

Apesar desta recomendação, não há no PLAMSAB (2013) a apresentação de nenhum tipo de proposta efetiva que contemple a elaboração desta legislação e tão pouco quais seriam os parâmetros de dimensionamento, referentes a captação e retenção das águas pluviais que deveriam conter na legislação específica sugerida pelos autores do Plano.

Em contrapartida a isso, a vazão específica de pré-desenvolvimento que será apresentada em próximos itens apresentada deste estudo, é capaz de auxiliar o gestor público no que se refere a qual o valor de vazão que pode ser lançada na rede pública de drenagem, sem que esta ocasione um aumento no pico da vazão e mantenha às condições mais próximas da situação natural, ou seja, antes da implementação dos empreendimentos que afetam o ciclo hidrológico do local com o aumento da impermeabilização do solo.

Os autores do PLAMSAB (2013) também reconhecem que atualmente alguns sistemas de drenagem urbana adotam soluções alternativas que visam à redução dos impactos da urbanização sobre o comportamento hidrológico das bacias. Os autores enfatizam que a redução desses impactos pode ser obtida por meio da utilização de reservatórios domiciliares

de águas pluviais, trincheiras de infiltração, valos de armazenamento, armazenamento em coberturas, armazenamento e infiltração em áreas de estacionamento, entre outras.

Seguindo este conceito, os autores do PLAMSAB (2013), colocam como objetivo secundário, a implantação dessas técnicas alternativas de drenagem nas novas urbanizações no último decênio do Plano Diretor compreendido entre os anos de 2022 a 2032.

De forma análoga a proposta apresentada pelos autores do Plano com relação a elaboração de uma legislação específica para a captação, retenção e uso de águas pluviais, a proposta de implantação de técnicas alternativas de drenagem apresentada no Plano, não especifica quais são os parâmetros que devem ser adotados e levados em consideração para a implantação destas técnicas.

Em momento algum no PLAMSAB (2013), os autores fazem referencia ao valor da vazão específica de pré-desenvolvimento ou ao volume de controle necessário para dimensionamento dos reservatórios de detenção (RD), por exemplo.

Segundo os autores do Plano, as técnicas alternativas de drenagem apresentam-se como uma implantação experimental para a análise da influência destas técnicas na diminuição do fluxo de corrente.

Corroborando com esta expectativa por parte dos autores do Plano, é possível observar na revisão bibliográfica deste estudo, uma série de autores que afirmam que tanto as técnicas compensatórias quanto as abordagens LID, quando devidamente empregadas influenciam positivamente na diminuição do escoamento superficial.

4.1.6 Comparativo entre o TdR-SM, o Termo de Referência apresentado pela Funasa (TdR-Funasa) e o PLAMSAB

Segundo o Decreto nº 3.555, de 8 de agosto de 2000, no seu artigo de nº 8, inciso III, o Termo de Referência é o documento que deverá conter elementos capazes de propiciar a avaliação do custo pela administração, diante de orçamento detalhado, considerando os preços

praticados no mercado, a definição dos métodos, a estratégia de suprimento e o prazo de execução do contrato.

O objetivo principal do Termo de Referência elaborado pela PMSM (2013) foi a orientação para as empresas interessadas na elaboração do PLAMSAB, de forma a possibilitar a criação de mecanismos de gestão pública da infra-estrutura do município relacionada aos quatro eixos do saneamento básico:

- Abastecimento de água;
- Esgotamento sanitário;
- Manejo de resíduos sólidos;
- Manejo de águas pluviais.

Este Termo de Referência tem como embasamento legal as duas principais legislações que regem a prestação de serviços de saneamento que são a Lei Federal nº 11.445/2007 e a Lei Estadual nº 12.037/2003.

No ano de 2012 a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) elaborou um documento denominado de “Termo de Referência para a Elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico (TdR-Funasa)” a qual estabelece os requisitos mínimos para a elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e a descrição dos produtos a serem apresentados pelo conveniente durante a vigência de um eventual convênio (BRASIL, 2012^a).

Este documento é dividido em dois capítulos, onde o seu primeiro capítulo é referente ao TdR para a elaboração de PMSB e o segundo capítulo, aos procedimentos relativos ao convênio de cooperação técnica e financeira para a referida ação.

O conteúdo deste TdR-Funasa, insere-se no contexto da Lei nº 11.445/2007, e seu Decreto de Regulamentação nº 7.217, de 21 de junho de 2010; da Lei nº 12.035, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e de seu Decreto de Regulamentação nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010; bem como a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que estabelece o Estatuto das Cidades.

O quadro 21 apresenta um comparativo entre a projeção de demandas e perspectivas técnicas mínimas no eixo de infraestrutura de águas pluviais recomendado pelo TdR-Funasa TdR-SM e o PLAMSAB.

TdR-Funasa	TdR-SM	PLAMSAB
Medidas de controle para reduzir o assoreamento de cursos d'água e de bacias de retenção, eventualmente propostas pelos membros do grupo de trabalho.	Sim ⁽¹⁾	Parcial ⁽⁴⁾
Medidas de controle para reduzir o lançamento de resíduos sólidos nos corpos d'água.	Sim ⁽²⁾	Parcial ⁽⁴⁾
Diretrizes para o controle de escoamentos na fonte, adotando-se soluções que favoreçam o armazenamento, a infiltração e a percolação, ou a jusante, adotando-se bacias de retenção - ter em consideração as características topográficas locais e listar as soluções de controle que melhor se adaptariam;	Não	Não
Diretrizes para o tratamento de fundos de vale;	Não	Não
Previsão de eventos de emergência e contingência.	Sim ⁽³⁾	Não

Quadro 21 - Comparativo entre TdR's e PLAMSAB.

⁽¹⁾ Criação de parques áreas de proteção/preservação nas cabeceiras dos rios principais para proteção dos rios contra assoreamento e proteção da qualidade da água.

⁽²⁾ O plano deverá contemplar medidas visando evitar o carreamento do material sólido bem como o controle e a redução da carga poluente nas águas pluviais.

⁽³⁾ Estabelecimento de regras de atendimento e funcionamento operacional para situação crítica na prestação de serviços públicos de saneamento básico, inclusive com adoção de mecanismos tarifários de contingência.

⁽³⁾ Estabelecer diretrizes para a Articulação com os Planos Locais de Risco e para a formulação dos Planos de Segurança da Água.

⁽⁴⁾ Com a finalidade de melhorar a qualidade ambiental dos rios mediante a limitação das contaminações presentes na rede de drenagem, os autores do PLAMSAB (2013) destacam a construção de depósitos anti-descarga de sistemas pluviais (depósitos anti-DSP).

A partir do comparativo entre o TdR-SM, o TdR-Funasa e o PLAMSAB, é possível afirmar que o PLAMSAB atende a apenas duas das cinco recomendações que constam no TdR-Funasa com relação as demandas e perspectivas técnicas mínimas no eixo de infraestrutura de águas pluviais recomendadas no TdR-Funasa, cabe ressaltar que este atendimento ocorre de maneira parcial.

4.1.7 Quais dentre os propostos, atendem aos preceitos de medidas de controle na fonte

A definição de drenagem na fonte apresentada pelo IPH/DEP, (2005), afirma que o dimensionamento da drenagem proveniente de um lote, de um condomínio, de um estacionamento, de um parque ou de passeios são denominados como drenagem na fonte.

O controle na fonte tornou-se termo associado com o uso de práticas de pequena escala, disseminados por toda a bacia hidrográfica a fim de reproduzir ou manter as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento (FLETCHER et al., 2014).

Neste sentido e com base nestas definições de controle na fonte é possível afirmar que nenhuma das propostas efetivamente apresentadas para a drenagem urbana no PLAMSAB (2013) atende aos preceitos de medidas de controle na fonte.

Apesar de a temática sustentabilidade constar dentre os mais importantes princípios norteadores do PLAMSAB, com relação a drenagem urbana, não há no Plano nem no TdR-SM, diretrizes para o controle de escoamentos pluviais na fonte, que adotem soluções que proporcionem o armazenamento, a infiltração e a percolação.

4.2 Atualização da IDF de Santa Maria (RS), determinação do valor da vazão específica de pré-desenvolvimento e do volume de controle

4.2.1 Atualização da IDF de Santa Maria (RS)

A partir dos dados de precipitação máxima observados para as durações de 10, 20 e 30 minutos e 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24 horas, foi possível determinar os valores das relações entre durações médias para o período de 1963 a 1998 e Pfafstetter (1957).

Em posse desses valores das relações médias, foi possível determinar os valores dos coeficientes de desagregação de chuva para esta localidade, os valores de desagregação estão apresentados no quadro 22.

Relações de durações	1963 - 1998	Pfafstetter	Coefficientes de desagregação (média ponderada)
10min/24h	0,20	0,16	0,18
20min/24h	0,28	0,23	0,26
30min/24h	0,36	0,29	0,33
1/24h	0,46	0,39	0,43
2/24h	0,57	0,50	0,54
4/24h	0,69	0,63	0,67
6/24h	0,78	0,71	0,75
8/24h	0,85	0,77	0,81
12/24h	0,90	0,85	0,88
24h/1dia	1,10	1,10	1,10

Quadro 22 - Coeficientes médios de desagregação da chuva.

A partir dos dados do pluviômetro com leituras diárias compreendidas entre os anos de 1961 a 2013 obtidos junto ao BDMEP, foram determinadas as precipitações máximas diárias e as precipitações máximas com as seguintes durações: 2 dias, 5 dias, 10 dias, 15 dias, 20 dias, 30 dias, 45 dias e 60 dias. Esses valores são apresentados no quadro 23.

(continua)

Anos	Valores de Precipitação Máxima (mm)								
	1 dia	2 dias	5 dias	10 dias	15 dias	20 dias	30 dias	45 dias	60 dias
1961	96,5	116,0	159,8	201,8	244,8	276,0	401,4	468,2	539,0
1962	63,9	99,3	151,9	170,0	205,8	253,7	273,9	328,7	396,9
1963	103,0	158,5	216,9	283,6	285,1	312,5	430,5	463,0	597,7
1964	89,0	97,4	110,6	154,9	192,2	200,7	219,9	323,0	379,1
1965	120,0	143,6	178,4	231,1	231,9	244,9	338,8	460,4	586,9
1966	98,0	118,5	172,1	191,5	269,0	272,1	333,0	425,5	501,0
1967	67,4	67,4	120,4	120,7	127,5	139,2	241,6	309,6	458,5
1968	70,4	72,2	114,4	153,8	226,5	245,6	279,6	306,3	411,8
1969	88,3	102,3	187,2	232,6	249,8	263,6	284,0	421,3	466,3
1970	66,1	81,8	119,5	153,7	201,6	273,7	306,7	388,2	465,9
1971	87,6	96,9	116,9	180,0	201,6	209,9	265,1	372,3	477,5
1972	85,1	131,9	132,4	213,2	261,2	271,7	344,4	474,4	558,3
1973	97,4	104,7	164,3	209,1	239,6	262,7	293,5	388,8	458,1
1974	83,4	102,9	148,2	170,7	202,9	224,3	263,3	358,1	460,2
1975	93,7	106,8	186,8	242,2	244,9	266,1	332,7	460,0	499,3
1976	105,2	129,0	142,4	201,1	225,6	229,5	291,6	394,7	478,3
1977	99,4	165,0	210,5	222,9	226,0	252,0	328,3	405,7	499,2
1978	68,3	106,4	129,7	161,9	161,9	247,4	281,8	399,4	426,4

(conclusão)

1979	108,4	120,8	143,8	156,6	159,0	195,0	296,9	346,4	420,0
1980	80,2	110,0	135,2	168,8	194,3	201,7	252,8	288,9	372,6
1981	91,3	116,7	138,3	141,5	172,5	179,9	217,9	275,7	319,1
1982	145,0	146,4	168,2	209,3	233,0	275,5	383,1	479,7	598,4
1983	89,4	105,2	125,0	193,3	243,7	288,2	355,0	419,9	485,7
1984	183,9	263,0	286,1	355,0	428,1	508,1	584,2	826,4	1.033,8
1988	54,5	58,3	58,3	61,1	82,8	112,9	112,9	140,7	170,8
1989	39,0	39,0	52,0	54,2	54,2	59,4	62,9	121,2	127,7
1991	156,1	174,4	206,4	298,4	310,8	330,8	343,7	368,7	431,2
1992	87,6	121,4	147,5	235,2	240,9	304,1	356,5	385,1	507,4
1993	110,8	133,3	147,8	182,9	241,8	299,5	366,3	462,9	553,5
1994	136,6	138,6	144,2	211,4	246,2	272,2	377,0	521,8	589,7
1995	78,2	100,6	142,6	160,6	192,5	242,3	280,5	339,6	422,5
1996	122,6	196,2	228,6	306,0	338,0	418,8	509,1	590,5	651,6
1997	93,6	157,8	188,9	269,5	349,5	369,1	473,1	597,6	688,1
1998	136,3	214,7	221,8	273,6	290,6	395,8	422,8	542,9	650,3
1999	73,0	141,0	197,0	197,2	232,0	263,6	281,8	372,0	472,9
2000	65,8	109,4	151,3	183,7	242,4	242,4	307,0	423,6	511,2
2001	55,0	99,0	108,3	141,6	141,6	143,6	191,6	272,6	331,6
2002	101,8	119,8	169,2	240,6	279,7	306,6	475,9	606,3	695,0
2003	109,0	143,7	207,9	283,0	337,8	348,5	439,3	529,0	683,7
2004	84,8	90,8	104,1	147,1	152,6	205,9	355,9	444,5	547,6
2005	91,1	129,0	163,4	177,2	234,6	258,6	365,8	463,0	534,8
2006	105,9	121,1	132,9	148,1	198,6	200,9	210,8	352,8	391,2
2007	95,7	121,0	148,1	206,3	245,5	257,0	274,3	374,8	416,3
2008	72,8	96,0	131,6	156,2	236,4	254,8	294,8	303,5	377,5
2009	81,2	123,1	159,1	210,4	290,6	385,3	508,4	652,0	786,6
2010	85,0	125,2	229,0	232,3	317,0	402,2	528,9	618,4	874,9
2011	56,0	96,6	106,8	156,5	170,1	201,6	238,2	271,8	336,8
2012	124,0	124,0	129,9	170,7	191,5	257,0	294,3	408,3	435,6
2013	113,3	176,3	197,2	254,7	283,2	289,5	396,3	443,2	505,1

Quadro 23 - Dados Pluviométricos adaptado de BDMEP 1961 - 2013.

Após a determinação dos parâmetros a, b, c e d da equação genérica IDF de Santa Maria-RS (equação 2), foi estabelecida a nova IDF do local, que segue o tipo potencial (equação 13).

$$I = \frac{870,289 \times Tr^{0,1632}}{(t + 8,76)^{0,7258}} \quad (13)$$

sendo I a intensidade da chuva em mm.h⁻¹, Tr o período de recorrência do evento chuvoso em anos; e t é a duração da chuva intensa em minutos.

Esta equação foi desenvolvida para chuvas com durações entre 5 minutos e 60 dias, além de ter sua aplicação recomendada para Trs de até 26 anos (a curva anterior se limitava a durações de 24 horas e era recomendada para Trs de até 13 anos, o que significava restrições para algumas aplicações), segundo as recomendações de Naghettini e Pinto (2007) a fim de que não se trabalhe na faixa de extrapolação dos dados, é ideal possuir uma série com extensão de pelo menos duas vezes o Tempo de Retorno (Tr) que se quer estimar.

O quadro 24 apresenta os valores dos erros percentuais (equação 3) obtidos quando da comparação dos valores de intensidade de precipitação gerados com a equação 1 (IDF SM, anterior apresentada por Belinazo 1991) comparados com os valores gerados por Gumbel do tipo I (ou seja, os valores que deram origem à IDF, verificando assim se no ajuste dos parâmetros não houve problemas).

Duração	Tempos de Retorno (anos)						
	2	5	10	15	20	50	100
10 minutos	-12,31%	-6,14%	-6,75%	-8,12%	-9,43%	-15,19%	-20,94%
20 minutos	-10,13%	-5,04%	-6,36%	-8,14%	-9,75%	-16,51%	-23,10%
30 minutos	-3,15%	1,02%	-0,67%	-2,62%	-4,34%	-11,40%	-18,20%
1 hora	-0,87%	2,11%	-0,39%	-2,83%	-4,91%	-13,19%	-21,04%
2 horas	0,67%	2,45%	-0,93%	-3,91%	-6,39%	-16,09%	-25,17%
4 horas	0,77%	1,33%	-3,02%	-6,62%	-9,57%	-20,96%	-31,54%
6 horas	0,95%	0,79%	-4,16%	-8,14%	-11,37%	-23,79%	-35,30%
8 horas	0,56%	-0,13%	-5,52%	-9,80%	-13,26%	-26,51%	-38,78%
12 horas	-2,60%	-4,08%	-10,29%	-15,12%	-19,01%	-33,86%	-47,60%
1 dia	-19,95%	-23,23%	-31,81%	-38,33%	-43,56%	-63,40%	-81,76%
2 dias	-11,69%	-14,11%	-22,21%	-28,47%	-33,51%	-52,84%	-70,88%
5 dias	-12,37%	-19,76%	-31,36%	-39,82%	-46,53%	-71,90%	-95,48%
10 dias	-7,26%	-14,87%	-26,75%	-35,42%	-42,32%	-68,51%	-93,01%
15 dias	-2,26%	-10,64%	-22,91%	-31,81%	-38,87%	-65,75%	-90,94%
20 dias	2,81%	-4,83%	-16,45%	-24,95%	-31,71%	-57,52%	-81,80%
30 dias	12,61%	5,69%	-5,02%	-12,88%	-19,15%	-43,15%	-65,85%
45 dias	23,22%	15,95%	5,60%	-1,93%	-7,93%	-30,89%	-52,64%
60 dias	31,00%	24,64%	15,31%	8,49%	3,04%	-17,87%	-37,76%

Quadro 24 - Valores percentuais dos erros obtidos por meio da utilização de Gumbel do tipo I em comparação aos valores obtidos por meio da utilização da equação 1.

O quadro 25 apresenta os valores dos erros percentuais (equação 3) obtidos quando da comparação dos valores de intensidade de precipitação gerados com a equação 13 (IDF SM, atualizada) comparados com os valores gerados por Gumbel do tipo I (ajuste da metodologia de Gumbel aos dados observados, sendo que a IDF é uma simplificação dos resultados obtidos por Gumbel). Esta comparação permite verificar eventuais erros introduzidos pela escolha da equação.

Duração	Tempos de Retorno (anos)						
	2	5	10	15	20	50	100
10 minutos	-8,16%	1,13%	2,96%	3,08%	2,85%	0,78%	-1,89%
20 minutos	-11,40%	-1,83%	0,05%	0,17%	-0,06%	-2,19%	-4,95%
30 minutos	-6,75%	2,42%	4,23%	4,34%	4,11%	2,07%	-0,57%
1 hora	-7,37%	1,85%	3,67%	3,79%	3,56%	1,51%	-1,15%
2 horas	-7,54%	1,70%	3,52%	3,64%	3,41%	1,35%	-1,31%
4 horas	-8,50%	0,82%	2,66%	2,78%	2,55%	0,47%	-2,21%
6 horas	-8,71%	0,63%	2,47%	2,59%	2,36%	0,28%	-2,41%
8 horas	-9,36%	0,03%	1,88%	2,00%	1,77%	-0,32%	-3,03%
12 horas	-13,10%	-3,39%	-1,47%	-1,35%	-1,59%	-3,75%	-6,55%
1 dia	-32,60%	-21,21%	-18,96%	-18,82%	-19,10%	-21,64%	-24,92%
2 dias	-23,74%	-11,06%	-8,11%	-7,57%	-7,57%	-9,18%	-11,70%
5 dias	-24,77%	-14,86%	-13,10%	-13,13%	-13,50%	-16,21%	-19,52%
10 dias	-19,27%	-8,94%	-6,89%	-6,75%	-6,99%	-9,24%	-12,17%
15 dias	-13,81%	-4,24%	-2,39%	-2,31%	-2,58%	-4,83%	-7,71%
20 dias	-8,23%	1,71%	3,81%	4,06%	3,92%	2,09%	-0,41%
30 dias	2,60%	12,16%	14,31%	14,65%	14,60%	13,18%	11,09%
45 dias	14,36%	22,23%	23,90%	24,10%	23,99%	22,55%	20,57%
60 dias	23,00%	30,60%	32,32%	32,60%	32,56%	31,46%	29,82%

Quadro 25 - Valores percentuais dos erros obtidos por meio da utilização de Gumbel do tipo I em comparação aos valores obtidos por meio da utilização da equação 13.

O quadro 26 apresenta os valores dos erros percentuais máximos, mínimos e médios apresentados nos quadros 24 e 25.

	IDF-Atualizada (equação 13)	IDF-Anterior (equação 1)
Máximo	32,60%	31,00%
Mínimo	-32,60%	-95,48%
Médio	-0,37%	-19,31%

Quadro 26 - Valores comparativos entre os erros percentuais máximos, mínimos e médios apresentados nos quadros 24 e 25.

As figuras 17, 18 e 19, apresentam em forma de gráficos um comparativo das relações de curvas IDF com as durações entre 10 minutos a 24 horas e com os respectivos valores de Tr de 2, 15 e 100 anos, os gráficos foram gerados com o uso de Gumbel tipo I, Pfafstetter, além das equações 1 e 13.

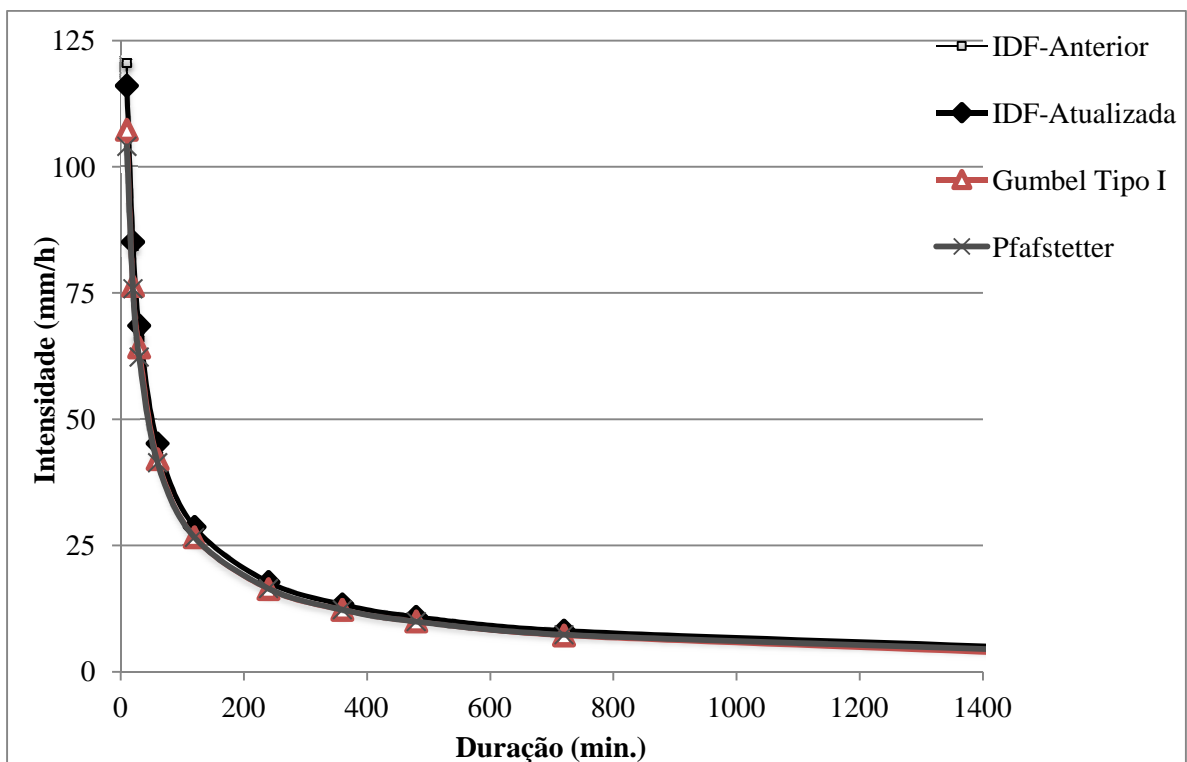


Figura 17 - Relação das curvas Intensidade-Duração-Frequência para o município de Santa Maria para Tr de 2 anos obtidas por Gumbel tipo I, Pfafstetter e equações 1 e 13.

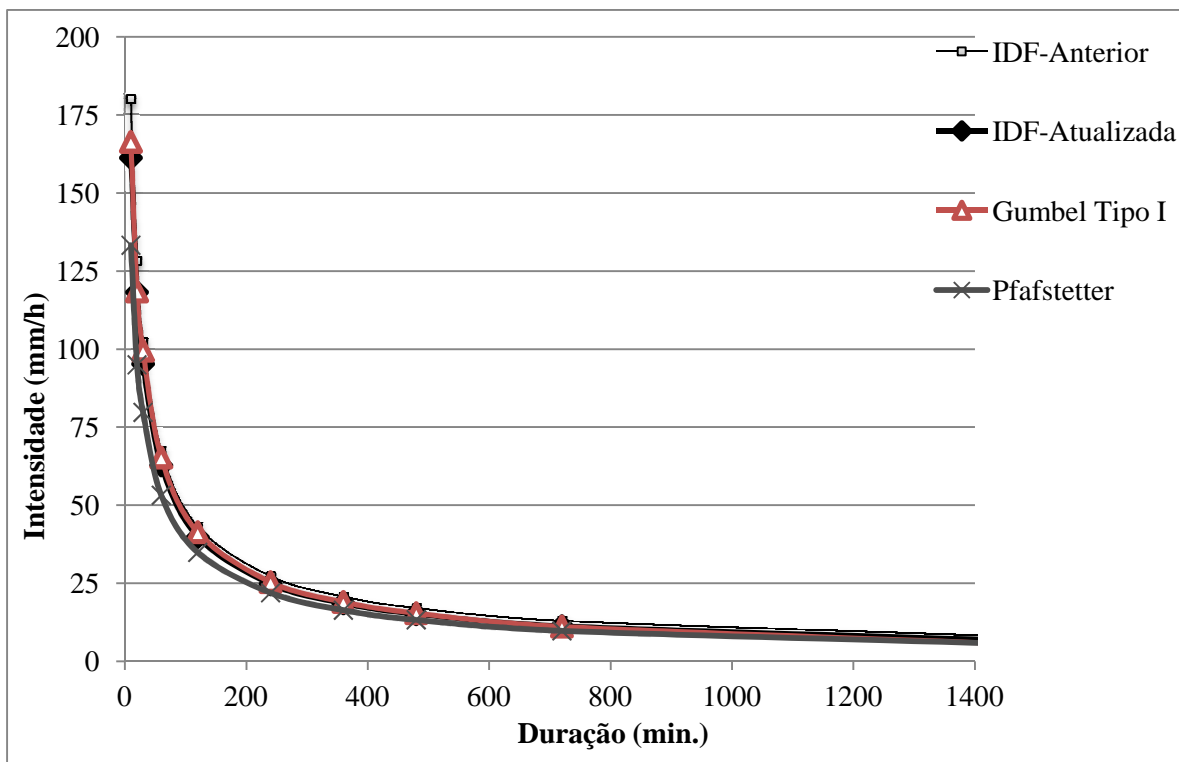


Figura 18 - Relação das curvas Intensidade-Duração-Frequência para o município de Santa Maria para Tr de 15 anos obtidas por Gumbel tipo I, Pfafstetter e equações 1 e 13.

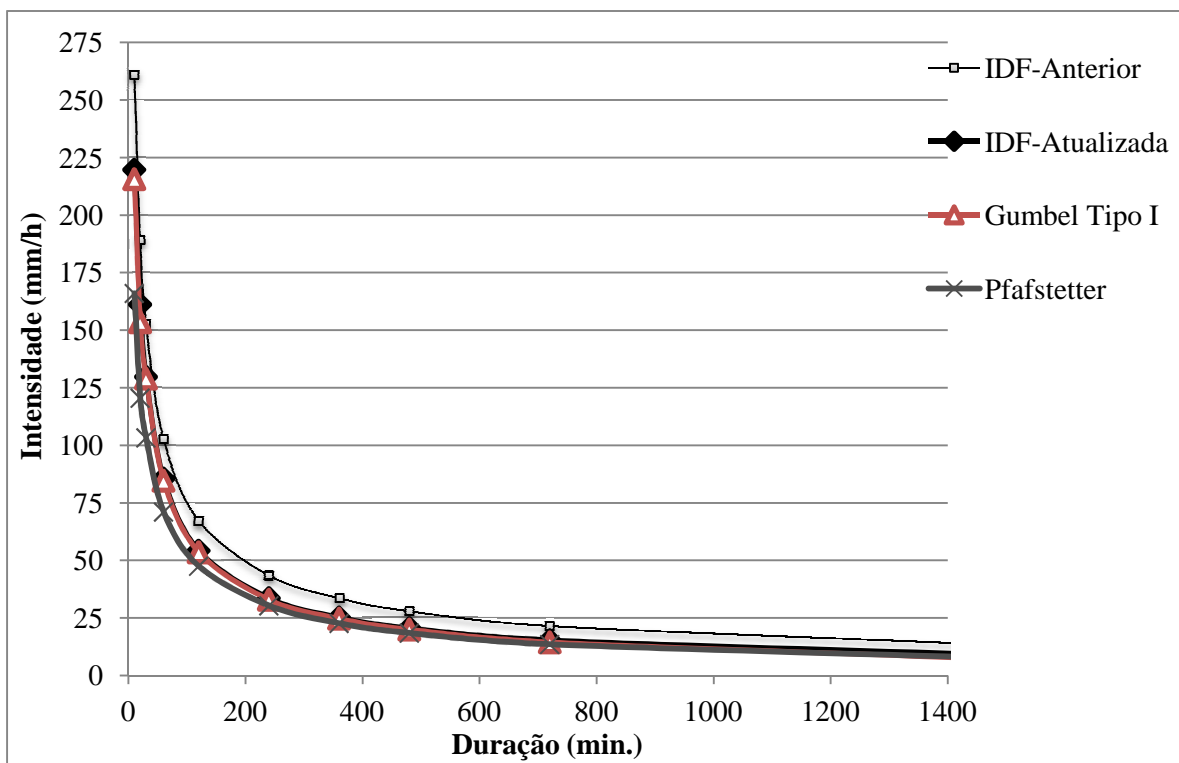


Figura 19 - Relação das curvas Intensidade-Duração-Frequência para o município de Santa Maria para Tr de 100 anos obtidas por Gumbel tipo I, Pfafstetter e equações 1 e 13.

É possível notar ao observar as figuras 17 e 18, uma grande similaridade entre as quatro curvas geradas em cada figura. Esta boa correspondência entre as curvas geradas ocorreu tanto para o tempo de recorrência de 2 anos quanto para o tempo de recorrência 15, apresentados pelas respectivas figuras 17 e 18, também ocorreu uma boa correspondência para os tempos de recorrência de 5, 10 e 20 anos, porém estes não estão representados neste estudo.

Já na figura 19, nota-se uma boa similaridade entre as curvas geradas com o uso de Gumbel tipo I, Pfafstetter e a equação 13, ao ponto que a curva gerada com o uso da equação 1 (IDF antiga de SM) apresentou uma maior divergência comparativamente com as outras três curvas geradas. Este comportamento também se repetiu para o tempo de recorrência de 50 anos não representado neste estudo.

Com base nas análises conduzidas, foi possível verificar que, por um lado a curva sugerida se ajustou corretamente aos dados observados (representados pelo ajuste da equação de Gumbel).

Por outro lado, quando comparados com a IDF previamente existentes no município (Belinazo 1991 – equação 1), se observam diferenças nos valores quando ultrapassam o limite de 13 anos recomendado para a aplicação da equação 1. Desta forma se observa que a inclusão de um maior número de informações na estimativa da equação, trouxe uma significativa ampliação na utilização do tempo de retorno, uma vez que a equação anterior (Belinazo 1991 – equação 1) superestimava os valores quando da utilização de tempos de retorno maiores do que 13 anos.

Desta forma se conclui que as características das chuvas intensas do município de Santa Maria (RS) podem ser explicadas por meio de uma equação genérica IDF com os parâmetros apresentados na equação 13, de modo que a atualização dos dados do município permitiu uma melhor representação das chuvas intensas para esta localidade.

4.2.2 Vazão específica de pré-desenvolvimento

A vazão específica de pré-desenvolvimento, ou seja, a vazão máxima unitária de contribuição à rede de drenagem pluvial na situação anterior a urbanização do local, foi estimada a partir da equação 5, considerando um evento com período de recorrência de 10 anos, duração de 60 minutos, área de drenagem de 100 ha e coeficiente de escoamento de 0,15. Conforme analisado no capítulo da metodologia, estes valores são típicos para bacias urbanas com as características encontradas em Santa Maria.

Resultou assim em uma chuva com intensidade de $58,79 \text{ mm.h}^{-1}$, e uma vazão máxima (Q) de $2,45 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Deste modo para uma área (A) de 100 ha, foi obtida a vazão específica de pré-desenvolvimento (Qpd) com valor igual a $24,52 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, a partir do uso da equação 5.

Conseqüentemente, a equação 14 permite determinar o valor da vazão de restrição que deve ser utilizada como limite para a contribuição individual de cada lote ou loteamento à rede pluvial pública no município de Santa Maria-RS.

$$Qpd = 24,52 \times A \quad (14)$$

sendo, Qpd a vazão específica de pré-desenvolvimento em l.s^{-1} , A é a área do lote ou loteamento em ha.

A título de comparação o quadro 27 apresenta os valores de vazão máxima de saída em função da área do lote ou loteamento em dois municípios distintos, sendo eles Porto Alegre - RS com valor de (Qpd) igual a $20,80 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$, Juiz de Fora - MG com valor de (Qpd) é igual a $26,6 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ e Santa Maria - RS com valor de (Qpd) igual a $24,52 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$. Os três municípios em questão fizeram uso da mesma metodologia para a determinação dos seus respectivos valores de Qpd.

(continua)

Qpd (l/s)				
Área (m ²)	Área (ha)	Porto Alegre - RS	Juiz de Fora - MG	Santa Maria - RS
600	0,06	1,25	1,60	1,47
700	0,07	1,46	1,86	1,72
800	0,08	1,66	2,13	1,96
900	0,09	1,87	2,39	2,21
1.000	0,1	2,08	2,66	2,45

(conclusão)

2.000	0,2	4,16	5,32	4,90
4.000	0,4	8,32	10,64	9,81
5.000	0,5	10,40	13,30	12,26
6.000	0,6	12,48	15,96	14,71
8.000	0,8	16,64	21,28	19,62
10.000	1	20,80	26,60	24,52
20.000	2	41,60	53,20	49,04
30.000	3	62,40	79,80	73,56
40.000	4	83,20	106,40	98,08
50.000	5	104,00	133,00	122,60
60.000	6	124,80	159,60	147,12
70.000	7	145,60	186,20	171,64
80.000	8	166,40	212,80	196,16
90.000	9	187,20	239,40	220,68
100.000	10	208,00	266,00	245,20
500.000	50	1.040,00	1.330,00	1.226,00
1.000.000	100	2.080,00	2.660,00	2.452,00

Quadro 27 - Comparativo dos valores de (Qpd) em função da área do lote ou loteamento para algumas municipalidades brasileiras.

Quanto a equação para determinação da vazão específica de pré-desenvolvimento e os seus respectivos resultados, verificou-se que estas apresentaram valores similares quando comparadas àqueles apresentadas para outras localidades que utilizaram a mesma metodologia para a sua determinação.

4.2.3 Volume de controle

Conforme apresentado na revisão bibliográfica, o controle do volume de escoamento pluvial pode ser realizado utilizando reservatórios de detenção (RD), de tal forma que eles mantenham a vazão de pré-desenvolvimento nas saídas dos lotes e loteamentos.

Seguindo a metodologia apresentada do capítulo referente ao volume de controle, foi determinado os volumes de reservação para áreas impermeáveis desta localidade com variação de 5 até 100%.

Na sequência, após os volume de reservação terem sido ajustados com $R^2 = 0,998$, o volume específico de controle para o município foi obtido com a equação 15.

$$v = 4,92 \times AI \quad (15)$$

sendo, v , o volume específico em $m^3.ha^{-1}$, AI a área impermeável do terreno em %.

O quadro 28 apresenta os valores obtidos com a equação 15 deste estudo, além de parte dos resultados obtidos e apresentados por Amaral e Bemfica (2013) em um estudo comparativo com relação aos volumes de microrreservatórios de retenção de águas pluviais nos municípios brasileiros, e suas respectivas formulações.

(continua)

Área Lote (m ²)	AI (%)	Volume (m ³)							
		Santa Maria	Porto Alegre (*)	Campo Grande e BH (legis.) (*)	SP; RJ (IP=0,06 m/h) e Niterói (*)	Santos Insular (*)	Guarulhos São Carlos Brotas (*)	Campo Grande (Plano Diretor) (*)	Brasília (*)
600	50	14,76	12,75	0,00	0,00	0,00	3,60	17,57	14,12
	75	22,14	19,13	0,90	4,05	0,00	3,60	26,36	21,17
	90	26,57	22,95	3,60	4,86	4,86	3,60	31,63	25,41
	100	29,52	25,50	5,40	5,40	5,40	3,60	35,15	28,23
1.000	50	24,60	21,25	0,00	4,50	0,00	6,00	29,29	23,53
	75	36,90	31,88	1,50	6,75	0,00	6,00	43,94	35,29
	90	44,28	38,25	6,00	8,10	8,10	6,00	52,72	42,43
	100	49,20	42,50	9,00	9,00	9,00	6,00	58,58	47,05
2.000	50	49,20	42,50	0,00	9,00	0,00	12,00	58,58	47,05
	75	73,80	63,75	3,00	13,50	0,00	12,00	87,87	70,58
	90	88,56	76,50	12,00	16,20	16,20	12,00	105,44	84,69
	100	98,40	85,00	18,00	18,00	18,00	12,00	117,16	94,10

(conclusão)

3.000	50	73,80	63,75	0,00	13,50	0,00	18,00	87,87	70,58
	75	110,70	95,63	4,50	20,25	0,00	18,00	131,81	105,86
	90	132,84	114,75	18,00	24,30	24,30	18,00	158,17	127,04
	100	147,60	127,50	27,00	27,00	27,00	18,00	175,74	141,15
5.000	50	123,00	106,25	0,00	22,50	0,00	30,00	146,45	117,63
	75	184,50	159,38	7,50	33,75	0,00	30,00	219,68	176,44
	90	221,40	191,25	30,00	40,50	40,50	30,00	263,61	211,73
	100	246,00	212,50	45,00	45,00	45,00	30,00	292,90	235,25
10.000	50	246,00	212,50	0,00	45,00	0,00	60,00	292,90	235,25
	75	369,00	318,75	15,00	67,50	0,00	60,00	439,35	325,88
	90	442,80	382,50	60,00	81,00	81,00	60,00	527,22	423,45
	100	492,00	425,00	90,00	90,00	90,00	60,00	585,80	470,50

Quadro 28 - Apresenta o comparativo dos valores do volume de reservação em função da área de impermeabilização do lote ou loteamento para algumas municipalidades brasileiras. (*) Adaptado de Amaral e Bemfica (2013).

Amaral e Bemfica (2013) constataram que a falta de padronização dos critérios de dimensionamento empregado pelas municipalidades resultam em diferenças significativas nos volumes de reservação. Segundo os autores, basicamente os critérios adotados pelas municipalidades brasileiras podem ser divididos em três grandes grupos, sendo o primeiro grupo no qual é classificada as formulações das cidades de Porto Alegre, Campo Grande (Plano Diretor) e Brasília, cujo volume dos reservatórios é obtido a partir da diferença entre as vazões de pré e pós-desenvolvimento com um tempo crítico de forma a maximizar esse volume. Podendo ser incluído neste primeiro grupo o município de Santa Maria (RS) que utiliza a mesma metodologia básica.

O segundo grupo no qual é classificada as formulações das legislações da Cidade e do Estado de São Paulo, Santos, Rio de Janeiro, Niterói e Curitiba, cuja formulação utiliza uma chuva padrão com uma duração fixa de uma hora, além de um coeficiente de abatimento. E o terceiro e ultimo grupo ao qual engloba as legislações dos municípios de Belo Horizonte, Campo Grande, Brotas, São Carlos e Guarulhos, e que define um volume fixo de reservação em função da área que excede à taxa máxima de impermeabilização admitida (AMARAL e BEMFICA, 2013).

Com base no estudo apresentado por Bemfica e Amaral, (2013), é possível observar que os resultados apresentados para os volumes de reservação calculados com base na chuva

de uma hora de duração resultam em valores extremamente baixos quando comparados aos valores apresentados pelos municípios do primeiro grupo, já o critério adotado por algumas das municipalidades do terceiro grupo e que leva apenas em consideração o tamanho do lote e não considera a taxa de impermeabilização é bastante questionável, pois não proporciona nenhum estímulo para a manutenção de áreas permeáveis.

A metodologia empregada pelos municípios do primeiro grupo e que utilizam as equações com duração crítica de chuva a fim de maximizar os volumes, tende a fornecer uma melhor representatividade dos volumes de reservação, isso pelo fato de que nesta metodologia são consideradas as vazões de pré e pós-desenvolvimento que conseqüentemente levam em consideração as características locais de cada município.

4.2.4 Comparativo entre valores de intensidades de precipitação e vazão máxima apresentados no PLAMSAB (2013) e os valores obtidos a partir da nova equação IDF (SM) (equação 13)

O PLAMSAB (2013), no seu volume III apresenta nas páginas 171 e 172 uma previsão de implantação da rede de microdrenagem no município.

Para isso, os autores do PLAMSAB (2013) adotaram as seguintes hipóteses: fixou-se um valor referente ao diâmetro máximo de 1.500 mm, correspondente a um coletor de concreto com declividade de $0,01 \text{ m.m}^{-1}$, com capacidade de conduzir um fluxo de $6,9 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, atuando com eficiência máxima de 80%.

Os autores justificam que o fluxo de $6,9 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ é correspondente ao fluxo máximo de escoamento calculado mediante o método racional no ponto mais baixo da bacia de drenagem com a utilização dos seguintes parâmetros:

- Coeficiente de escoamento (C) = 0,6;
- Área da bacia (A) = $1,5 \text{ km}^2$;
- Tempo de concentração da bacia (t_c) = duração da chuva (t) = 1,63 horas (aproximadamente 98 minutos);

- Período de recorrência do evento chuvoso em anos (Tr) = 10 anos;
- Intensidade de chuva (I) = 27,4 mm.h⁻¹.

Com relação a este último item, o valor referente à intensidade de chuva (I), os autores enfatizam que para a sua obtenção foi utilizado o ajuste de extremo Gumbel dos dados registrados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), não sendo especificado, porém qual o tamanho da série histórica destes dados analisados. Em outras palavras, eles não utilizaram nenhuma das IDF's existentes no município disponíveis na época (Belinazo, 1991 ou Pfafstetter, 1957).

Fazendo uso da equação 13 (nova IDF de SM), e considerando os mesmos valores de duração de chuva e período de recorrência utilizados no PLAMSAB, resulta uma intensidade de chuva (I) de 42,72 mm.h⁻¹ que é significativamente diferente do valor de 27,4 mm.h⁻¹ utilizado no PLAMSAB.

Para esta intensidade, e para os mesmos valores de coeficiente de escoamento e área da bacia, resulta uma vazão de 10,69 m³.s⁻¹, valor este quase 56% maior que a apresentada no PLAMSAB (2013).

Outra questão a ser levada em conta no que se refere aos parâmetros adotados por parte dos autores do PLAMSAB (2013), se refere ao tempo de concentração adotado com valor de 1,63 horas (aproximadamente 98 minutos) valor este que é relativamente alto para uma bacia de 1,5 km².

Esta diferença nos resultados, já foi relatada em Porto Alegre (RS), onde Allasia (2002) afirma que em termos de custos com a implantação de redes de microdrenagem, as incertezas com relação à estimativa de chuva representam um impacto considerável sobre este fator. Neste município, as variações provocadas nos custos com diferentes valores de estimativas de chuva (em Porto Alegre existem 4 IDF diferentes, dependendo a região da cidade) representaram diferenças superiores a 40%. O autor ainda afirma que mais importante do que as diferenças nos custos, tais incertezas representa uma grande importância no que se refere à confiabilidade da rede de drenagem.

Ou seja, os indícios de que a rede de microdrenagem prevista no plano pode estar subdimensionada em função da incerteza dos parâmetros adotados, podem implicar em alargamentos mais frequentes e num custo como consequência das inundações muito mais

elevados quando comparados a um correto dimensionamento da rede de drenagem, além disso, tais incertezas colocam a população do município em condições de vulnerabilidade e insegurança.

4.3 Conclusões e recomendações sobre o diagnóstico do sistema de drenagem urbana do município de Santa Maria segundo o PLAMSAB (2013)

Com base nas definições de controle da drenagem na fonte, é possível afirmar que nenhuma das propostas efetivamente apresentadas para a drenagem urbana no PLAMSAB (2013) atende aos preceitos de medidas de controle na fonte, apesar dos autores reconhecerem que o controle da drenagem na fonte, tende a proporcionar a redução dos impactos decorrentes da urbanização.

As propostas apresentadas no PLAMSAB (2013), para a drenagem pluvial urbana, consistem na construção de aproximadamente 631 km de redes de drenagem e respectivos elementos de captação, além da construção de aproximadamente 180.000 m³ de depósito anti-DSP, sendo ambas as intervenções distribuídas na cobertura dos 20 anos do horizonte de projeto do Plano.

Apesar da recomendação dos próprios autores do Plano para que no município de Santa Maria, seja considerada a elaboração de uma legislação específica para a captação, retenção e uso de águas pluviais para as ocupações urbanas que impermeabilizem grandes parcelas do solo, não há nenhum tipo de proposta efetiva que contemple a elaboração desta legislação e tão pouco quais seriam os parâmetros de dimensionamento, referentes a captação e retenção das águas pluviais que deveriam conter na legislação específica sugerida pelos autores do PLAMSAB (2013).

Os autores do Plano, também mencionam que atualmente alguns sistemas de drenagem urbana adotam soluções alternativas que visam à redução dos impactos da urbanização sobre o comportamento hidrológico das bacias, e, assim colocam como objetivo secundário e de modo experimental, a implantação dessas técnicas alternativas de drenagem

nas novas urbanizações no último decênio do Plano Diretor, compreendido entre os anos de 2022 a 2032. Porém, para a implantação das técnicas alternativas de drenagem mencionadas no Plano, não há especificações de quais são os parâmetros que deverão ser adotados e levados em consideração para a implantação destas técnicas.

Observando os resultados obtidos neste estudo é possível afirmar que o município de Santa Maria (RS) há muito já necessitava de um documento e um estudo como o realizado pelos autores do PLAMSAB (2013).

O diagnóstico da drenagem urbana apresentada pelos autores do Plano se mostra preocupante e frente à projeção de crescimento da população, indubitavelmente se fazem necessárias as devidas intervenções sobre esta temática a curto, médio e longo prazo.

Mais do que isso, também se faz necessário um desenvolvimento urbano com o controle da drenagem pluvial na fonte, com a finalidade de se minimizar os impactos em decorrência das novas urbanizações e, conseqüentemente, os gastos do município com obras de correção e ampliação dos sistemas de drenagem urbana.

Fica evidenciada a necessidade de que no município de Santa Maria, da mesma forma que em outras municipalidades brasileiras, seja elaborada de uma legislação específica para a captação, retenção e uso de águas de pluviais para condomínios residenciais, centros comerciais, industriais e demais ocupações que impermeabilizem parcelas do solo urbano.

No contexto da elaboração de uma legislação específica para o controle da drenagem junto à fonte, é recomendada a inclusão dos parâmetros para o dimensionamento dos reservatórios de detenção (RD) definidos neste estudo, como por exemplo, a vazão específica de pré-desenvolvimento, o volume de controle, além da equação IDF atualizada. A utilização destes parâmetros tende a proporcionar resultados positivos quando da implantação da referida legislação e o futuro dimensionamento dos dispositivos de controle da drenagem.

A utilização da equação 13 (equação IDF atualizada) desenvolvida neste estudo reproduz com maior fidelidade o comportamento das intensidades de precipitação para esta localidade, sendo desta maneira recomendada a sua utilização quando do dimensionamento de obras de drenagem no município. Com relação às equações para determinação da vazão de pré-desenvolvimento e o volume de controle do escoamento pluvial com o uso de reservatório de detenção, verificou-se que estas apresentaram valores similares aqueles encontrados na

literatura para outras localidades que utilizaram a mesma metodologia para a sua determinação.

4.4 Verificação da viabilidade de implantação das medidas de controle da drenagem na fonte no perímetro urbano de Santa Maria - RS

4.4.1 Grupos hidrológicos de solo urbano de Santa Maria - RS

Em função do grupo hidrológico do solo, algumas das medidas de controle na fonte tendem a apresentar uma maior eficiência, por exemplo, as MCF que utilizam dispositivos como, valo de infiltração, pavimentos permeáveis, plano de infiltração, trincheiras de infiltração, apresentam um melhor desempenho quando instaladas em locais com solos do grupo hidrológico A e B. Por outro lado, quando da instalação desses dispositivos em solos do grupo hidrológico C e D, a eficiência desses dispositivos fica comprometida.

Neste sentido, para a indicação das mais apropriadas MCF para a área urbana do município de Santa Maria (RS), as informações com relação ao grupo hidrológico do solo, são fundamentais para uma implantação eficaz dessas medidas.

A partir do estudo realizado por Alves et al. (2011), é possível observar na figura 20 a distribuição dos grupos hidrológicos na área urbana do distrito sede de Santa Maria. Nesta localidade, observa-se que não há ocorrência de solos com características do grupo hidrológico A, como visto anteriormente, os solos com características do grupo hidrológico A tendem a proporcionar um melhor desempenho para as MCF que fazem uso da infiltração e/ou percolação.

Também é possível observar na figura 20, uma predominância de solos do grupo hidrológico C e B, principalmente na área central do mapa; já região norte do perímetro urbano, é possível observar que ocorre a predominância de solos do grupo hidrológico D.

Sendo os solos do grupo hidrológico D o de menor representatividade no distrito sede. O quadro 29 apresenta um resumo das proporções e áreas de cada grupo hidrológico do solo distribuído no perímetro urbano de Santa Maria.

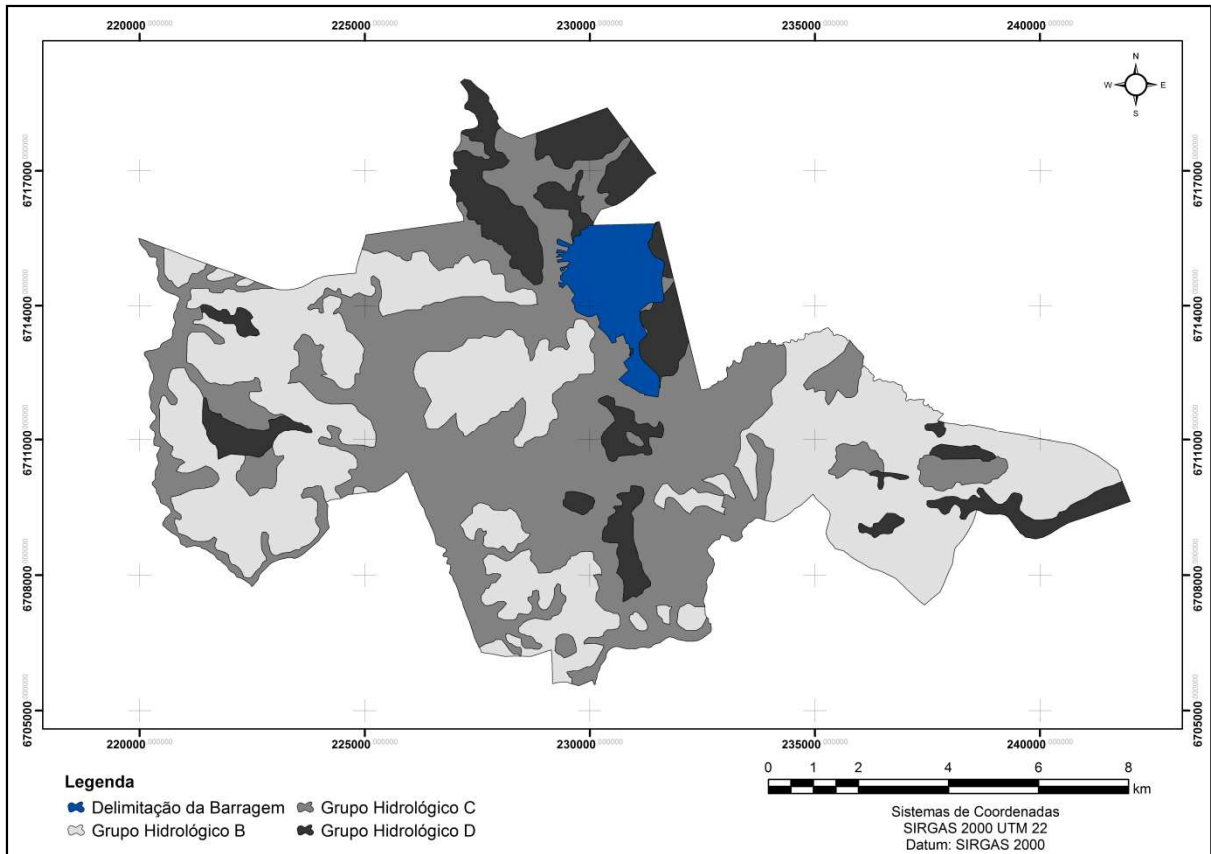


Figura 20 - Grupos Hidrológicos do Solo do Distrito Sede (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5675).

Grupo Hidrológico	Santa Maria	
	km ²	%
B	53,05	40,98
C	58,91	45,51
D	16,93	13,08
Água	0,56	0,43
TOTAL	129,45	100

Quadro 29 - Áreas e proporções de cada grupo hidrológico do solo do perímetro urbano de Santa Maria.

Para diferentes tipos de uso e ocupação do solo, Alves et al. (2011) classificaram o perímetro urbano do município de Santa Maria com os respectivos intervalos de valores Curva Número, <59; 60-66; 67-73; 74-80; 81-87; 88-94;>95.

Com base nos resultados obtidos apresentados na figura 21e no quadro 30, é possível observar uma predominância dos valores de Curva Número inferiores a 80.

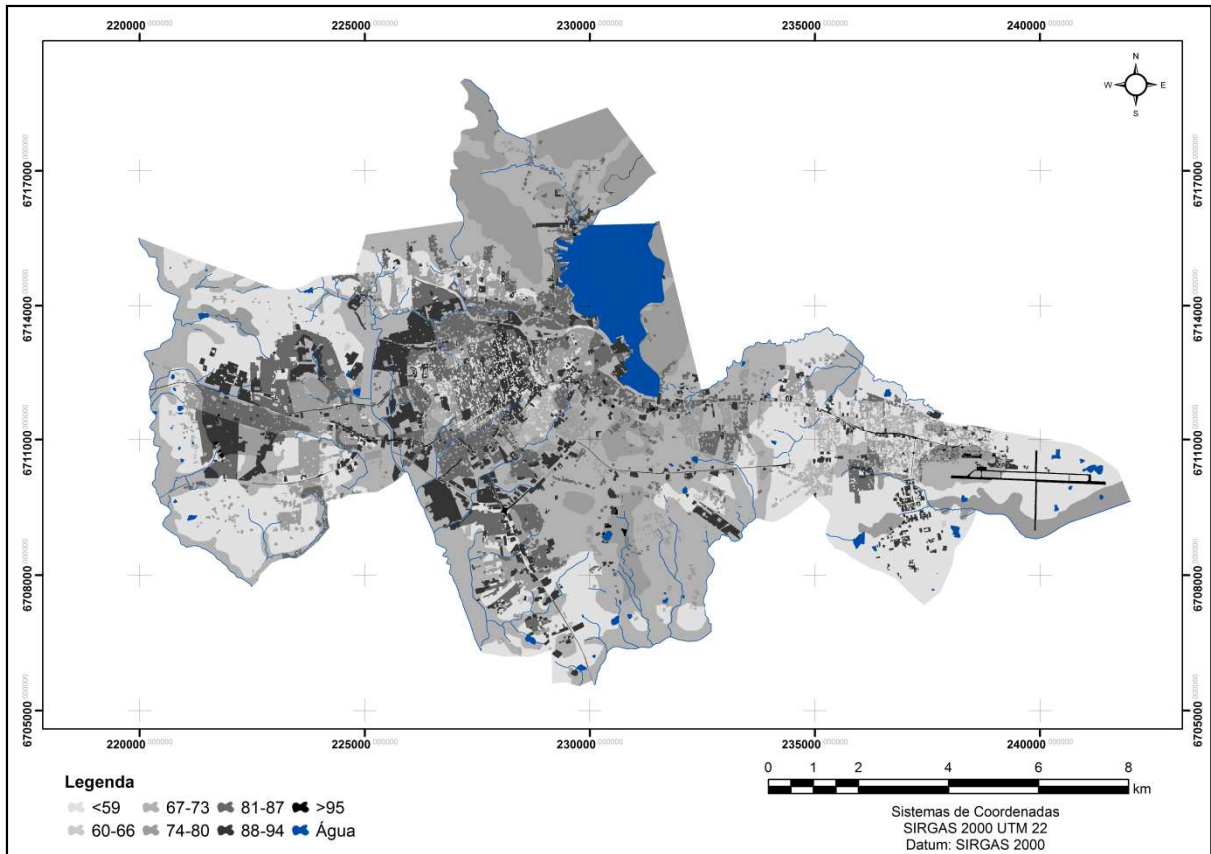


Figura 21 - Valores de Curva Número do perímetro urbano de Santa Maria (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5676).

Classes	Área (ha)	(%) com a área total do perímetro urbano do município
<59	3.369,26	26,02
60-66	38,33	0,30
67-73	4.325,90	33,41
74-80	2.496,29	19,28
81-87	1.425,76	11,01
88-94	996,26	7,70
>95	142,08	1,10
Água	152,46	1,18
Total	12.946,34	100

Quadro 30 - Porcentagem dos valores de Curva Número do perímetro urbano de Santa Maria (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p. 5677).

Segundo PLAMSAB (2013) a nova população que se estabelecer no município no período de 2010-2032 (horizonte de projeto do PLAMSAB) estará localizada nos locais com maior disponibilidade de espaço e menor densidade atual de população.

Ainda, segundo os autores do Plano, como resultado do aumento da população nos bairros com previsão de novos desenvolvimentos urbano, as redes de drenagem destes bairros terão de ser ampliadas.

As variações nas vazões de escoamento em função do aumento da população e consequente aumento da urbanização, não serão significativas nos bairros centrais do município. Por outro lado, os autores do PLAMSAB (2013) afirmam que os novos desenvolvimentos em bairros periféricos acarretarão em um aumento de impermeabilização e, consequentemente, nestes bairros o valor de Curva Número sofrerá um aumento.

A hipótese adotada pelos autores se justifica pelo fato de que os bairros centrais atualmente já possuem uma alta impermeabilização do solo. Ainda, segundo os autores, o aumento da impermeabilização que vier a ocorrer nestes bairros centrais certamente não acarretará em aumentos substanciais no valor de Curva Número tendo em vista que o limite máximo para este parâmetro é de 100 e que, teoricamente, corresponde a uma superfície totalmente impermeável.

O quadro 31 e a figura 22 apresentam os bairros que terão um aumento significativo de população e, consequentemente, sofrerão alteração com relação ao escoamento superficial resultante da urbanização (PLAMSAB, 2013).

Região Administrativa	Bairro	População 2010 (habitantes)	População 2032 (habitantes)	Crescimento Populacional (2010-2032) (%)
Centro-leste	São José	5.697	7.402	29,94
Centro-leste	Pé-de-Plátano	2.200	4.706	113,91
Leste	Camobi	21.822	29.217	33,89
Oeste	Boi Morto	2.561	6.097	138,06
Oeste	Tancredo Neves	11.456	12.697	10,84
Oeste	Agroindustrial	224	1.042	365,18
Sul	Lorenzi	5.621	7.392	31,51
Sul	Tomazetti	2.039	5.538	171,59

Quadro 31 - População urbana dos bairros de Santa Maria com previsão de novos desenvolvimentos no horizonte de projeto do PLAMSAB,(2013).

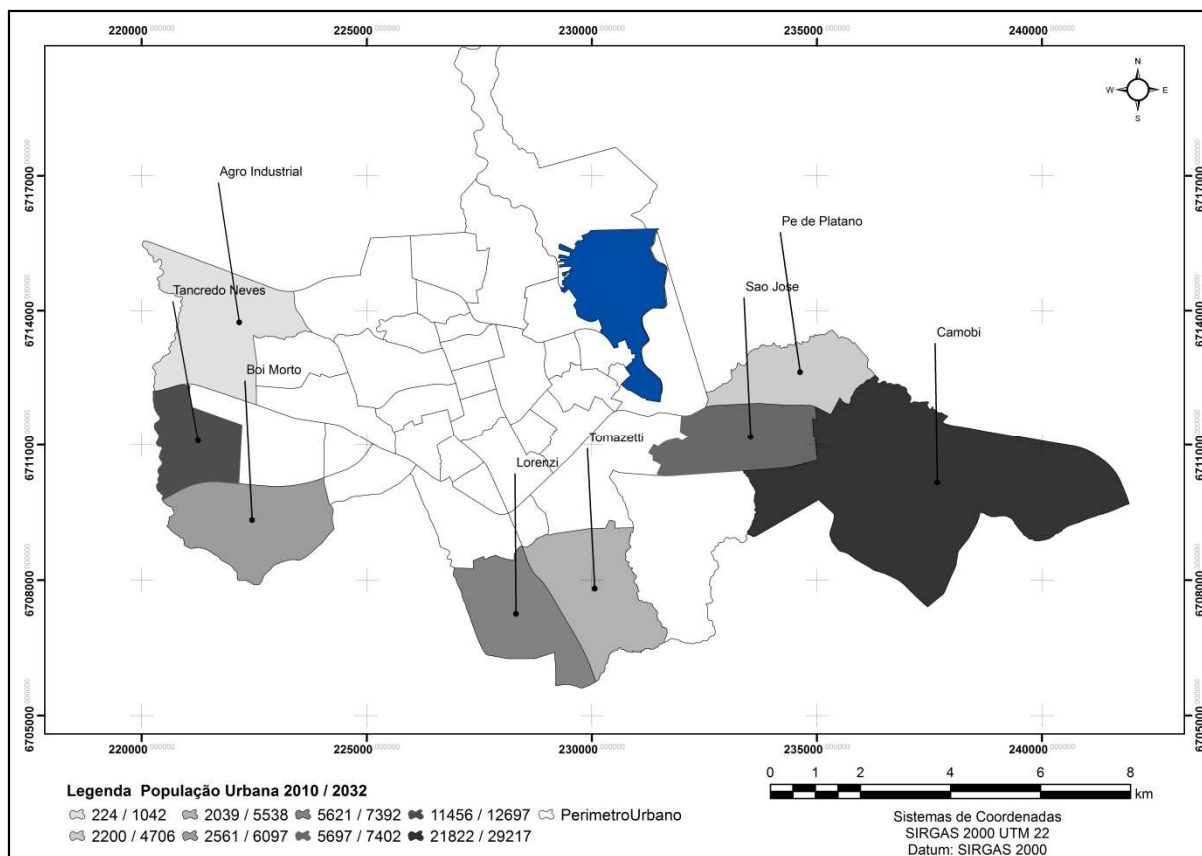


Figura 22 - População urbana dos bairros de Santa Maria com previsão de novos desenvolvimentos no horizonte de projeto do PLAMSAB-SM.

Na figura 23 é possível observar que nos bairros com previsão de novos desenvolvimentos ocorre uma predominância de solos do grupo hidrológico B. Do ponto de vista da utilização de MCF que tenham disposição por infiltração ou percolação, os solos deste grupo hidrológico apresentam um bom desempenho quanto à utilização deste dispositivo.

Por outro lado, segundo Urbonas e Strahre (1993) a disposição por infiltração e percolação não são apropriados para os solos do grupo hidrológico D, enquanto os solos do grupo hidrológico C não são recomendados para disposição por percolação.

Sendo assim mais apropriado que nos locais aonde ocorre os solos do grupo hidrológico D as MCF para estes locais sejam do tipo de dispositivos de armazenamento temporário.

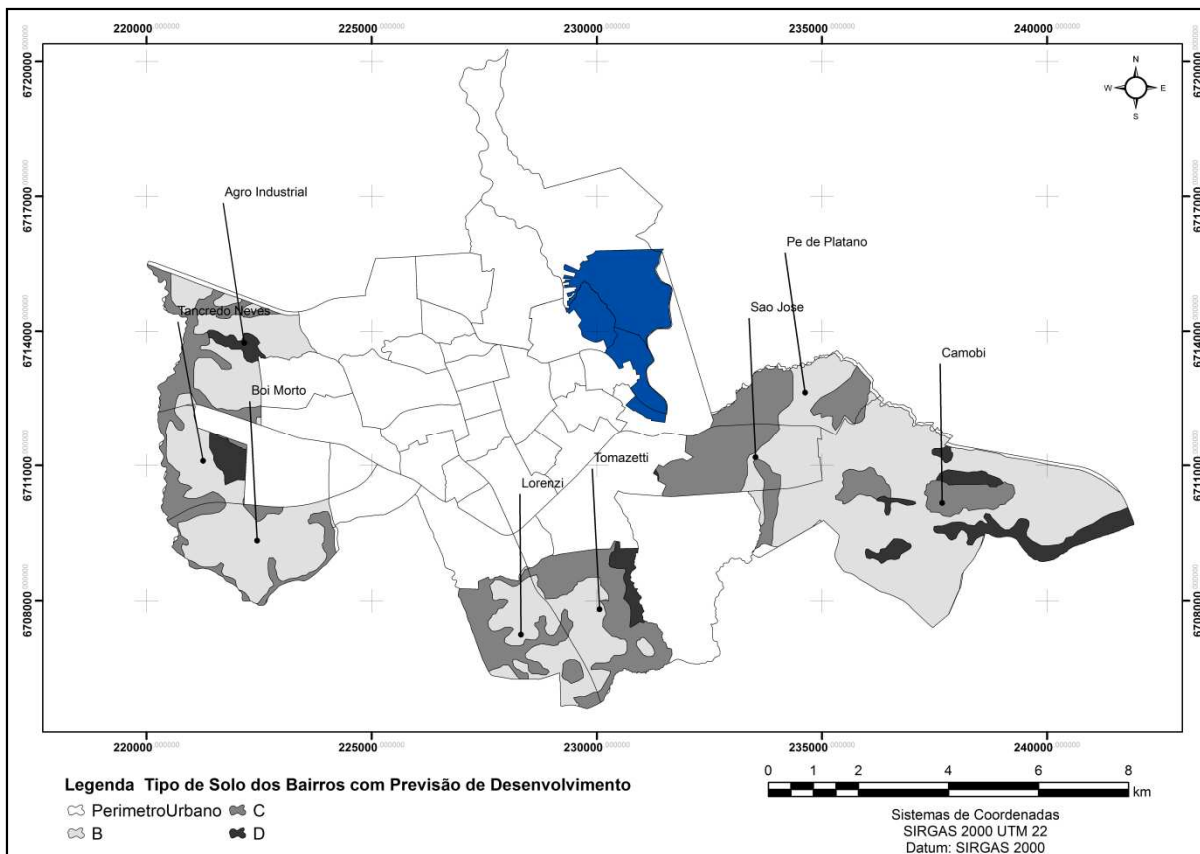


Figura 23 - Grupos Hidrológicos do Solo dos Bairros com Previsão de Desenvolvimento Futuro (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5675).

O quadro 32 apresenta a previsão de ampliação de rede de microdrenagem no horizonte de projeto do Plano segundo PLAMSAB (2013).

Segundo os autores do Plano, a ocupação e urbanização dos bairros com previsão de novos desenvolvimentos proporcionará um aumento da impermeabilização do solo, esta impermeabilização implicará num aumento das vazões máximas e este aumento por sua vez, influenciará na rede de drenagem.

Desta forma, segundo os autores do PLAMSAB (2013) haverá a necessidade de ampliação de rede de micro e macrodrenagem destes bairros.

Nome	Em novos desenvolvimentos que impliquem nova urbanização	Em zonas consolidadas com falta de capacidade na atualidade
São José	Sim	Sim
Pé-de-Plátano	Sim	Sim
Camobi	Sim	Sim
Boi Morto	Sim	Sim
Tancredo Neves	Sim	Sim
Agroindustrial	Sim	Sim
Lorenzi	Sim	Sim
Tomazetti	Sim	Sim
Demais Bairros	Não estão previstos novos desenvolvimentos.	Sim

Quadro 32 - Ampliação de redes de drenagem previstas no horizonte de projeto. (*) Adaptado de PLAMSAB

O quadro 33 apresenta a variação dos valores de Curva Número em função da ocupação do solo nos bairros com desenvolvimento futuro, segundo o PLAMSAB (2013), cabe ressaltar que este aumento de impermeabilização foi considerado, dentro dos bairros periféricos, somente nos novos solos a urbanizar, que não necessariamente coincide com a totalidade da superfície dos bairros em questão. A figura 24 apresenta a delimitação dos bairros com previsão de novos desenvolvimentos e os seus respectivos valores de Curva Número.

Nome	Curva Número (atual)	Curva Número Valor Máximo previsto nos novos desenvolvimentos
São José	55	80
Pé-de-Plátano	68	80
Camobi	55	80
Boi Morto	55	80
Tancredo	55	80
Agroindustrial	55	80
Lorenzi	55	80
Tomazetti	55	80

Quadro 33 - Variação na impermeabilização dos novos desenvolvimentos. (*) Adaptado de PLAMSAB

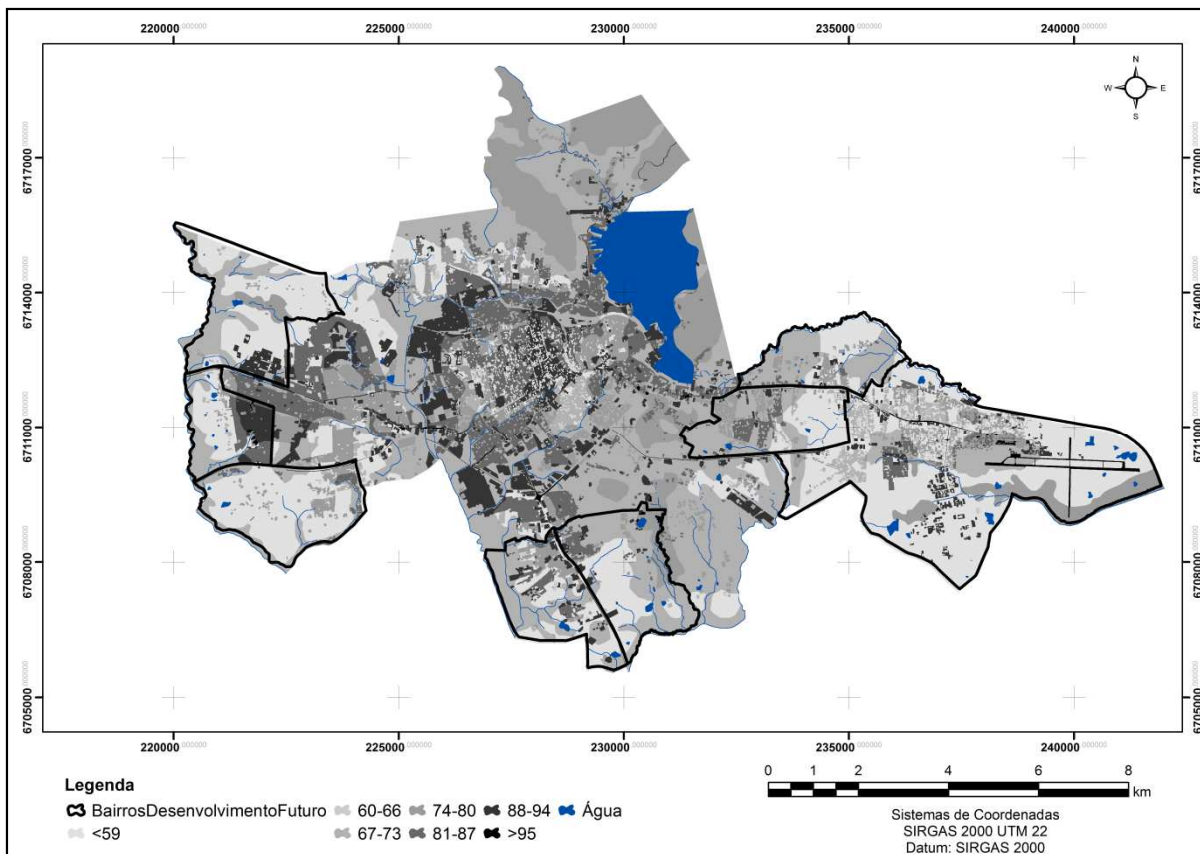


Figura 24 - Valores de Curva Número dos Bairros com Previsão de Desenvolvimento Futuro do perímetro urbano de Santa Maria (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5676).

Em relação aos valores de CN, em estudo realizado por Allasia (2002) em Porto Alegre (RS), o autor relata que pequenas alterações no valor de CN implicam em aumentos significativos nos valores da vazão.

4.4.2 Medidas de controle mais apropriadas para o município

Observando a figura 25, que mostra apenas as regiões com solo do grupo hidrológico B, é possível notar que em grande parte do perímetro urbano de Santa Maria ocorre um potencial para a utilização de MCF cujo princípio de funcionamento é a infiltração e percolação. Conforme visto anteriormente no quadro 29, em 53,05 km² do perímetro urbano de Santa Maria existe a ocorrência de solo deste grupo hidrológico, isso representa 40,98% do

total da área urbana com potencialidade de utilização de MCF que façam a disposição das águas pluviais por infiltração e percolação.

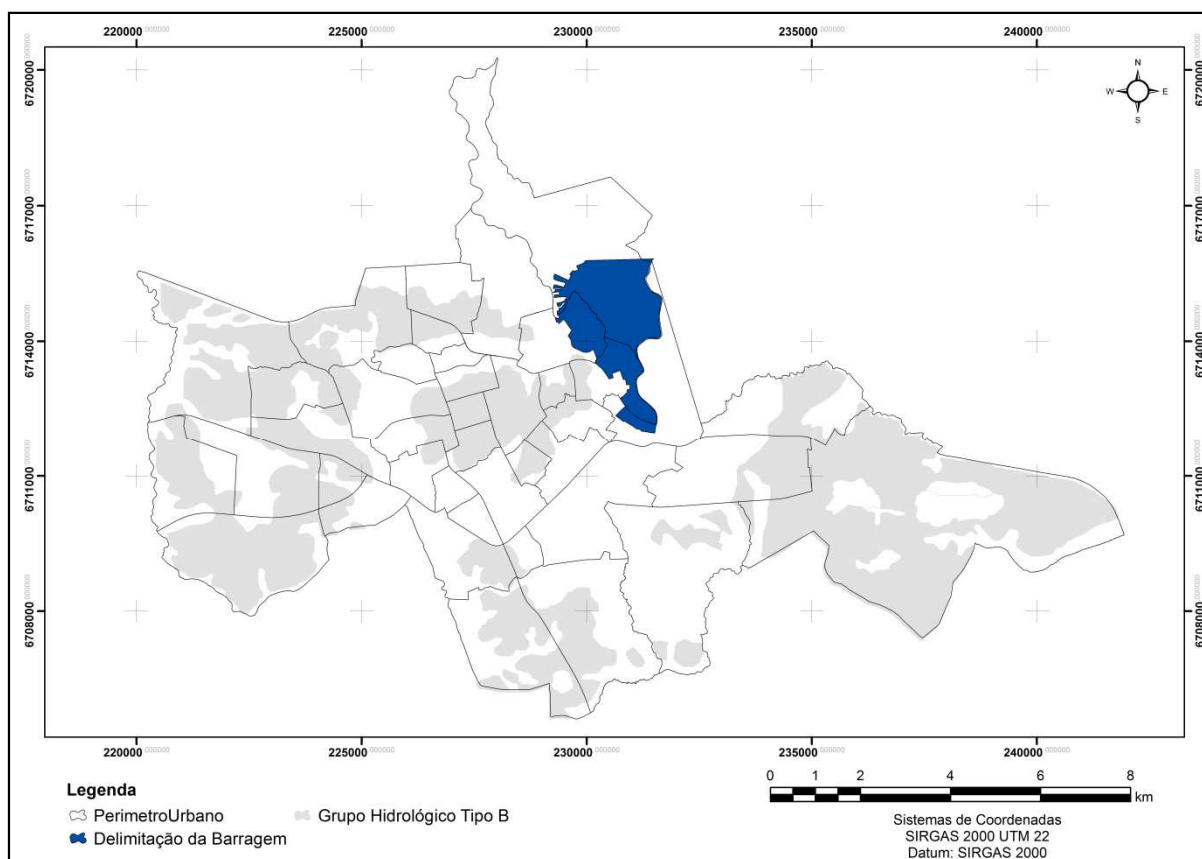


Figura 25 - Representação espacial de solos pertencentes ao Grupo Hidrológico B. (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5675).

Deste modo, os novos lotes ou loteamentos a serem implantados nas regiões com ocorrência de solos do grupo hidrológico B apresentam um bom potencial para a utilização de dispositivos de redução do escoamento superficial que façam uso de infiltração e ou percolação.

Segundo Urbonas e Stahre (1993), outras características locais devem ser levadas em consideração quando da disposição de águas pluviais por infiltração e ou percolação, como por exemplo, verificação in loco da profundidade do lençol freático no período chuvoso, sendo que esta profundidade na ocasião deste período deverá ser maior que 1,20 metros

abaixo da superfície infiltrante ou no caso de percolação, maior que 1,20 metros abaixo do leito de percolação.

Outra verificação *in loco* necessária sugerida por Urbonas e Stahre (1993) quando da utilização destes dispositivos, se refere à profundidade da camada impermeável do solo, esta por sua vez também deverá ter uma profundidade maior que 1,20 metros abaixo da superfície infiltrante ou do leito de percolação

A partir da figura 26 é possível notar a ocorrência dos solos do grupo hidrológico C. Esta ocorrência é predominante na faixa central do perímetro urbano além das regiões das norte e sul, sendo possível notar que em alguns bairros há a ocorrência de solos do grupo hidrológico C em quase 100% da sua área total.

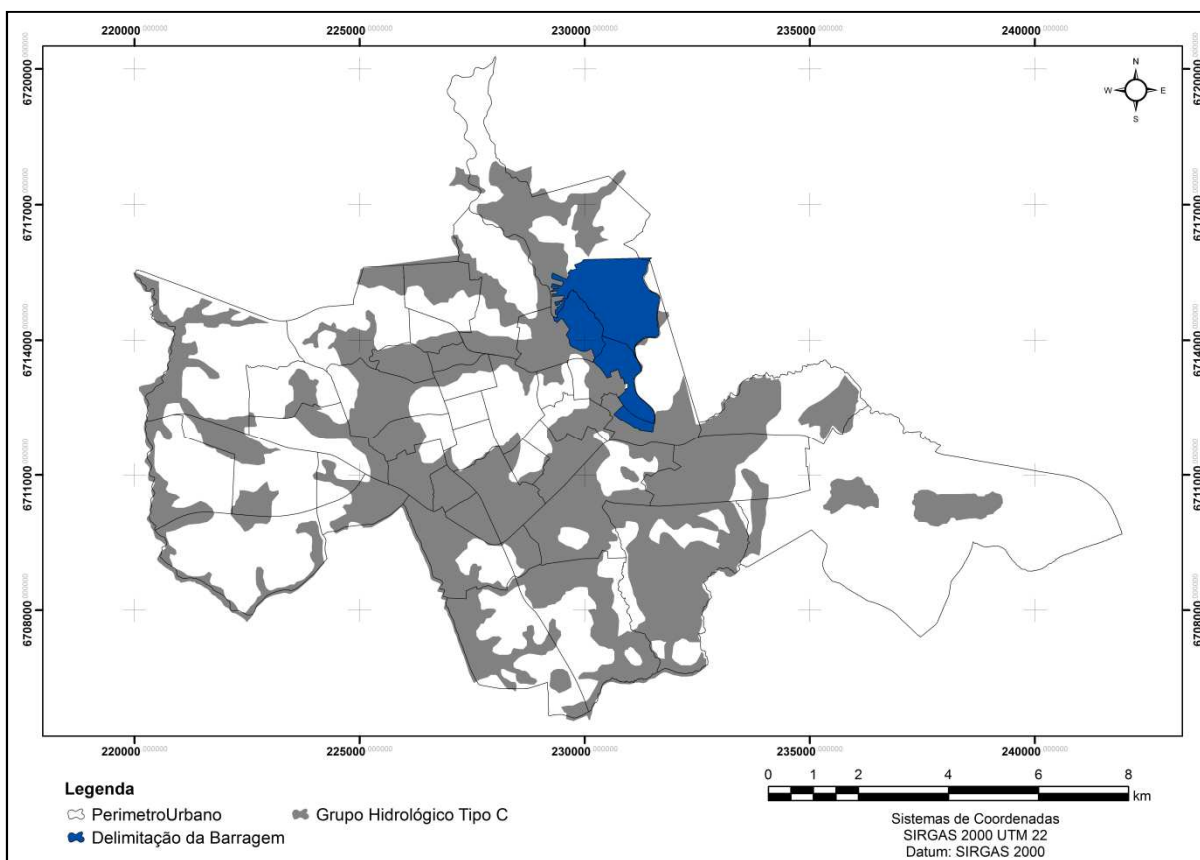


Figura 26 - Representação espacial de solos pertencentes ao Grupo Hidrológico C. (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5675).

Para estas regiões não é recomendada a utilização de dispositivos de controle da drenagem que façam uso de percolação para a disposição das águas pluviais (Urbanas e Stahre, 1993), sendo mais apropriada para estas localidades a utilização de dispositivos de infiltração ou reservatórios de detenção.

É o grupo hidrológico C, o que possui a maior representatividade no perímetro urbano de Santa Maria, conforme observado no quadro 29, com 58,91 km² os solos deste grupo hidrológico ocupam 45,51% do distrito sede.

Com relação aos solos do grupo hidrológico D, observa-se na figura 27, uma menor ocorrência deste grupo hidrológico, conforme as informações do quadro 29, com 16,93 km², estes grupo hidrológico ocupa apenas 13,08% da área total do distrito sede.

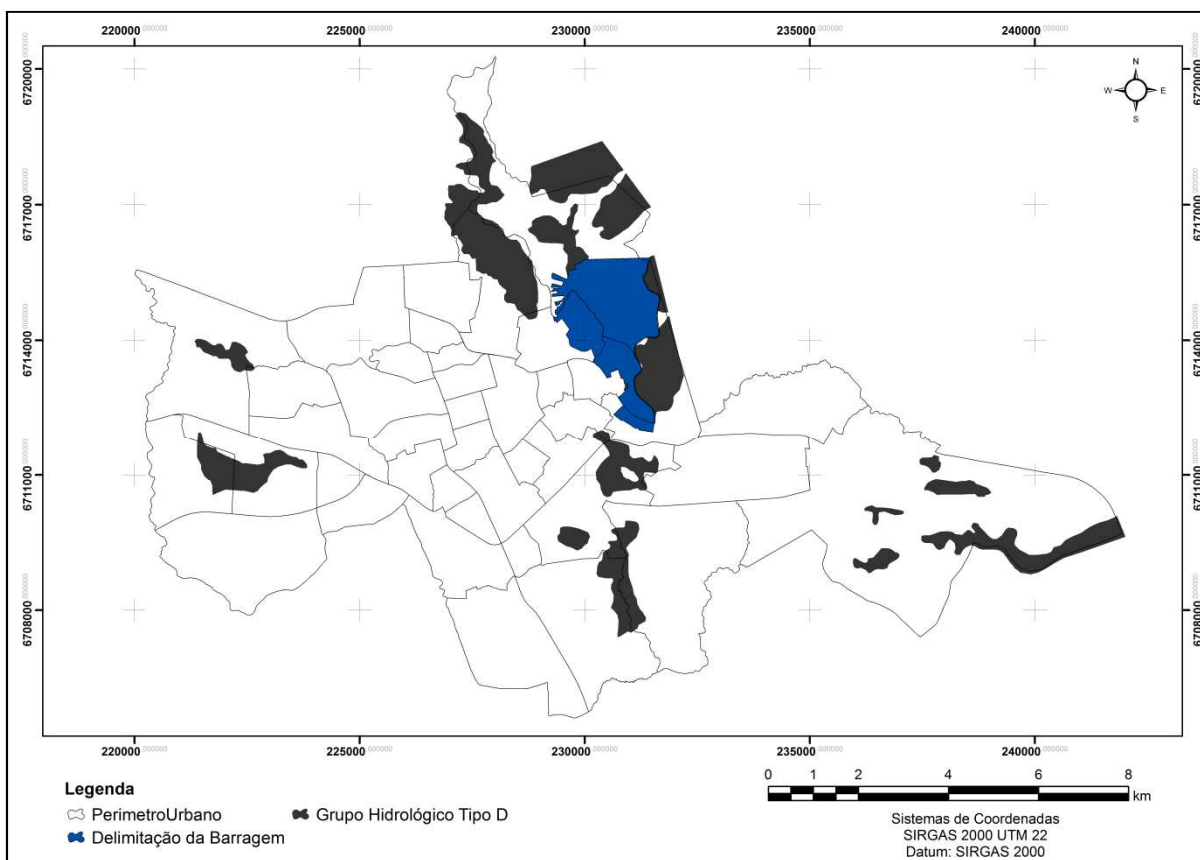


Figura 27 - Representação espacial de solos pertencentes ao Grupo Hidrológico D. (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5675).

É possível notar que este grupo hidrológico está mais concentrada na região norte do perímetro urbano do município com pequenas ocorrências nas demais regiões. Segundo Urbonas e Stahre (1993), na ocorrência de solos do grupo hidrológico D, não é recomendada a utilização de dispositivos de controle da drenagem que façam uso de infiltração e ou percolação para a disposição das águas pluviais.

Assim, na implantação de novos parcelamentos do solo ou mesmo para novas edificações nestas localidades, o mais recomendado para o controle da drenagem é a utilização de reservatórios de retenção.

Como visto anteriormente as principais medidas de controle na fonte (MCF) segundo IPH/DEP (2005) são:

- Aumento da infiltração por meio da utilização de dispositivos como, por exemplo, valo de infiltração, pavimentos permeáveis, plano de infiltração, entre outros.
- Armazenamento temporário do escoamento pluvial, o armazenamento pode ser realizado em pequenos reservatórios urbanos distribuídos na fonte em escala de lote, microdrenagem ou até mesmo em escala de macrodrenagem.

Ainda segundo IPH/DEP (2005), as MCF que proporcionam o aumento da infiltração contribuem para a melhoria das condições ambientais e proporcionam a redução do escoamento superficial. Este tipo de medida somente é aplicada na fonte. No que se refere aos reservatórios urbanos, os autores afirmam que os reservatórios no lote são usados quando não se tem a possibilidade de controlar a drenagem em escala de microdrenagem e macrodrenagem em função das áreas já estarem loteadas.

Partido do pressuposto adotado no PLAMSAB (2013) e observado anteriormente no quadro 31 foi considerado neste estudo os mesmos bairros apresentados no Plano como sendo estes os potenciais locais de desenvolvimento futuro.

A região leste do perímetro urbano de Santa Maria é composta por um único bairro denominado Camobi, este bairro possui uma área total de 20,52 km², nesta região, além das áreas residenciais e comerciais que corresponde a 8,77 km², existe também a área pertencente

à Universidade Federal de Santa Maria com 5,82 km² e a área pertencente à Base Aérea de Santa Maria com 5,93 km².

O quadro 34 apresenta as áreas de cada grupo hidrológico do solo distribuído no bairro Camobi, observando a figura 28 e o quadro 34, é possível notar a predominância dos solos do grupo hidrológico B nesta localidade.

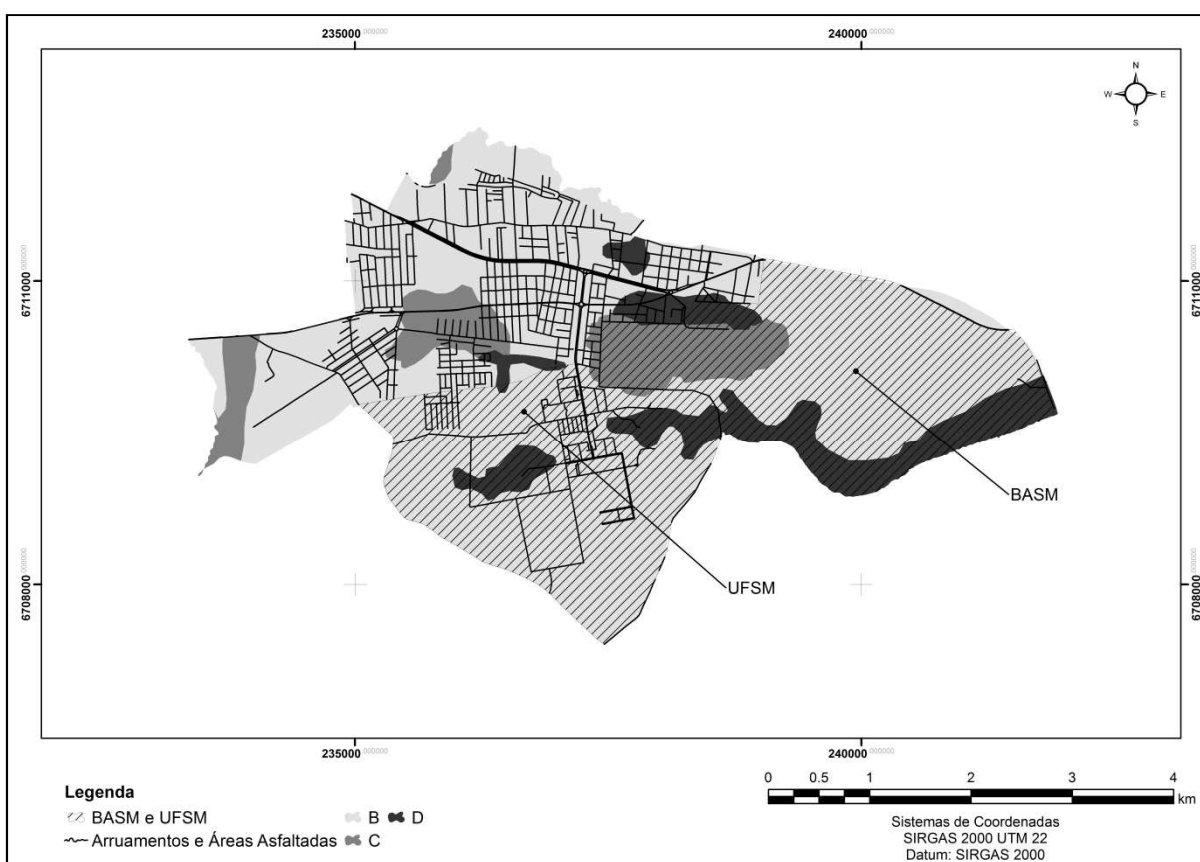


Figura 28 - Grupos Hidrológicos do Solo do Bairro da Região Leste. (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5675).

Do total de 8,77 km² de área residencial e comercial do bairro Camobi em 81,30% o que corresponde a 7,13 km² existe a presença de solos do grupo hidrológico B, os solos do grupo hidrológico C ocupam uma área de 1,18 km² que representa 13,46%, e, os solos do grupo hidrológico D ocupam uma área de apenas 0,46 km² que representa 5,24%.

Na área de 5,82 km² pertencente à Universidade Federal de Santa Maria, os solos do grupo hidrológicos B ocupam 5,19 km² e possuem uma representatividade de 89,17%, já os solos do grupo hidrológico C, ocupam apenas uma área de 0,03 km² com uma representatividade de 0,52%, enquanto os solos do grupo hidrológico D ocupam 0,60 km² com uma representatividade de 10,31%.

Também é possível notar a mesma predominância de solos do grupo hidrológico B na área de 5,93 km² pertencente à Base Aérea de Santa Maria, nesta localidade os solos do grupo hidrológico B possuem uma área de 3,59 km² com uma representatividade de 60,54%, já os solos do grupo hidrológico C ocupam uma área de 1,01 km² e representam 17,03%, enquanto que os solos do grupo hidrológico D ocupam uma área de 1,33 km² e representam 22,43%.

Grupo	Camobi		Camobi (UFSM)		Camobi (BASM)	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
B	7,13	81,30	5,19	89,17	3,59	60,54
C	1,18	13,46	0,03	0,52	1,01	17,03
D	0,46	5,24	0,60	10,31	1,33	22,43
TOTAL	8,77	100	5,82	100	5,93	100

Quadro 34 - Áreas de cada grupo hidrológico do solo distribuído no bairro Camobi.

Em se tratando de uma fase de estudo de viabilidade de proposta aos locais aptos a receber as MCF, é possível afirmar num primeiro momento, que em função da ocorrência de solos do grupo hidrológico B no bairro Camobi, esta localidade tem potencialidade em grande parte de sua área para receber MCF que façam uso de dispositivos de infiltração e ou percolação. Ainda assim seriam necessárias verificações in loco, segundo recomendações de Urbonas e Stahre (1993).

A figura 29 apresenta a ocorrência dos solos dos bairros da região centro-leste, composta pelos bairros São José e Pé de Plátano, é possível notar que nesta região, existe uma pequena ocorrência de solo do grupo hidrológico D, e uma equiparação da ocorrência dos solos dos grupos hidrológicos B e C.

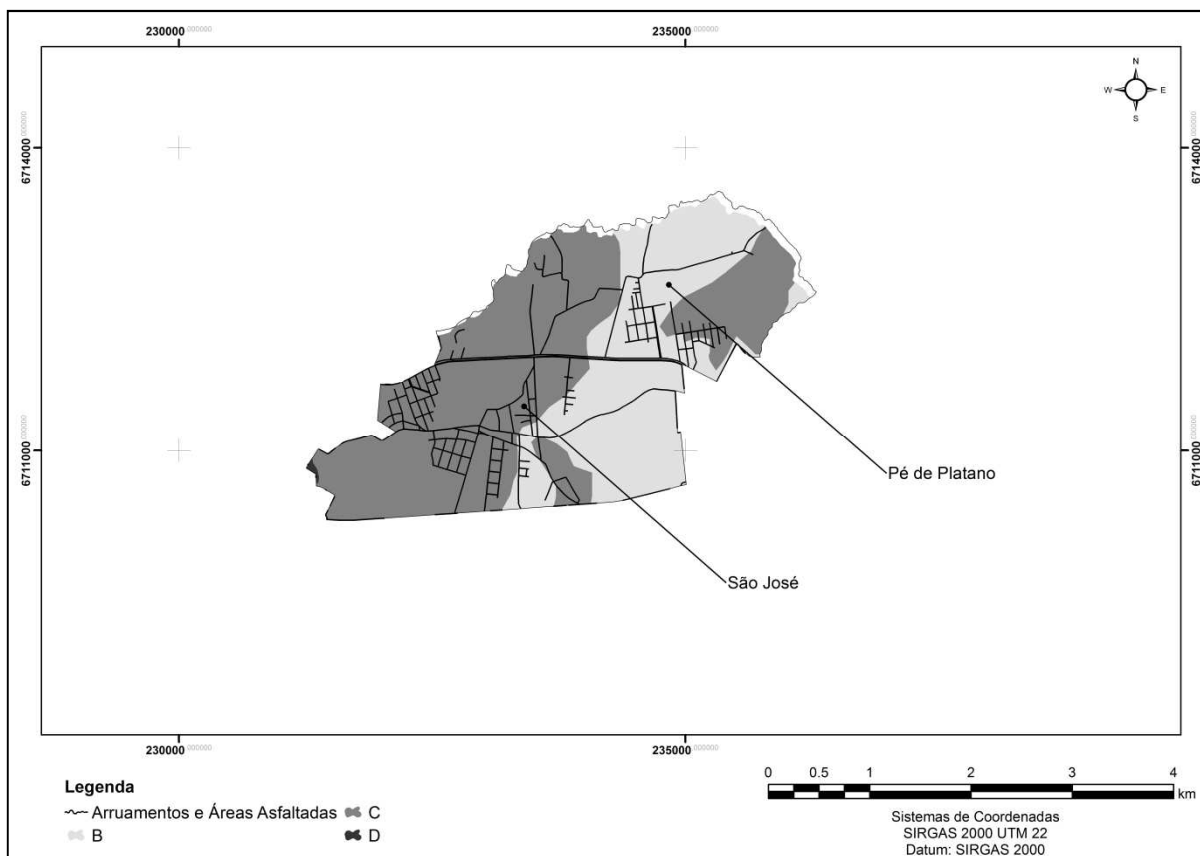


Figura 29 - Grupos Hidrológicos do Solo dos Bairros da Região Centro Leste. (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5675).

Observando o quadro 35 que apresenta as áreas de cada tipo de solo da região centro leste de Santa Maria, é possível notar nesta localidade uma maior ocorrência dos solos do grupo hidrológico C, por exemplo, no bairro São José existe a ocorrência de solos deste grupo hidrológico em 2,94 km² da sua área total o que equivale a 62,55% da área deste bairro. Em relação ao bairro Pé de Plátano, existe a ocorrência de solos do hidrológico C em 2,35 km² da sua área total o que representa 59,95% da área deste bairro.

Conseqüentemente, para os locais com solos deste grupo hidrológico como visto anteriormente, ainda que seja possível a utilização de dispositivos de drenagem que façam uso de infiltração, não é recomendado à utilização de dispositivos de drenagem que façam uso de percolação.

Grupo Hidrológico	São José		Pé de Plátano	
	km ²	%	km ²	%
B	1,75	37,23	1,57	40,05
C	2,94	62,55	2,35	59,95
D	0,01	0,22	0,00	0,00
TOTAL	4,70	100	3,92	100

Quadro 35 - Áreas de cada grupo hidrológico do solo distribuído nos bairros São José e Pé de Plátano.

Ainda com base nas informações do quadro 35, observasse que no bairro Pé de Plátano não existe a ocorrência de solo do grupo hidrológico D, com relação à existência de solo do grupo hidrológico B, ela ocorre em 1,57 km² o que equivale a 40,05% da área total desta localidade.

Já no bairro São José com base nas informações do quadro 35, existe a ocorrência de solo do grupo hidrológico B em 1,75 km² o que equivale a 37,23% da área deste bairro, com relação ao grupo hidrológico D, este ocorre em 0,22% desta localidade, o que representa apenas 0,01 km² da área do bairro São José.

Deste modo, para os locais desta mesma região administrativa, que possuem solos do grupo hidrológico B, observa-se uma grande potencialidade de utilização de dispositivos de drenagem que façam uso de infiltração e ou percolação.

A figura 30 e o quadro 36 apresentam as ocorrências de solos dos grupos hidrológicos B, C e D da região sul do perímetro urbano de Santa Maria, região administrativa composta pelos bairros Lorenzi e Tomazetti. É possível notar a ocorrência nesta região administrativa uma predominância de solos dos grupos hidrológicos B e C e com menor ocorrência de solos do grupo hidrológico D.

Por sinal, o grupo hidrológico D não é observado no bairro Lorenzi, este grupo hidrológico somente é observado no bairro Tomazetti com uma área de 0,56 km² que representa 9,69% da área total deste bairro. Ainda com relação ao bairro Tomazetti, observasse a predominância de solo do grupo hidrológico C, o solo deste grupo esta presente em 3,17 km² de sua área e representa 54,84% do total da área desta localidade, já o grupo hidrológico B ocupa 2,05 km² da área do bairro o que representa 35,47% do total da área deste bairro.

No bairro Lorenzi, ocorre a predominância de solo do grupo hidrológico B com 54% da área total deste bairro e uma ocupação de 2,63 km², os outros 46% da área do bairro Lorenzi e que representam 2,24 km² observasse a presença de solo do grupo hidrológico C.

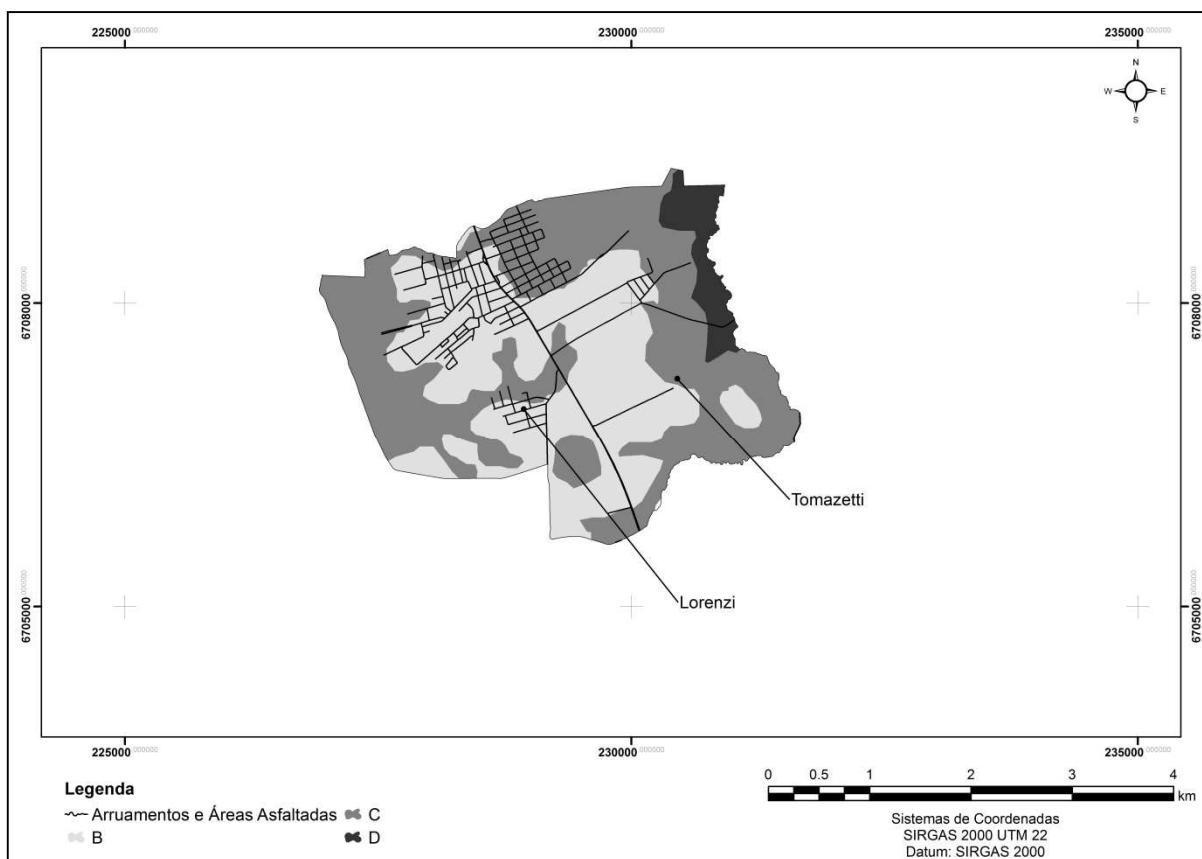


Figura 30 - Grupos Hidrológicos do Solo dos Bairros da Região Sul. (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5675).

Grupo Hidrológico	Tomazetti		Lorenzi	
	km ²	%	km ²	%
B	2,05	35,47	2,63	54
C	3,17	54,84	2,24	46
D	0,56	9,69	0,00	0,00
TOTAL	5,78	100	4,87	100

Quadro 36 - Áreas de cada grupo hidrológico do solo distribuído nos bairros Lorenzi e Tomazetti.

A figura 31 e quadro 37 apresentam os grupos hidrológicos dos solos da região oeste com potencial de novos desenvolvimentos futuros, sendo a região administrativa oeste composta pelos bairros Boi Morto, Agro Industrial e Tancredo Neves.

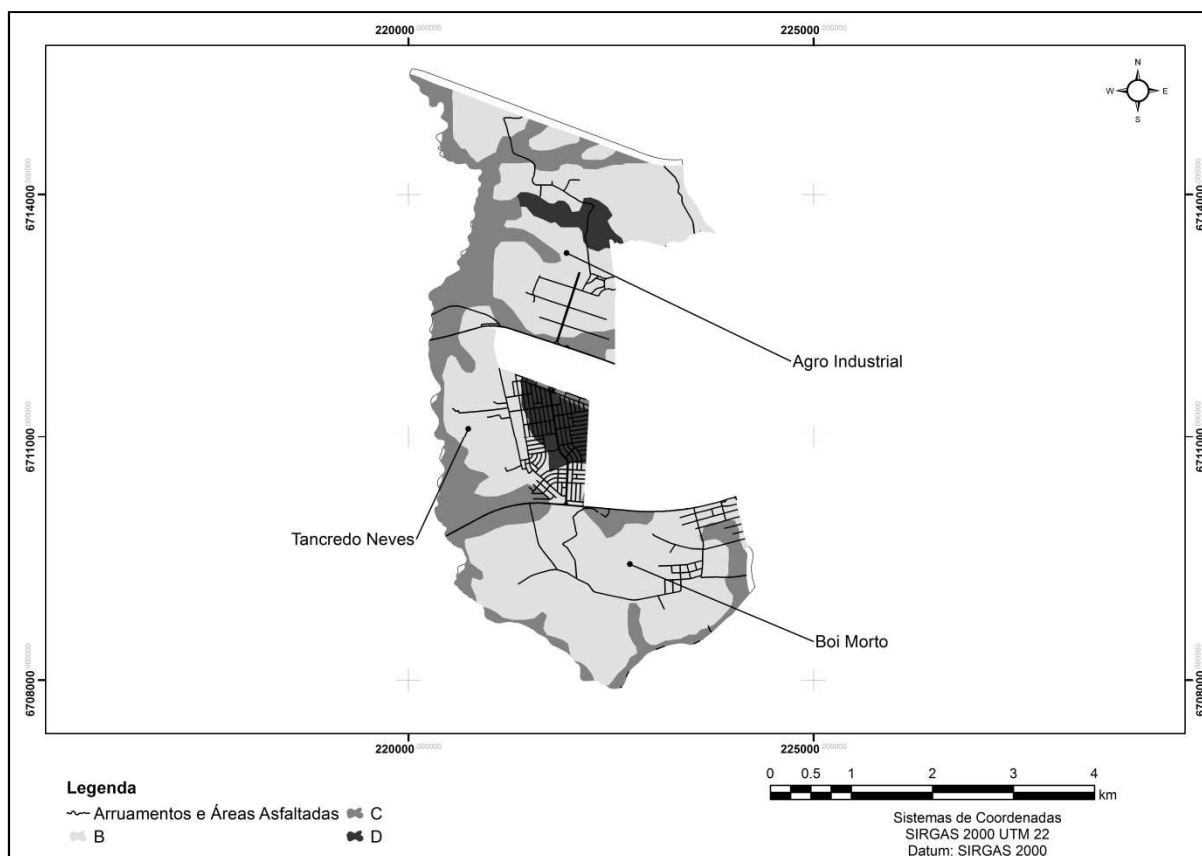


Figura 31 - Grupos Hidrológicos do Solo dos Bairros da Região Oeste. (*) Adaptado de Alves et al. (2011, p.5675).

Grupo Hidrológico	Boi Morto		Agro Industrial		Tancredo Neves	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
B	4,57	78,93	3,96	61,68	1,86	54,70
C	1,22	21,07	2,06	32,09	0,94	27,65
D	0,00	0,00	0,40	6,23	0,60	17,65
TOTAL	5,79	100	6,42	100	3,40	100

Quadro 37 - Áreas de cada grupo hidrológico do solo distribuído nos bairros Boi Morto, Agro Industrial e Tancredo Neves.

Nesta região administrativa é possível notar a ocorrência de solos dos três grupos hidrológicos presentes no perímetro urbano do município, com uma predominância de solos dos grupos hidrológicos dos tipos B e C e com menor ocorrência de solos do grupo hidrológico D.

Alias, nesta região assim como nas demais visto anteriormente, ocorre uma pequena presença de solos do grupo hidrológico D, no bairro Boi Morto não existe a ocorrência de solo deste grupo hidrológico, sendo observada esta ocorrência apenas nos bairros Agro Industrial com uma área de 0,40 km² que corresponde a 6,23% da área total do referido bairro, já no bairro Tancredo Neves a recorrência de solos do grupo hidrológico D esta presente em uma área de 0,60 km² que corresponde a 17,65% da área total deste bairro.

A predominância de ocorrência de solo na região oeste é a do grupo hidrológico B, no bairro Boi Morto, por exemplo, este grupo hidrológico ocupa uma área de 4,57 km² com uma representatividade de 78,93% da área total deste bairro, já no bairro Agro Industrial este grupo hidrológico ocupa uma área de 3,96 km² com uma representatividade de 61,68% da área total do bairro Agro Industrial.

No bairro Tancredo Neves a ocorrência de solo deste grupo hidrológico é observada em 1,86 km² o que representa 54,70% da área total deste bairro.

Com uma representatividade um pouco menor nesta região administrativa, é possível observar a ocorrência de solo do grupo hidrológico C, no bairro Agro Industrial, por exemplo, este grupo hidrológico ocupa 32,09% da área total deste bairro, isso representa uma área de 2,06 km².

No bairro Boi Morto o solo do grupo hidrológico C ocupa 1,22 km² e que representa 21,07% da área total desta localidade, já no bairro Tancredo Neves o solo do grupo hidrológico C ocupa uma área de 0,94 km² e que representa 27,65% da área total desta localidade.

O quadro 38 apresenta o resumo das áreas dos grupos hidrológicos do solo dos bairros com previsão de novos desenvolvimentos, a partir das informações contidas neste referido quadro é possível notar que nos bairros com previsão de novos desenvolvimentos ocorre uma predominância de solos do grupo hidrológico B com 58,47% da área total.

	Área	Grupo Hidrológico B	Grupo Hidrológico C	Grupo Hidrológico D
	km ²	km ²	km ²	km ²
Região Leste exceto UFSM e BASM	8,77	7,13	1,18	0,46
Região Centro-Leste	8,62	3,32	5,29	0,01
Região Sul	10,65	4,68	5,41	0,56
Região Oeste	15,61	10,39	4,22	1,00
Soma das Áreas (km²)	43,65	25,52	16,10	2,03
Total (%)	100	58,47	36,88	4,65

Quadro 38 - Resumo das Áreas de cada grupo hidrológico do solo dos bairros com previsão de novos desenvolvimentos.

Ainda com relação aos bairros com previsão de novos desenvolvimentos, os solos do grupo hidrológico C possuem uma representatividade de 36,88% do total da soma das áreas destes bairros, enquanto os solos do grupo hidrológico D estão presentes em apenas 4,65% desta área total.

4.5 Conclusões e recomendações com relação a viabilidade das medidas de controle da drenagem na fonte no perímetro urbano de Santa Maria - RS

A partir das observações realizadas neste estudo é possível afirmar, a partir dos dados disponíveis, que grande parte do perímetro urbano do município de Santa Maria - RS tem

potencial para a utilização de MCF que façam uso de infiltração e ou percolação para a disposição final das águas pluviais.

Em 53,05 km² do perímetro urbano do município existe a ocorrência de solo do grupo hidrológico B, isso significa que em 40,98% do total da área urbana, existe a potencialidade de utilização de MCF que façam a disposição das águas pluviais por infiltração e percolação.

Nos bairros com previsão de novos desenvolvimentos ocorre uma predominância de solos do grupo hidrológico B com 58,47% da área total destas regiões.

Sendo assim, para os novos lotes ou loteamentos a serem implantados nas regiões com ocorrência de solo do grupo hidrológico B, é recomendada a utilização de dispositivos de redução do escoamento superficial que façam uso de infiltração e ou percolação.

No que se refere ao grupo hidrológico C, observasse uma predominância na faixa central do perímetro urbano, além de ocorrência nas regiões norte e sul. Em alguns bairros há a ocorrência de solos deste grupo hidrológico em quase 100% da sua área total.

O grupo hidrológico C, é o que possui a maior representatividade no perímetro urbano de Santa Maria, conforme observado no quadro 29, o grupo hidrológico C ocorre em 58,91 km² do perímetro urbano de Santa Maria, o que corresponde a 45,51% da área total do distrito sede. Já nos bairros com previsão de novos desenvolvimentos, os solos do grupo hidrológico C possuem uma representatividade de 36,88% do total da soma das áreas destes bairros.

Para estas regiões o mais apropriado é a utilização de dispositivos de infiltração ou reservatórios de detenção, não sendo recomendada para estas localidades a utilização de dispositivos de controle da drenagem que façam uso de percolação para a disposição das águas pluviais.

Com relação aos solos do grupo hidrológico D, este é o de menor ocorrência, conforme as informações do quadro 29, com 16,93 km², estes grupo hidrológico ocupa apenas 13,08% da área total do distrito sede. É possível notar que este grupo hidrológico esta concentrada na região norte do perímetro urbano do município com pequenas ocorrências nas demais regiões. Nos bairros com previsão de novos desenvolvimentos os solos do grupo hidrológico D estão presentes em apenas 4,65% desta área total.

Para estas localidades, não é recomendada a utilização de dispositivos de controle da drenagem que façam uso de infiltração e ou percolação para a disposição das águas pluviais nestas localidades.

Assim, na implantação de novos parcelamentos do solo ou mesmo para novas edificações nas localidades aonde se observa a ocorrência de solos do grupo hidrológico D, o mais recomendado para o controle da drenagem é a utilização de reservatórios de retenção.

Como visto anteriormente, para os locais aonde se observa a ocorrência de solos do grupo hidrológico B, tem-se num primeiro momento uma potencialidade para a utilização de dispositivos de drenagem com disposição por infiltração e ou percolação, e para os locais com ocorrência de solos do tipo C o mais apropriado é seja feita a utilização de dispositivos de drenagem que façam uso de infiltração ou armazenamento temporário. Já para as localidades aonde se tem a ocorrência solos do grupo hidrológico D, o mais apropriado é a utilização de reservatórios de retenção (RD) para o controle ad drenagem junto à fonte.

A implantação de MCF nestas localidades tenderá a manter as condições hidrológicas mais próximas das condições naturais e proporcionará um desenvolvimento mais sustentável para esta municipalidade, e que também resultará em menos gastos para o setor público.

5 CONCLUSÃO GERAL

Frente ao diagnóstico da drenagem urbana e a projeção de crescimento da população apresentada pelos autores do PLAMSAB (2013) ficou evidenciada a necessidade de um correto planejamento do uso do solo e da ocupação urbana, com a finalidade de se obter a minimização dos impactos em decorrência das novas urbanizações e conseqüentemente a diminuição dos gastos do município com obras de correção e ampliação dos sistemas de drenagem urbana, o desenvolvimento urbano associado ao controle da drenagem pluvial na fonte tende a conduzir para este objetivo.

A partir do comparativo entre o TdR-SM, o TdR-Funasa e o próprio PLAMSAB, é possível afirmar que o referido Plano atende a apenas duas das cinco recomendações com relação as demandas e prospectivas técnicas mínimas no eixo de infraestrutura de águas pluviais que constam no TdR-Funasa, ainda cabe ressaltar que este atendimento ocorre de maneira parcial.

Com base na análise realizada neste estudo é possível afirmar que as propostas contidas no PLAMSAB (2013) e apresentadas para a drenagem urbana não atendem aos preceitos de medidas de controle na fonte. Não foram observadas dentre as propostas apresentadas no referido Plano, iniciativas que incentivem e favoreçam a infiltração, a percolação e a reservação temporária dos excedentes do escoamento gerados pela urbanização e novos usos do solo.

Apesar de a temática sustentabilidade constar dentre os mais importantes princípios norteadores do PLAMSAB segundo o seu TdR, com relação a drenagem urbana, não há no Plano nem no TdR-SM diretrizes e ações para o controle de escoamentos pluviais na fonte com a adoção de soluções que proporcionem o armazenamento, a infiltração e a percolação.

Essas ações são incentivadas e recomendadas pelo Ministério das Cidades por meio do seu manual para apresentação de propostas para o sistema de drenagem sustentável e de manejo das águas pluviais.

Ações voltadas apenas para a construção e a ampliação da rede de drenagem do município não se caracterizam como ações sustentáveis, a drenagem urbana baseada apenas na construção e ampliação de rede, são ações fundamentadas nos conceitos tradicionais de

drenagem urbana e certamente apenas irão transferir o problema da drenagem local para regiões adjacentes.

Com relação aos depósitos anti-descarga de sistemas pluviais (depósitos anti-DSP), em pesquisa realizada para esta dissertação, não foram encontradas experiências nas municipalidades brasileiras com a utilização dos depósitos anti-DSP, tão pouco informações sobre a eficiência deste dispositivo, quais parâmetros de dimensionamento, frequência de limpeza e manutenção, nem qual o tempo de detenção recomendado para este sistema, sendo desta forma questionável a implantação de tal sistema.

A potencialidade do município frente à implantação de medidas de controle da drenagem na fonte ficou evidenciada a partir dos resultados discutidos neste estudo, principalmente nas áreas com bairros com previsão de novos desenvolvimentos, aonde ocorre uma predominância de solos do grupo hidrológico B (58,47%) que é favorável para utilização de MCF que façam uso de infiltração e percolação, além da ocorrência de solos do grupo hidrológico C (36,88%) que é favorável para utilização de MCF que façam uso de infiltração.

Desta forma, para uma melhor adequação das medidas de controle da drenagem para o município de Santa Maria (RS), todos os novos parcelamentos do solo ou novas edificações independentemente das suas respectivas regiões administrativas, recomenda-se a adoção de MCF, o uso de práticas de drenagem em pequena escala, disseminados por toda a bacia hidrográfica a fim de reproduzir ou manter as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento se apresenta como uma alternativa positiva e possível para esta localidade.

Quando do dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem e de manejo das águas pluviais, para toda a área urbana do município é recomendada a utilização da equação 13 desenvolvida neste estudo e que representa as relações intensidade-duração-frequência (IDF) desta localidade.

Para o controle da drenagem na fonte, o seu dimensionamento deverá ser realizado por meio da manutenção da vazão de pré-desenvolvimento. A vazão de pré-desenvolvimento do município de Santa Maria é expressa em vazão específica de pré-desenvolvimento e é representada pela equação 14 desenvolvida neste estudo. A equação 14 é uma equação genérica para esta localidade e não deve ser usada para empreendimentos com áreas maiores de 100 ha (como equação genérica, por exemplo, assume um tipo de solo único no município o que não é real). No entanto, para empreendimentos de maior porte, recomenda-se sempre

um estudo hidrológico específico para a determinação da vazão de controle, evitando sub ou superdimensionamento de estruturas.

Para pequenos empreendimentos (menores que 100 ha), admitido que em uma situação desfavorável para a utilização de dispositivos de infiltração e/ou percolação, seja utilizado um reservatório de retenção (RD), o volume deste RD poderá ser determinado pela equação 15 que foi desenvolvida neste estudo, porém, para os empreendimentos de maior porte ou cuja segurança assim o requeira, deverá ser obtida por estudo específico.

6 RECOMENDAÇÕES

A elaboração de uma legislação específica para a captação, retenção e uso de águas pluviais para todos os níveis de impermeabilizações do solo urbano de Santa Maria (RS) é de extrema importância, principalmente tendo em vista que tal legislação não é contemplada em curto prazo pelo PLAMSAB. Nesta legislação deverá ser incentivado o controle da drenagem na fonte, e o seu dimensionamento deverá ser realizado por meio da manutenção da vazão de pré-desenvolvimento. Sempre que possível deverá ser priorizada a adoção de medidas de controle que utilizem a infiltração e a percolação.

Para os bairros com altas taxas de urbanização e que possivelmente não apresentarão novos desenvolvimentos urbanos, é recomendada a implantação de reservatórios de retenção na macrodrenagem (redes com dimensão superior a 1,5m) para o controle das águas pluviais já que não seria possível uma adoção simples em grande escala dos micro-reservatórios de lotes ou outras soluções no lote, uma vez que os mesmos já estão ocupados. Os reservatórios na Macrodrenagem devem ser dimensionados por estudos específicos que levem em conta os efeitos dinâmicos (modelagem hidrodinâmica).

Com todas estas limitações observadas, além do crescimento e importância de Santa Maria, fica evidente a necessidade imperiosa da elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Santa Maria, este Plano Diretor deve levar em consideração as características locais para planejar corretamente a drenagem do Município incluindo a adoção das medidas de controle da drenagem junto à fonte necessária, seja por infiltração, percolação ou retenção temporária.

Também devem ser realizados estudos mais específicos no que se refere ao comportamento do lençol freático e a profundidade da camada impermeável do solo no perímetro urbano de Santa Maria.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L.A. 2005. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Porto Alegre RS: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 145 f. Dissertação de mestrado.

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE SANTA MARIA (ADESM). **Arquivos**. Plano Municipal de Redução de Riscos de Santa Maria-RS. Santa Maria, outubro de 2006. Disponível em: < http://adesm.org.br/wp-content/uploads/2013/01/Plano_Municipal_RR.pdf >. Acesso em: 24 jan. 2014.

AGRA, S. G., 2001. **Estudo experimental de microrreservatórios para controle do escoamento superficial**. Porto Alegre RS: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 104 f. Dissertação de mestrado.

ALLASIA, D. G., TASSI, R., GONÇALVES, L. S. **Gestão Integrada da Drenagem Pluvial Urbana**. 2012. Disponível em:<ftp://ftp.conagua.gob.mx/CambioClimatico/PONENCIAS/Publicaciones_DanielAllasia/Gest%E3o%20Integrada%20da%20Drenagem%20Pluvial%20Urbana_ma.pdf> Acesso em: 20 jul. 2014.

ALLASIA, D. G., 2002. **Impacto das incertezas no custo de uma rede de macrodrenagem**. Porto Alegre RS: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 146 f. Dissertação de mestrado.

ALLASIA, D. G., TASSI, R., NEVES, M. G. F. P., VILLANUEVA, A. O. N., TUCCI, C. E. M. e CRUZ, M. A. S. (2003). “**Estudo de caso: Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre/RS**”. Anais do XV Congresso Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba.

ALVES, D. B. 2012. **Cobertura vegetal e qualidade ambiental na área urbana de Santa Maria - RS**. Santa Maria RS: UFSM – Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências. 155 f. Dissertação de mestrado.

ALVES, D. B.; SAUSEN, T. M; LACRUZ, M. S. P. **Modelagem dinâmica do escoamento superficial da área urbana do município de Santa Maria - RS**. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, XV, 2011. **Anais...** Curitiba, 2011.

AMARAL, M.M.S; BEMFICA, D. **Comparação dos volumes de microrreservatórios de retenção de águas pluviais em municípios brasileiros**. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO DO BRASIL, 2013- **PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento**, IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), FJP (Fundação João Pinheiro).

BACK, A.J. **Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga-SC**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande. v.13, n.2, p.170-175, 2009.

BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011. 318p.

BEIJO, L. A; MUNIZ, J. A; CASTRO NETO, P. **Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos do tipo I**. Ciência e Agrotecnologia, v. 29, n. 3, p. 657-667, 2005.

BELINAZO, H. J. (1991). **Metodologia computacional para análise das chuvas intensas: desenvolvimento e aplicação aos dados de Santa Maria –RS**. Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado.

BURNS, M. J; FLETCHER, T. D; WALSH, C. J; LADSON, A. R; HATT, B. E. **Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform**. Landscape and Urban Planning, Elsevier Science, v. 105, n. 3, p. 230-240, 2012.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: Carlos E. M. Tucci. (Organizador). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 2 ed., 1 reimp. 2000, p.177-241, 2000.

BOLFE, S. A. (2003) **Transformações do espaço urbano de Santa Maria-RS e sua região: tendências e condicionantes**. Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado em Geografia.

BRASIL **Termo de Referência para Elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico e Procedimentos Relativos ao Convênio de Cooperação Técnica e Financeira da Fundação Nacional de Saúde-FUNASA/MS**. 2012a. Brasília: Ministério da Saúde/Fundação Nacional da Saúde (FUNASA). Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2012/04/2b_TR_PMSB_V2012.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2014.

_____. Ministério das Cidades. 2012b. Programa 2040 Gestão de Risco e Resposta a Desastres. **Manual para Apresentação de Propostas para Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e de Manejo de Águas Pluviais**. 26 p.

_____. **Constituição de República Federativa do Brasil**, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm> Acesso em: 22 jul. 2014.

_____. **Decreto nº 3.555**, de 8 de agosto de 2002. **Aprova o Regulamento para a modalidade de licitação denominada pregão, para aquisição de bens e serviços comuns.** Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D3555.htm>. Acesso em: 22 jul. 2014.

_____. **Decreto nº 7.217**, de 21 de junho de 2010. **Regulamenta a Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm> Acesso em: 24 jul. 2014.

_____. **Lei Federal nº 10.257** de 10 de agosto de 2001. Regulamenta os artigos. 182 e 183 da Constituição Federal estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em: 24 jul. 2014

_____. **Lei nº 11.445** de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 24 jul. 2014.

_____. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos.** Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm> Acesso em: 24 jul. 2014.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP).** Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 30 abr.2014.

CANHOLI, A.P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**, 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302p.

CANHOLI, J. F. 2013. **Medidas de controle**. São Paulo SP. USP - Programa de Pós Graduação em Engenharia Hidráulica Sanitária. 183 f. Dissertação de mestrado.

CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C.; MORUZZI, R. B. **Cálculo do Volume do Reservatório de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva: comparação entre métodos para aplicação em residência unifamiliar.** In: Simpósio Nacional De Sistemas Prediais. São Carlos, 2007. Anais... São Carlos, 2007.

CASTRO, C. N. **Gestão das águas: experiências internacional e brasileira.** Brasília 2012. Textos para discussão, n. 1477. IPEA. 80 p. Disponível em: < <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1132>> Acesso em: 07/01/2015.

CHOW, V.T, MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill Education., 572 p., 1988.

COSTA, A. R.; RODRIGUES, A. A. **Método das isozonas: desvios entre resultados** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: ABRH, 1999. CD Rom.

CURITIBA. **Decreto municipal n.º 293**, de 22 de março de 2006. Regulamenta a lei nº 10.785/03 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências. Disponível em:<<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 10 out.2014.

DA FONSECA PIRES, C. A; DAL'ASTA, A, P. **Zoneamento geoambiental do perímetro urbano de Santa Maria–RS**, BRASIL. Caminhos de Geografia, v. 12, n. 40, 2011.

DAEE/CETESB. **Drenagem Urbana, Manual de Projeto**, Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento, São Paulo, 1986.

DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A. **Solos do município de Santa Maria**. Ciência & Ambiente. Santa Maria, n. 38, p.59-78, jan.-jun. 2009.

DALASTA, A. P. **Elaboração do zoneamento geoambiental do perímetro urbano de Santa Maria**, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado 2009.

DEP/PMPA (2000). **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre – Fundamentos**. Departamento de Esgotos Pluviais, Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

DIÁRIO DE SANTA MARIA - **Notícias**. Disponível em:<<http://diariodesantamaria.clicrbs.com.br/rs/galeria-de-fotos/>>. Acesso em: 30 nov. 2009.

DNIT (2005) - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Rio de Janeiro: DNIT.

ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A. **Período de retorno de chuvas em Santa Maria-RS**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas. v.16, p.265-269, 1992.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. **Rain Barrels**. Disponível em:<<http://www.epa.gov/reg3esd1/garden/rainbarrel.html>>. Acesso em: 13 out.2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA. **Tools**. Disponível em:<<http://www.epa.gov/brownfields/tools/swdp0408.pdf>>. Acesso em: 07 out.2014.

FARR, T.G.; KOBRICK, M. **Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data.** Eos, Transactions, American Geophysical Union, v.81, p. 583 -585, 2000.

FLETCHER, T. D.; DELETIC, A.; MITCHELL, V. G.; HATT, B. E. **Reuse of urban runoff in Australia: a review of recent advances and remaining challenges.** Journal of Environmental Quality, v. 37, n. 5_Supplement, p. S-116-127, 2008.

FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W.; HUNT, W. F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; VIKLANDER, M.; et. al. **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more–The evolution and application of terminology surrounding urban drainage.** Urban Water Journal, n. ahead-of-print, p. 1-18, 2014.

FORGIARINI, F. R. **Incentivos econômicos à sustentabilidade da drenagem urbana: o caso de Porto Alegre – RS.**– 2010. 227 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre. 2010.

FORTALEZA. **Lei municipal n.º 10.051**, de 05 de junho de 2013. Obriga a instalação de reservatórios e captadores de água da chuva nos postos de combustíveis e quaisquer estabelecimentos que possuam sistema de lavagem de veículos. Disponível em:<<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 10 out.2014.

GOMES, T. C. **Crescimento urbano sobre os compartimentos de relevo no município da Santa Maria, RS.**- 2013.157f. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre.

GUARULHOS. **Lei municipal n.º 6511**, de 9 de junho de 2009. Institui o Programa Municipal de Uso Racional da Água Potável e dá outras providências. Disponível em:<<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 13 out.2014.

GUMBEL, E. J. **Statistics of extremes.** New York: Columbia University, 1958. 375 p.

HAMEL, P.; DALY, E.; FLETCHER, T. D. **Source-control stormwater management for mitigating the impacts of urbanisation on baseflow: A review.** Journal of Hydrology, 485, 201-211, 2013.

HIDROSTUDIO. **Imagens.** Disponível em:<<http://www.hidrostudio.com.br/Imagens/Reservatorios/aricanduva5.png>>. Acesso em: 11 out.2014.

HYAMS, D.G. **Curve expert Professional: a comprehensive data analysis software system for Windows.** Copyright(C). 2011-2013.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população brasileira**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 8 jan. 2014.

INMET. 1992. **Normas climatológicas (1961 - 1990)**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia.

IPH/DEP. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Prefeitura Municipal, Porto Alegre: UFRGS/IPH, volume VI, 2005.

JOÃO PESSOA. **Lei municipal n.º 10.479**, de 09 de junho de 2005. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 300m² e dá outras providências. Disponível em:<<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 14 out.2014.

JOÃO PESSOA. **Lei municipal n.º 12.166**, de 15 de setembro de 2011. Cria o sistema de reuso de água de chuva para utilização não potável em mercados municipais, subprefeituras, condomínios, clubes, entidades, conjuntos habitacionais e demais imóveis residenciais, indústrias e comerciais dentro de João Pessoa e dá outras providências. Disponível em:<<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 14 out.2014.

JORDAN COVE. **photo_gallery**. Disponível em: < http://www.jordancove.uconn.edu/jordan_cove/photo_gallery/rain_gardens/index.htm >. Acesso em: 8 jan. 2015.

LID Center (2013). **Urban Design Tools – Low Impact Development**. Disponível em : <<http://www.lid-stormwater.net/background.htm>> Acesso em 19/08/2014.

MANAUS. **Lei municipal n.º 1.192**, de 31 de dezembro de 2007. Cria, no município de Manaus, o programa de tratamento e uso racional das águas nas edificações - pro - águas. Disponível em:<<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 15 out.2014.

MARINGÁ. **Lei municipal n.º 6574**, de 05 de maio de 2004. Dispõe sobre a captação e o reaproveitamento de águas da chuva. Disponível em:<<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 13 out.2014.

MASSACHUSETTS. **Portal**. Disponível em:< <http://www.mass.gov/portal/>>. Acesso em: 08 out.2014.

MATÃO. **Lei municipal n.º 4520**, de 24 de julho de 2012. Autoriza a utilização do sistema de reuso de água de chuva no município de Matão, para utilização não potável em condomínios, clubes, entidades, conjuntos habitacionais e demais imóveis residenciais, industriais e comerciais e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 10 out.2014.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, M.S. **Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 13 fev. 2014.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia Estatística**, Belo Horizonte. CPRM, 2007. 552p.

NUNES, O. M., KARNOPP, E. **Análise das Potencialidades Econômicas Endógenas no Desenvolvimento do Município de Santa Maria/RS**. Revista Gestão e Desenvolvimento em Contexto, v. 1, n. 1, p. 01-21, 2013.

OHNUMA JÚNIOR, A. A. **Medidas Não Convencionais de Reservação d'Água e Controle da Poluição Hídrica em Lotes Domiciliares**. 2008. 309 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2008.

OLIVEIRA, L. F.; CORTES, F. C.; BARBOSA, F. O. A.; ROMÃO, P. A. CARVALHO, D. F. **Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades de Goiás pelo método da desagregação de chuvas**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.30, n.1, p.23-27, 2000.

OLIVEIRA, E. **Áreas de Risco Geomorfológico na Bacia Hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria-RS: zoneamento e hierarquização**. 2004. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre.

OMM - Organização Meteorológica Mundial, **Guía de Prácticas Hidrológicas: Adquisición y proceso de datos análisis, predicción y otras aplicaciones**, OMM - n.º 165, 5ª edição, Ginebra, OMM, 1994. 781p.

PEDRON, F.; DALMOLIN, R.; AZEVEDO, A.; BOTELHO, M.; MENEZES, F. **Levantamento e classificação de solos em áreas urbanas: importância, limitações e aplicações.** *Current Agricultural Science and Technology*, v. 13, n. 2, 2012.

PFAFSTETTER, Otto. **Chuvas Intensas no Brasil:** Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas Registradas com Pluviógrafos em 98 Postos Meteorológicos. 1982. 426p.

PIPI, L. G. A., MALLMANN, C. L., MALLMANN, C. L., LORENSINI, C., VALENTINI, D. R., DE MOURA FILHO, J. L., BOCHI, T. C. (2009). **Sistema de Espaços Livres Contemporâneos na Cidade de Médio Porte de Santa Maria-RS.** *Paisagem e Ambiente*, (26), 89-126.

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, v.5, n.1, p.15-23, jan/mar. 2000.

PONTA GROSSA. **Decreto municipal n.º 7673**, de 15 de agosto de 2013. Regulamenta o procedimento administrativo para o programa de captação, armazenamento, conservação e uso racional da água pluvial nas edificações urbanas, que tenham área, impermeabilizada igual ou superior 500 m², conforme especifica. Disponível em: <<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 13 out.2014.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. (1996). “**Runoff curve number: has it reached maturity?**”. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1, p.11-19.

PORTO ALEGRE. **Decreto municipal n.º 18.611**, de 09 de abril de 2014. Regulamenta o controle da drenagem urbana e revoga os itens 4.8.6, 4.8.7 e 4.8.9 do decreto n.º 14.786, de 30 de dezembro de 2004 - caderno de encargos do DEP - e o decreto n.º 15.371, de 17 de novembro de 2006. Disponível em: <<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 10 out.2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA - MG. **Secretarias.** Juiz de Fora, 2014. Disponível em: <<http://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/seplag/planodedrenagem.php>>. Acesso em: 04 fev. 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA - RS. **Lei complementar municipal n.º 33 de 29 de dezembro de 2005:** institui a Lei de uso e ocupação do solo, parcelamento, perímetro urbano e sistema viário do município de Santa Maria. Disponível em: <<http://www.santamaria.rs.gov.br>>. Acesso em: 16 dez. 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA - RS. **Lei n.º 10.257** de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acesso em: 28 jul. 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA - RS. **Notícias**. Santa Maria, 2013. Disponível em: <<http://www.santamaria.rs.gov.br>>. Acesso em: 03 dez. 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA - RS. **Seção/psa**. Santa Maria, 2013. Disponível em: <<http://www.santamaria.rs.gov.br>>. Acesso em: 11 dez. 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA - RS. **Termo de Referência para Elaboração do Plano Diretor de Saneamento do Município de Santa Maria e seu Respectivo Modelo de Gestão**. 2013. MIMEO.

RECIFE. **Lei municipal n.º 18.011**, de 28 de abril de 2014. Dispõe sobre a política de sustentabilidade e de enfrentamento das mudanças climáticas do Recife e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 15 out.2014.

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. In: Antônio Marozzi Righetto. (Org.). Manejo de Águas Pluviais Urbanas PROSAB 4. Rio de Janeiro, 2009, p. 19-73.

RIO GRANDE DO SUL, Lei n.º 12.037, de 19 de dezembro de 2003. **Dispõe sobre a Política Estadual de Saneamento e dá outras providências**. Assembléia Legislativa, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/leg0000000044.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2014.

RISSO, A.; GONÇALVES, L. S.; SILVA, F. C. **El cálculo del escurrimiento superficial en áreas urbanas utilizando geoprocessamiento**. In: I ESCUELA DE PRIMAVERA SOBRE SOLUCIONES ESPACIALES PARA EL MANEJO DE DESASTRES NATURALES Y RESPUESTAS DE EMERGENCIAS-INUNDACIONES. **Anais...** Santa Maria, 2008.

ROMAN, C. A.; BASSO, R. E.; ALLASIA, D. G.; TASSI, R. **Comparação entre chuvas intensas obtidas a partir de IDF's e pela metodologia da relação entre durações**. In: Cristiano Poletto; André Luiz Lopes da Silveira; Alice Rodrigues Cardoso; Joel Avruch Goldenfum; Fernando Dornelles; Rutinéia Tassi; Priscilla Macedo Moura. (Org.). Águas Urbanas: Volume 1. Porto Alegre: ABRH, 2015, p. 47-62.

RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. **Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, 2011.

SALVADOR. **Lei n.º 7.893**, de 26 de agosto de 2010. Dispõe sobre a lei de ordenamento do uso e da ocupação do solo do município de Salvador e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 10 out.2014.

SÃO PAULO. **Lei municipal n.º 13.276**, de 4 de janeiro de 2002. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m². Disponível em: <<https://www.leismunicipais.com.br>>. Acesso em: 08 out.2014.

SILVEIRA, A. L. L; GOLDENFUM, J. A, **Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte**. RBRH. V 12 n.2 Abr/Jun 2007, 157-168.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v.17, n.2, p.9-18,abr/jun. 2012.

SOUZA, C.F. 2005. **Mecanismos técnico-institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana**. Porto Alegre RS: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 174 f. Dissertação de mestrado.

STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; GABRIEL, L. F.; de PAULA, G. M. **Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 12, p. 1553-1561, 2009.

TASSI, R. 2002. **Efeito dos Microrreservatório de lote sobre a Macrodrenagem Urbana**. Porto Alegre RS: UFRGS – Programa Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 132 f. Dissertação de mestrado.

TAVANTI, D. R. 2009. **Desenvolvimento de baixo impacto aplicado ao processo de planejamento urbano**. São Carlos SP: UFSCar – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana. 151f. Dissertação de mestrado.

TRATA BRASIL. **Diagnostico da Situação dos Planos Municipais de Saneamento Básico e da Regulação dos Serviços nas 100 Maiores Cidade Brasileiras**. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/diagnostico-da-situacao-dos-planos-municipais-de-saneamento-basico-e-da-regulacao-dos-servicos-nas-100-maiores-cidades-brasileiras-3>>. Acesso em: 09 dez. 2014.

TORRICO. J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcom,120 p, 1974.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 1 ed., 1993.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH. Ed: UFRGS, 1995.

TUCCI, C.E.M. **Elementos para o controle da drenagem urbana**. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V2, N.1, p101-122, 2000. Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

URBONAS, B.; STAHERE, P., 1993. **Stormwater Best Management Practices and Detention**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.

VELOSO, N. S. L.; MENDES, R. L. R. **Aspectos legais do uso da água da chuva no Brasil e a gestão dos recursos hídricos: Notas Teóricas**. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

VILLANUEVA, A. O. N.; TASSI, R. ALLASIA, D. G.; BEMFICA, D.; TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana, da formulação a implementação**. Revista Rega. Porto Alegre, vol. 8, n. 1, p. 5-18, jan./jun. 2011. Disponível em:< <http://www.abrh.org.br/regA/REGAv8n1web.pdf>>. Acesso em: 01 dez .2014.

WSUD.ORG: Water Sensitive Urban Design in Sydney **Picture Gallery**. Disponível em:< <http://www.wsud.org/resources-examples/picture-gallery/?album=Swales> >. Acesso em: 21 nov. 2014.

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - COMPARAÇÃO ENTRE CHUVAS INTENSAS OBTIDAS A PARTIR DE IDF'S E PELA METODOLOGIA DA RELAÇÃO ENTRE DURAÇÕES

Carlos Augusto Roman, Raviel Eurico Basso, Daniel Gustavo Allasia Piccill, Rutinéia Tassi

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das chuvas intensas é de grande importância para diversas áreas da engenharia, mas em especial para o dimensionamento de obras na drenagem pluvial urbana. Normalmente, os valores de chuvas intensas são obtidos com base nas relações Intensidade-Duração-Frequência (IDF), para os locais que possuem registros pluviográficos com séries longas de observação.

Nas localidades onde há escassez de dados pluviográficos, ou o período de observação é curto, faz-se necessária a utilização de métodos analíticos ou alternativos para a estimativa da intensidade máxima de precipitações de projeto. No Brasil, destacam-se, entre os métodos mais utilizados nestas situações, aqueles que se baseiam nas relações entre precipitações de diferentes durações para desagregar a chuva máxima diária em uma chuva de duração inferior a esta (Bertoni e Tucci, 2000; Back, 2009).

A aplicabilidade do método é ainda mais evidenciada em razão da existência de um grande número de pluviômetros com série longa, distribuídos em grande parte do território nacional (Bertoni e Tucci, 2000), cujos dados são desagregados com base nas relações desenvolvidas para durações menores, normalmente regionalizadas para grandes áreas.

No entanto, alguns resultados controversos têm sido discutidos na literatura. Por exemplo, Costa e Rodrigues (1999) indicam que, com base na regionalização, para a relação entre durações proposta por Torrico (1974), é possível encontrar diferenças de 7,5 a 54% nos valores de intensidade da chuva estimada, em relação àquelas que seriam obtidas com o emprego das equações IDF. Oliveira et al. (2000), comparando as estimativas de chuvas obtidas por meio da desagregação da chuva, utilizando as relações apresentadas pela CETESB (1986), com aquelas obtidas com equações IDF, encontraram erros relativos abaixo de 15%.

Diante da disparidade de resultados encontrados na literatura, associados ao emprego da metodologia de desagregação das chuvas, este trabalho buscou avaliar, de maneira comparativa, se a metodologia baseada na relação entre durações apresenta diferenças significativas com relação ao emprego das IDF locais. A investigação foi realizada para a cidade de Santa Maria-RS, embora a metodologia empregada possa ser extrapolada para análises semelhantes em outras localidades.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de chuva utilizados na análise correspondem a uma série histórica do ano de 1963 a 1989, obtidos em um pluviógrafo instalado na Estação Experimental da Secretária de Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, atual FEPAGRO. Esta estação está localizada no Distrito de Boca do Monte, na cidade de Santa Maria-RS, nas coordenadas geográficas 29°41' de latitude Sul e 53°49' de longitude Oeste.

Os dados de chuva da mesma estação foram utilizados para a elaboração de uma equação IDF (equação 1), com série do período de 1963 até 1988 (Belinazo, 1991).

$$I = \frac{807,801 \times TR^{0,1443}}{(t + 5,67)^{0,742 \times TR^{-0,0280}}} \quad (1)$$

sendo I a intensidade da chuva em mm/h; Tr o período de recorrência do evento chuvoso em anos; e t a duração da chuva intensa em minutos.

Ainda, utilizando os dados da FEPAGRO do período de 1963 a 1989, Eltz et al. (1992) determinaram as precipitações máximas para o município de Santa Maria-RS, com as durações de 10, 20 e 30 minutos e 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24 e 48 horas. Estes dados, ampliados neste estudo a partir de novas informações disponibilizadas pela FEPAGRO, foram utilizados para a determinação das relações médias entre durações (d) para os valores de precipitações máximas. Para isso, foi adotado como parâmetro a chuva média de 24 horas (P24) de duração, resultando em Pd/P24 para ser comparados no mesmo período utilizado na elaboração da equação de (Belinazo, 1991).

Assim, a relação média para a duração de 10 minutos (P10/P24), por exemplo, foi obtida considerando a média de todas as chuvas máximas anuais que têm duração de 10 minutos, dividida pela média das chuvas máximas anuais com 24 horas de duração. Neste procedimento, a relação Pd/P24 não está associada à frequência de ocorrência do evento

chuvoso, podendo ser aplicada na estimativa de evento com qualquer frequência de ocorrência desejada, conforme sugerem Bertoni e Tucci (2000).

Posteriormente, foi realizado o ajuste de uma distribuição probabilística de extremos do tipo Gumbel (Chow et al., 1988) ao conjunto de dados de chuvas máximas anuais com 24 horas de duração seguindo a mesma metodologia aplicada na construção da IDF do local; isso permitiu determinar para cada valor da precipitação máxima anual de 24 horas de duração, o período de retorno (Tr) associado: 2, 5, 10 e 100 anos, resultando na P_{24-Tr} .

Na sequência, foi aplicada a relação entre durações de chuva para diferentes durações sub-diárias (P_d/P_{24}) para as chuvas máximas diárias associadas aos Tr previamente definidos (P_{24-Tr}), o que permitiu estimar o volume de chuva com intervalo sub-diário, associado aos diferentes Tr e durações, com base na chuva máxima diária (P_{d-Tr}).

Para comparar os resultados obtidos com aqueles que teriam sido gerados a partir da IDF do local, a equação 1 foi utilizada para gerar eventos de chuva (P_{idf}) com igual duração e Tr aos utilizados na análise do método da relação entre durações. Finalmente, foi avaliado o percentual de concordância entre a estimativa com base no método da relação entre duração e o resultado da IDF, por meio da relação entre a P_{d-Tr} e P_{idf} .

Como na estimativa da relação entre durações normalmente se utiliza a média dos valores observados ao longo dos anos, também foi realizada a estimativa da relação entre durações considerando o Tr associado a elas (P_{d-Tr}/P_{24-Tr}). Para isso, ao invés de considerar a média de todas as chuvas máximas anuais que têm mesma duração, seguindo o procedimento previamente apresentado, foi determinado o valor de Tr para cada valor máximo anual na duração analisada, por meio da equação de Gumbel. Isso permitiu vincular o Tr diretamente ao volume de chuva e sua duração, e este valor foi relacionado com a chuva de 24 horas de duração e mesmo Tr .

Esta última análise foi realizada com o objetivo de verificar se há diferença na relação entre durações das precipitações máximas para diferentes Tr , ou se é possível utilizar diretamente a P_d/P_{24} , como sugerem Bertoni e Tucci (2000) e Chen (1983).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a relação entre durações obtida em cada ano, a partir dos dados observados na Estação FEPAGRO, do município de Santa Maria-RS. A partir destes valores, foram obtidas as relações entre durações médias (Quadro 1) para o período de 1963 até 1988,

corroborando com o período de dados utilizados para o desenvolvimento da IDF de Santa Maria.

Quadro 1 – Relação entre durações para Santa Maria-RS (Pd/P24) em percentual

	Duração da chuva									
	10 min.	20 min.	30 min.	1 h	2 h	4 h	6 h	8 h	12 h	24 h
Relação	16,2%	24,9%	31,9%	42,5%	54,0%	66,7%	76,7%	83,3%	89,1%	100,0%

O Quadro 2 apresenta os valores de precipitação máxima com durações sub-diárias, obtidas a partir da aplicação das relações entre durações (Pd/P24) apresentadas no Quadro1 e as chuvas máximas com 24 horas de duração, associadas aos diferentes Tr (P24_{Tr}).

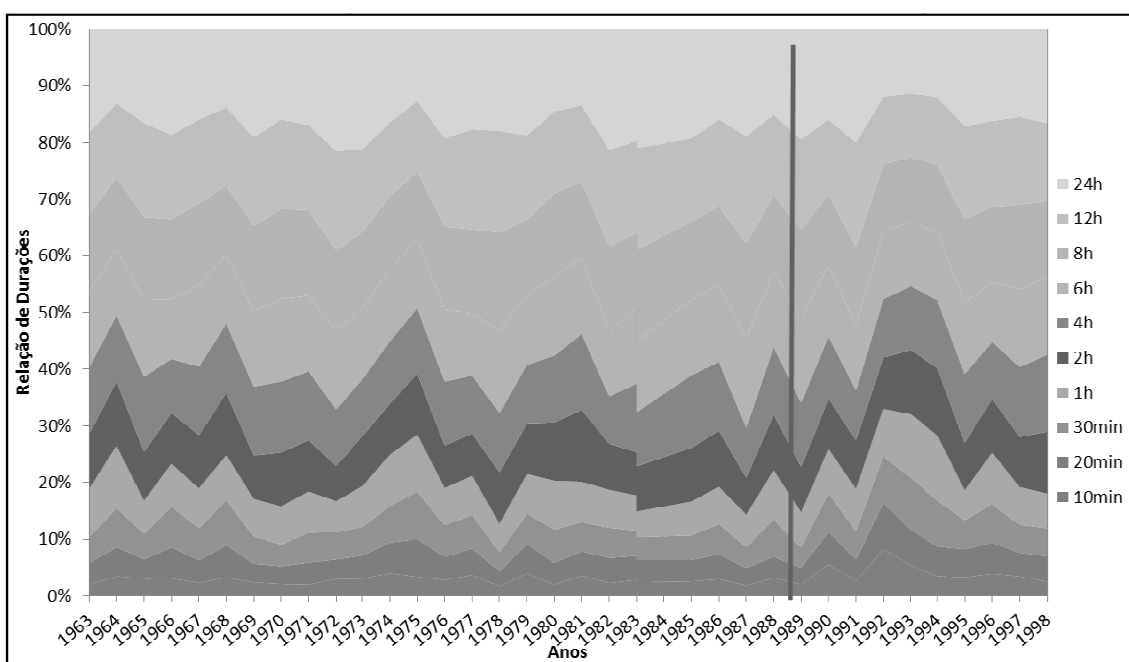


Figura 1. Valores das relações entre durações (Pd/P24) em cada ano analisado.

Quadro 2 – Precipitação (mm) gerada a partir da Relação entre Duração para Santa Maria-RS (Pd_{Tr})

Tr	Duração da chuva									
	10 min.	20 min.	30 min.	1 h	2 h	4 h	6 h	8 h	12 h	24 h
100	32,77	50,37	64,49	85,90	108,94	134,59	154,86	168,11	179,91	201,89
10	25,43	39,10	50,06	66,68	84,56	104,47	120,21	130,49	139,65	156,72
5	22,14	34,03	43,57	58,04	73,61	90,94	104,63	113,58	121,56	136,41
2	17,95	27,59	35,32	47,04	59,66	73,71	84,81	92,07	98,53	110,57

O Quadro 3 apresenta os valores de precipitação máxima com durações sub-diárias obtidas diretamente a partir do uso da equação IDF.

Os volumes das chuvas obtidas por meio de ambas metodologias estão apresentados graficamente na Figura 2, de maneira a facilitar a comparação dos resultados. No Quadro 4 é apresentada a relação percentual da Pd_{Tr} , com relação à $Pidf$.

Quadro 3 – Precipitação (mm) gerada diretamente a partir da equação IDF ($Pidf$).

Tr	Duração da chuva									
	10 min.	20 min.	30 min.	1 h	2 h	4 h	6 h	8 h	12 h	24 h
100	43,48	63,02	76,28	102,46	134,20	173,34	200,59	222,26	256,57	327,35
10	27,67	39,26	46,85	61,28	78,03	97,90	111,35	121,87	138,25	171,18
5	24,12	33,99	40,37	52,37	66,10	82,17	92,96	101,35	114,34	140,26
2	20,09	28,05	33,12	42,48	52,98	65,05	73,05	79,23	88,73	107,46

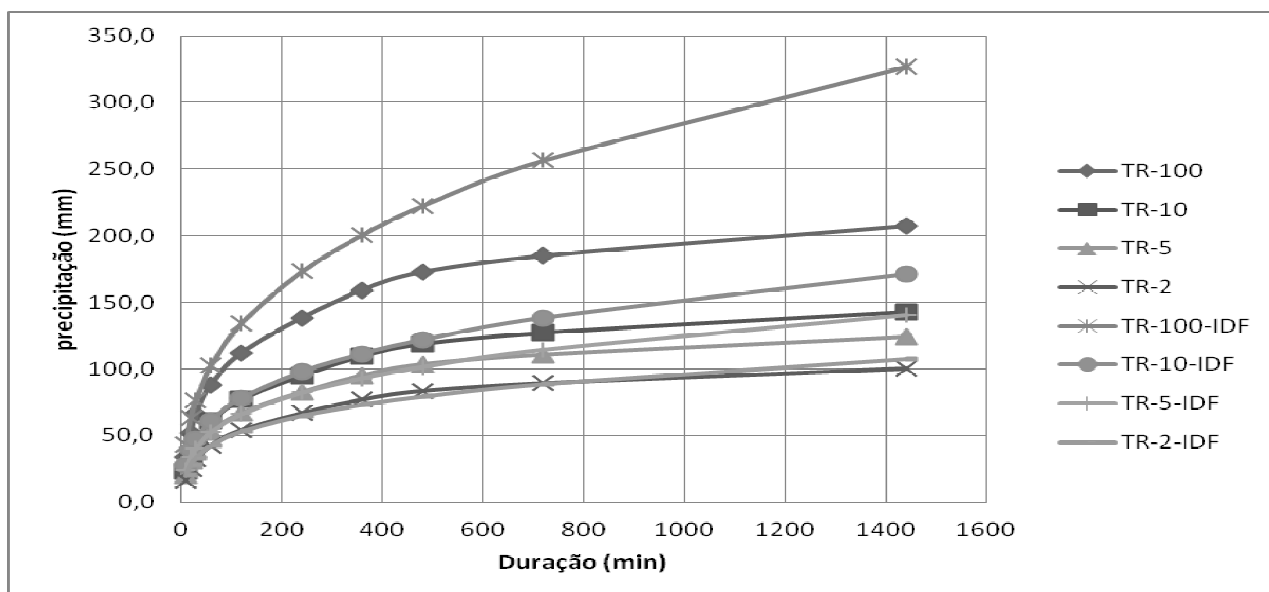


Figura 2 – Precipitação máxima para diferentes Tr, obtidas pelas Pd_{Tr} e $Pidf$.

Quadro 4 – Relação % entre as precipitações geradas pela relação entre durações (Pd_{Tr}) e a IDF ($Pidf$) (relação entre as informações dos quadros 2 e 3)

Tr	Duração da chuva									
	10 min.	20 min.	30 min.	1 h	2 h	4 h	6 h	8 h	12 h	24 h
100	75,36	79,93	84,55	83,83	81,18	77,65	77,20	75,63	70,12	61,68
10	91,91	99,59	106,86	108,81	108,37	106,72	107,96	107,08	101,02	91,55
5	91,79	100,14	107,93	110,82	111,36	110,66	112,56	112,07	106,31	97,26
2	89,34	98,35	106,66	110,74	112,62	113,31	116,10	116,21	111,05	102,89

- Quanto mais próximo a 100%, mais próximo da precipitação obtida pela IDF (P_{IDF}) foi o resultado da Pd_{Tr}

A partir das análises realizadas, verifica-se que o método da relação entre durações produz resultados muito semelhantes àqueles obtidos a partir da IDF, quando avaliados os Tr de 2, 5 e 10 anos, independentemente das durações sub-diárias escolhidas. Em 75% destes resultados, as diferenças relativas entre a Pd_{Tr} e $Pidf$ estão entre 10,7% e 16,2%. A maior diferença encontrada entre Pd_{Tr} e $Pidf$ foi para um Tr de 100 anos - entre 15,5 a 38,3%. Maiores diferenças de volume associadas a este Tr já eram esperadas, visto que a série de dados disponíveis é muito curta para resultados confiáveis com Tr superiores a 20 anos, pois já se encontra na faixa de extrapolação. Nesse sentido, autores como Naghettini e Pinto

(2007) sugerem possuir uma série com uma extensão de pelo menos duas vezes o T_r que se quer estimar, o que não foi possível neste estudo.

As relações entre durações associadas aos diferentes T_r ($PD_{T_r}/P24_{T_r}$) estão apresentadas no Quadro 5, onde é possível observar uma pequena variação nos valores dos coeficientes de desagregação, à medida que o T_r muda. Na antepenúltima linha do mesmo quadro é apresentado o coeficiente de desagregação sem a associação ao T_r ($Pd/P24$), para fins de comparação, e a diferença percentual na penúltima linha. A última linha apresenta os coeficientes de desagregação apresentados no manual da CETESB (1986), e considerados como valores médios válidos para todo o Brasil.

Conforme se verifica, não foram observadas variações significativas no coeficiente de desagregação da chuva, ao considerar a análise com diferentes T_r para uma mesma duração. As maiores diferenças encontradas foram para as durações de 2, 4 e 6 horas, enquanto as menores diferenças estiveram relacionadas às menores durações (10, 20 e 30 minutos).

Comparando a $PD_{T_r}/P24_{T_r}$ com a $Pd/P24$, verifica-se que, ao associar a probabilidade de ocorrência às diferentes durações anuais, o volume de chuva estimado seria ligeiramente inferior. Para as durações de 10, 20, 30 minutos, assim como para 8 e 12 horas, a chuva estimada a partir da $PD_{T_r}/P24_{T_r}$ seria, em média, 5% inferior, enquanto para as demais durações a subestimativa é da ordem de 15%. Verifica-se também que tanto a $PD_{T_r}/P24_{T_r}$ quanto a $Pd/P24$ possuem coeficientes de desagregação muito próximos daqueles apresentados pela CETESB, como um valor médio para o Brasil. No Quadro 6 é apresentado percentual entre a chuva estimada utilizando a relação $PD_{T_r}/P24_{T_r}$ (PD_{T_r}) e a chuva estimada utilizando a relação IDF ($Pidf$).

Com as precipitações obtidas por meio da relação $PD_{T_r}/P24_{T_r}$, houve uma subestimativa de valores com relação àqueles obtidos com a $Pidf$ na maioria dos casos, que também foram inferiores aos valores obtidos com a utilização da relação $Pd/P24$ (Quadro 4). Para os T_r de 2, 5, 10 anos a subestimativa com relação à $Pidf$ variou entre 0,1% e 12,2%, enquanto para o T_r de 100 anos a diferença foi superior, entre 16,9% e 31%. Esta maior diferença já era esperada, refletindo as incertezas associadas ao processo de extrapolação para o valor de T_r de 100 anos.

Quadro 5 - Coeficientes de desagregação para diferentes durações de chuva e T_r ($PD_{T_r}/P_{24_{T_r}}$).

T_r	Duração da chuva								
	10 min.	20 min.	30 min.	1 h	2 h	4 h	6 h	8 h	12 h
2	0,155	0,238	0,301	0,402	0,515	0,646	0,754	0,824	0,885
5	0,154	0,240	0,302	0,389	0,487	0,593	0,692	0,785	0,862
10	0,154	0,241	0,303	0,383	0,474	0,568	0,664	0,767	0,850
20	0,154	0,241	0,303	0,378	0,464	0,550	0,643	0,754	0,843
30	0,154	0,242	0,304	0,376	0,459	0,541	0,632	0,747	0,839
40	0,154	0,242	0,304	0,374	0,456	0,535	0,626	0,743	0,837
50	0,153	0,242	0,304	0,373	0,454	0,531	0,621	0,740	0,835
Desvio	0,000	0,002	0,001	0,010	0,022	0,041	0,048	0,030	0,018
Média $PD_{T_r}/P_{24_{T_r}}$	0,154	0,241	0,303	0,382	0,473	0,566	0,662	0,766	0,850
Pd/P24	0,162	0,249	0,319	0,425	0,540	0,667	0,767	0,833	0,891
Diferença (%)	-5,2	-3,3	-5,3	-11,3	-14,2	-17,8	-15,9	-8,7	-4,8
Pd/P24 CETESB	0,167	0,252	0,311	0,420	-	-	0,720	0,780	0,850

Quadro 6 – Relação % entre as precipitações PD_{T_r} e P_{idf} , geradas pela relação entre durações $PD_{T_r}/P_{24_{T_r}}$ e a equação IDF

T_r	Duração da chuva									
	10min	20min	30min	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h
100	73,41	79,19	82,36	77,36	73,06	67,77	68,41	71,44	68,74	63,36
10	89,53	98,67	104,10	100,40	97,54	93,14	95,67	101,15	99,03	94,05
5	89,42	99,22	105,14	102,26	100,22	96,59	99,74	105,86	104,21	99,91
2	87,03	97,45	103,90	102,19	101,36	98,90	102,89	109,77	108,86	105,70

- Quanto mais próximo a 100%, mais próximo da precipitação obtida pela IDF (P_{IDF}) foi o resultado da PD_{T_r} .

4. DICUSSÃO

Os resultados deste trabalho indicam que, a princípio, não existem diferenças significativas na estimativa dos volumes de chuva a partir do método da relação entre durações médias (P_d/P_{24}) quando comparado com o resultado a partir de uma IDF (P_{idf}), corroborando com os estudos apresentados por Oliveira et al. (2000).

A diferença percentual dos volumes de chuva estimados a partir do o método da relação entre duração, e o volume obtido por meio de uma relação IDF variou entre 10,7% e 16,2%, o que pode ser considerado pequeno, uma vez que os erros entre as estimativas são, em geral, menores que os erros associados ao próprio processo de obtenção do dado de chuva (erros que podem ser observados em OMM, 1994).

As maiores diferenças foram encontradas na estimativa de chuvas com períodos de recorrência de 100 anos, já na faixa de extrapolação dos valores, refletindo o grau de incerteza existente, devido à ausência de uma série longa de dados. Nesta situação o uso da chuva por desagregação, utilizando o método da relação entre durações seria subestimada.

A inclusão do período de recorrência dos dados de chuva associado a sua duração não produziu uma relação entre durações ($P_{D_{Tr}}/P_{24_{Tr}}$) que melhorasse a estimativa da chuva, quando comparado com o produto da IDF. Assim, os coeficientes de desagregação médios (P_d/P_{24}) podem ser utilizados para qualquer Tr , sem alterar significativamente o valor obtido, exceto para um Tr de 100 anos.

Observa-se, portanto, que a metodologia das relações entre durações produziu resultados confiáveis para o posto localizado na cidade de Santa Maria/RS, desde que utilizada para estimar precipitações cujos tempos de retorno e duração estejam contidos na série de dados observados. Contudo, as relações apresentadas devem ser aplicadas com cautela, uma vez que o comportamento pluviométrico pode ser variável no perímetro municipal, embora os valores obtidos neste trabalho estejam em consonância com os valores médios brasileiros apresentados pela CETESB (1986).

5. CONCLUSÃO

Neste estudo foi verificada a validade da metodologia baseada na relação entre precipitações de diferentes durações para a obtenção de dados sub-diários a partir de dados pluviométricos. Para isso, foram comparados valores que seriam obtidos mediante o emprego

de uma equação IDF com os resultados encontrados a partir da metodologia da relação entre durações de chuva.

A análise demonstrou que a metodologia pode ser uma importante ferramenta para locais em que os dados pluviográficos são inexistentes, ou cuja série é muito curta, visto que não foram encontradas diferenças consideráveis comparativamente com valores obtidos a partir de uma relação IDF.

Também foi possível identificar que a incorporação do período de recorrência no estabelecimento da relação entre durações não proporcionou uma melhora significativa na estimativa da chuva sub-diária. Além disso, verificou-se que os coeficientes de desagregação obtidos neste estudo possuem valor muito próximo àqueles apresentados como uma média para o Brasil (CETESB, 1986), sugerindo a validade da metodologia generalizada.

Maiores incertezas no processo de estimativa da chuva sub-diária a partir da relação entre durações estiveram associadas às chuvas com períodos de recorrência elevados como o de 100 anos. Esse resultado era esperado, diante da incerteza na extrapolação de valores de chuva para períodos de recorrência que superem a extensão da série.

Assim, embora os resultados obtidos por meio da IDF e relação entre durações mostrem-se similares, o emprego da metodologia das relações entre durações deve ser realizado com algumas ressalvas, especialmente para maiores períodos de recorrência, uma vez que se faz necessário conhecer o comportamento pluviométrico do local. Esse conhecimento é possível com o monitoramento, sendo que sua falta é justamente o que leva à utilização da metodologia avaliada neste estudo.

REFERÊNCIAS

- BACK, A.J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga-SC. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande. v.13, n.2, p.170-175, 2009.
- BELINAZO, H.J. Metodologia computacional para análise das chuvas intensas: desenvolvimento e aplicação aos dados de Santa Maria –RS. Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado. Santa Maria-RS. 1991.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: Carlos E. M. Tucci. (Organizador). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 2 ed., 1 reimp. 2000, p.177-241, 2000.

- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Drenagem urbana – manual de projeto. 3.ed. São Paulo: CETESB, 464p., 1986.
- CHEN, C. L., Rainfall intensity-duration-frequency formulas, J. Hydraul. Eng., ASCE, 109(2), p. 1603-1621, 1983.
- CHOW, V. te, MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. Applied Hydrology. McGraw-Hill Education. 1988, 572 p.
- COSTA, A. R.; RODRIGUES, A. A. Método das isozonas: desvios entre resultados In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: ABRH, 1999. CD Rom.
- ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria-RS. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Campinas. v.16, p.265-269, 1992.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. Hidrologia Estatística, Belo Horizonte. CPRM, 2007. 552p.
- OLIVEIRA. L. F.; CORTES, F. C.; BARBOSA, F. O. A.; ROMÃO, P. A. CARVALHO, D. F. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.30, n.1, p.23-27, 2000.
- OMM - Organização Meteorológica Mundial, Guía de Prácticas Hidrológicas: Adquisición y processo de datos análisis, predicción y otras aplicaciones, OMM - nº 165, 5ª edição, Ginebra, OMM, 1994. 781p.
- TORRICO. J. J. T. Prácticas hidrológicas. Rio de Janeiro: Transcom, 120 p, 1974.