

Estudo da Viabilidade de Implantação de um Sistema de Tratamento de *First flush* nas Áreas Urbanas da Bacia Santa Maria do Leme, São Carlos, SP.

Autor: Nícolas Guerra Rodrigues Tão – nicolas.tao@hotmail.com

Tel: (16) 996110815

Orientador: Frederico Yuri Hanai – fredyuri@ufscar.br

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar
Curso de Bacharelado em Gestão e Análise Ambiental
Endereço: Rodovia Washington Luís, km 235 - SP-310
São Carlos - São Paulo - Brasil - CEP 13.565-905

1 - RESUMO

A gestão dos recursos hídricos atualmente lida com diversas problemáticas resultantes das atividades humanas e suas demandas, sendo uma delas o gerenciamento do *first flush*, escoamento inicial que ocorre durante eventos chuvosos e carrega os contaminantes presentes na superfície, apresentando alto potencial de contaminação. Diversas técnicas podem ser empregadas para o seu tratamento como as *wetlands* construídas, que podem promover uma melhoria ambiental ao tratar este contaminante e reduzir seu potencial de degradação do meio, além de poderem ser exploradas com fins paisagísticos de maneira integrada ao espaço urbano. Este trabalho buscou caracterizar o *first flush* produzido na área urbana da Sub-bacia Santa Maria do Leme, São Carlos – SP, e propor sistemas para o seu tratamento de maneira descentralizada nos bairros já ocupados, realizando também considerações para o projeto de áreas para futuras ocupações. Diversos atributos físicos da região foram levantados, como hipsometria, declividade, precipitação e permeabilidade, sendo que estes dados foram processados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) através de diferentes programas para a análise espacial, além de bancos de dados já existentes quanto às propriedades existentes na bacia. A caracterização do *first flush* apontou um valor médio na bacia 25,04 mm, o que produz um volume a ser tratado de cerca de 32.491 m³. A área urbana da sub-

bacia foi recortada em 5 diferentes sub-regiões, caracterizando o *first flush* produzido em cada uma delas, de modo a projetar sistemas de tratamento independentes. O sistema escolhido foi o de *wetland* com tempo de detenção estendido, pois se adequa a áreas com maior extensão permitindo ocupar um espaço menor. A busca de áreas disponíveis para instalar o sistema considerou as áreas públicas institucionais na região, pois podem ser destinadas a tais finalidades, pressupondo o sistema seja projetado de modo a explorar seu potencial paisagístico. O desenvolvimento de tais sistemas se mostrou viável nas condições observadas, porém destaca-se a necessidade de que esta questão esteja inserida em projetos de expansão urbana, considerando o uso de sistemas específicos para a gestão do *first flush* além de diferentes concepções de elementos do espaço urbano, destacando-se que o Plano Diretor Municipal de São Carlos apresenta instrumentos adequados para tal gestão.

Palavras-chave: Gestão de Bacias Hidrográficas, Água Pluvial, Drenagem, *Wetland*.

2 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de ações relacionadas à solução de problemáticas ambientais deve estar pautado em uma abordagem que seja integradora de áreas do conhecimento, sendo que a gestão de recursos hídricos não foge de tal premissa, e vai além, deve ser abordada dentro de um contexto específico em que se encontrem todos os aspectos ambientais relevantes e os conflitos que se desenvolvem. Desta forma, é de grande importância que projetos ambientais sejam desenvolvidos considerando o contexto da bacia hidrográfica como modulador dos componentes que ali interagem, seguindo ainda um princípio de descentralização da gestão, pois isto aproxima em um contexto mais sólido os fatores importantes para a realização de ações, considerando que a descentralização possibilita uma avaliação mais profunda das problemáticas enfrentadas e identifica de maneira mais adequada as potencialidades de cada ator para a solução destas problemáticas.

A gestão dos recursos hídricos utilizando a bacia hidrográfica como unidade básica foi aplicada em muitas experiências ao longo do século XX em diversos países bem como em iniciativas nacionais para a adoção deste conceito de gestão, que foi fundamentado através da Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, criando uma política de recursos hídricos no Brasil e estabelecendo que a gestão deverá ser realizada por bacias

hidrográficas aplicada em diversas escalas (PORTO e PORTO, 2008). A importância de se considerar a bacia hidrográfica se origina do fato dela ser um espaço em que interagem os processos biogeofísicos, econômicos e sociais, o que possibilita diversas integrações institucionais e a articulação entre o conhecimento científico e as ações de gerenciamento, sendo que todas estas informações podem ser alimentadas em um banco de dados que permita a avaliação de se aplicar novas ecotecnologias em diferentes projetos de gestão da bacia, realizando simulações que confrontem os custos das alternativas com os benefícios delas advindos (TUNDISI, 2008).

De maneira indissociável à tendência da adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão ocorreu também a descentralização da gestão. Este processo foi incorporado no cenário internacional de políticas públicas desde a década de 1980, e de maneira mais expressiva no Brasil a partir da década de 1990, que desenvolveu mudanças políticas para conceder maior poder de decisão política a níveis mais locais. A adoção de tal modelo de gestão traz benefícios como a redução de custos em transações, maior aproveitamento de informações, reconhecer de maneira mais efetiva as necessidades locais e assim trazer propostas de adaptações adaptadas a cada realidade, além de promover um espaço de decisão que seja mais democrático (ABERS e JORGE, 2005).

Dentre as problemáticas enfrentadas no contexto descentralizado de uma bacia hidrográfica estão as consequências oriundas do processo de urbanização, dentre as quais é possível citar a impermeabilização do solo que modifica a estrutura de drenagem de uma bacia, o que leva à construção de sistemas de drenagem que captam a água escoada na bacia e a direcionam para um corpo hídrico receptor, seguindo a lógica de gestão convencional aplicada às águas de escoamento pluvial. Tal metodologia de gestão não considera a influência que o despejo direto deste escoamento tem sobre a qualidade dos corpos d'água e seu potencial em degradar os ecossistemas, adota apenas uma posição de gestão em dispersar os resíduos gerados e atribuir ao ambiente a função de metabolizá-los.

Um importante fator da equação não considerado no raciocínio convencional é a composição química da água escoada. É necessário considerar que após um evento chuvoso e água precipitada irá percorrer a área de drenagem e durante este processo também irá carrear os resíduos e partículas depositados na área de drenagem. A composição deste material depositado nas áreas urbanas resultará do desenvolvimento residencial e industrial encontrado na referida região, e a concentração final deste material na água de escoamento será influenciada pelo período de seca, que determina a

concentração do material, e também pela intensidade da precipitação. Outra característica importante da água de escoamento é que as maiores concentrações do material depositado são encontradas nos primeiros volumes escoados, padrão denominado de “primeiro fluxo”, ou *first flush* (AMARAL, 2011). Este efluente apresenta uma composição química com diversos contaminantes químicos e biológicos, com alto potencial de deterioração dos ecossistemas.

Os efeitos da ação do *first flush* tendem a se concentrar em um ponto específico de uma bacia hidrográfica quando parte-se de seu conceito físico. Todos os efeitos dos processos desenvolvidos dentro da bacia, considerando as áreas urbanas, industriais, agrícolas e naturalmente preservadas, são representados no exutório, um verdadeiro resumo da ocupação do território e do uso das águas na região (PORTO e PORTO, 2008). Portanto, a ação do *first flush* também será concentrada no exutório, além de ser um ponto de convergência dos fluxos de escoamento da bacia. Ações de gestão que busquem soluções para a problemática do *first flush* devem considerar estrategicamente a importância do exutório para a implantação de medidas de controle da poluição.

Entretanto, estas medidas de controle da poluição quando voltadas ao tratamento do *first flush* podem ser consideradas medidas de prevenção no sentido de que minimizam os efeitos deste escoamento sobre os ecossistemas, sendo que a presença da elevada carga de poluentes no *first flush* ainda é inerente às áreas urbanizadas devido ao modo como são projetadas. Segundo Nascimento e Vilaça (2008), medidas preventivas adotadas na gestão de bacias hidrográficas apresentam melhor desempenho devido ao seu resultado duradouro que gera, em comparação às medidas corretivas, economia de recursos.

A medida mais direta no gerenciamento do *first flush* é a sua contenção e tratamento prévio antes de ser direcionado para o corpo receptor. Diversos métodos têm sido estudados com tal propósito, e muitas observações apontam para o potencial dos sistemas de *wetlands* no tratamento deste tipo de efluente. Sistemas de *wetlands* se baseiam nos processos biogeoquímicos que ocorrem em áreas naturais alagadas para a remoção de poluentes da água. Sua estrutura básica envolve um substrato, um conjunto biológico de macrófitas aquáticas e microrganismos, e um ambiente constantemente encharcado. Diversas combinações podem ser feitas utilizando diferentes materiais para o substrato e diferentes espécies de plantas e microrganismos, combinados em várias sequências e sentidos de fluxo de água. Porém, independente da estrutura aplicada, o

princípio deste sistema é que a grande diversidade de organismos do sistema permite a retenção de diferentes poluentes, envolvendo em um único sistema as diversas etapas presentes em um tratamento convencional, e que pode inclusive apresentar resultados mais eficientes. Sistemas de *wetlands* ainda podem ser estruturados em diversos módulos e em diferentes escalas, sendo altamente adaptáveis a cada situação (KADLEC e WALLACE, 2009).

Considerando os conceitos discorridos até o momento identifica-se: i) a necessidade da proposição de medidas para a redução do potencial do *first flush* de degradar os ecossistemas; ii) o potencial de sistemas de *wetlands* para o tratamento de efluente; e iii) a gestão da problemática do *first flush* de maneira descentralizada e considerando o contexto de bacia hidrográfica como mais eficiente.

Tendo em vista a problemática do *first flush* amplamente discutida, entende-se a importância de se desenvolver novas tecnologias e dar atenção a determinadas problemáticas que inicialmente podem ser consideradas irrelevantes, destacando-se desta forma o potencial poluidor do *first flush*, como já foi apresentado. Destaca-se que além de melhoria ambiental, a implementação de sistemas de tratamento também pode estar ligada a uma melhoria paisagística do meio, gerando maior conforto ambiental e lazer, e melhorias técnicas, já que o acúmulo da água para tratamento gera uma diminuição no pico de vazão das chuvas, que pode vir a reduzir risco de enchentes, recorrentes na região, aumentando a infiltração e recarga do lençol freático.

3 – OBJETIVOS

3.1 – OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo propor um sistema de contenção de águas pluviais caracterizadas como *first flush* na região da bacia Santa Maria do Leme, indicando-se sistemas de tratamentos apropriados para a redução do potencial de contaminação deste em corpos d'água, elaborando o sistema para bairros que já existem e para a futura ocupação urbana.

3.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar volumetricamente a água de escoamento da área urbana considerada como *first flush*;
- Determinar áreas prioritárias para a alocação do tratamento do *first flush* na área urbana determinada como área de estudo;

- Definir alguns sistemas de tratamento que seriam viáveis para serem implantados nos diferentes locais da área urbana determinada como área de estudo;
- Elaborar um sistema base de coleta e armazenamento, indicando um tratamento do *first flush*, para futuras ocupações urbanas na bacia, levando-se em conta a área permeável exigida no plano diretor, e, em uma segunda situação, a área permeável indicada como mais adequada em referências bibliográficas.

4 – MATERIAIS E MÉTODO

Área de estudo

O presente trabalho teve como macro área de estudo a Microbacia Hidrográfica do Córrego Santa Maria do Leme, localizada no município de São Carlos, SP (Figura 1), sendo contribuinte para a Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho.

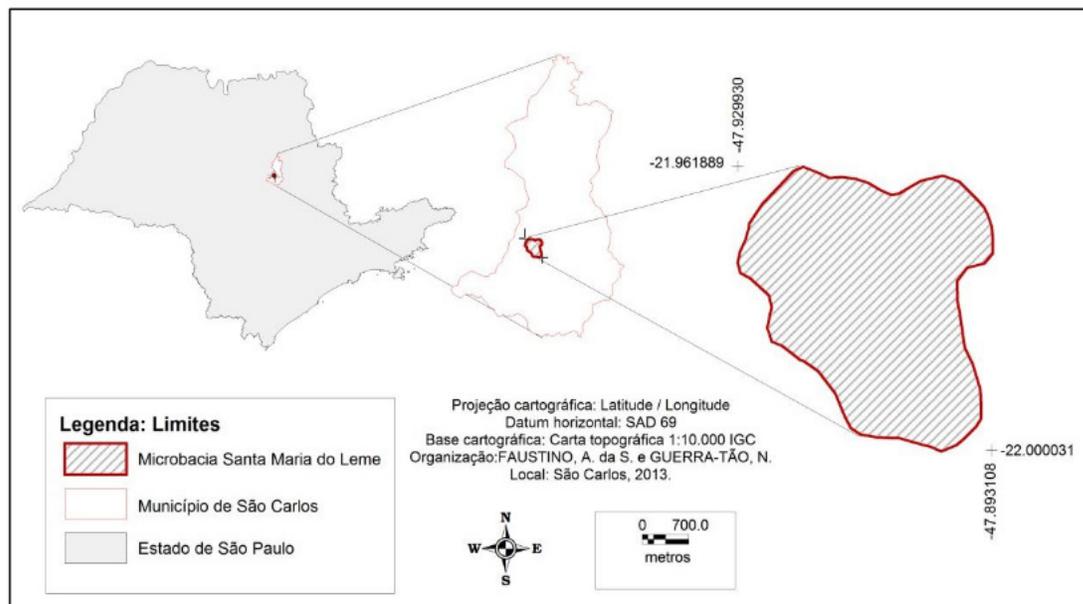


Figura 1 – Mapa de articulação demonstrando a localização da Microbacia Santa Maria do Leme.

Ela apresenta uma área de 11,02 km², ocupados com diferentes tipos de uso do solo, o que envolve áreas urbanizadas, áreas de produção agrícola e áreas de vegetação preservada. Segundo a classificação climática de Koeppen, o clima é Cwa, quente com inverno seco, com temperatura inferior de 18°C em média, ultrapassando 22°C nos meses mais quentes. O corpo hídrico principal é o córrego Santa Maria do Leme de extensão aproximada a 4,7 km, com três afluentes principais e três secundários. No

município existem três outorgas de captação de água para o córrego Santa Maria do Leme. Segundo o Plano Municipal de Saneamento – São Carlos/SP (2012), os principais problemas relacionados aos usos conflitantes da água se devem a falhas na drenagem que levam ao extravasamento de canal em diversos pontos.

Caracterização volumétrica do *first flush* da área urbana da bacia como um todo.

A primeira etapa do presente estudo compreende na caracterização volumétrica do *first flush* total da área urbana da bacia. Para isso foi necessária a digitalização da área urbana e determinação de sua área total em metros, curvas de nível, hidrografia, entre outros atributos do meio físico, em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), que no caso o SIG utilizado foi o MapInfo Professional 11.0. Também foi necessário determinar quantos milímetros de chuva podemos considerar como *first flush*, sendo que este vai variar conforme as características do meio físico, permeabilidade, tempo de detenção da bacia, entre outros fatores.

Tomaz (2009) apresenta alguns exemplos de milímetros de chuva considerados como *first flush*, como em seu próprio estudo na cidade de Mairiporã, Estado de São Paulo, que determinou que o maior montante de carga de poluentes é lavado do ambiente urbano nos primeiros 25 mm de chuva; outro exemplo é da LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), nos Estados Unidos, que prevê um valor também de 25 mm, em regiões úmidas, para o total de chuva mais crítico em termos de poluição. Tal estimativa leva em conta o pressuposto de Schueler (1987) *apud* Tomaz (2009) de que o *First Flush* é obtido com a precipitação que gera escoamento, que seria 90%, acarretando na deposição de 80% dos sólidos em suspensão.

Outra estimativa do *first flush* que considera atributos mais específicos da bacia é apresentada pela American Society of Civil Engineering (1998) *apud* Akan (2003), que criaram uma fórmula de determinação de *first flush* (P , em mm) que se pretende aplicar nesta bacia, utilizando-se da área impermeável (I , em percentual); precipitação média do município para um dia, com tempo de retorno de 6 meses (P_6 , em mm); e um coeficiente “ar”, que leva em conta o tempo de detenção estendido do reservatório que se pretende criar (foi utilizado o valor para 24h de 1,299, sugerido pelos autores), obtendo-se a seguinte fórmula (equação 1):

$$P = 1,299 \times P_6 \times (0,858 \times I^3 - 0,78 \times I^2 + 0,774 \times I + 0,04)$$

Equação 1 – Determinação do *first flush* em mm.

A partir da precipitação considerada como *first flush*, é possível determinar o volume total de água a ser retido para a melhoria da qualidade das águas pluviais (WQ_v , em m^3 - equação 2) que atingem os corpos hídricos. Para isso é utilizado um coeficiente volumétrico (R_v – equação 3), obtido através de constantes e da área impermeável (AI , em %); a área urbana da bacia (A , em m^2) e o *first flush* (P , em mm), já calculado.

$$WQ_v = (P/1000) \times R_v \times A$$

Equação 2 – Determinação do volume de água em m^3 para melhoria da qualidade de águas pluviais para reservatório de detenção estendida.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI$$

Equação 3 – Coeficiente volumétrico.

Para diferenciar as áreas permeáveis das impermeáveis na zona urbana foi proposto a aplicação do índice *Nanda* - *Natural and Artificial features* ($Nanda = G - (R + B)$), que consegue distinguir elementos naturais (vegetação, sombra, solo exposto e corpos d'água) dos elementos artificiais (telhados de edificações, asfalto e concreto) na paisagem. O índice trabalha com as diferentes bandas de cor (RGB) de imagens de satélite de alta resolução aumentando o contraste entre os elementos, considerando que a absorção das bandas do espectro de luz (0 a 255) é maior para os elementos naturais e menor para os artificiais (POLIDORIO, 2007). Para aplicar esta metodologia foi desenvolvido um programa através do Microsoft Visual Studio 2010 com linguagem C# utilizando a biblioteca openCV para C# (EmguCV). A análise se constituiu de duas etapas em que foram processadas imagens de satélite GeoEye atuais da região (2013), obtidas com uma altura de 2,00 Km, que produziu pixels com área de 0,23 m^2 . Primeiramente, aplicou-se o índice proposto para realçar as áreas permeáveis dos outros elementos gerando uma imagem em escala de cinza, e posteriormente aplicou-se um *threshold* para determinar o intervalo na escala de cinza em que os pixels da imagem correspondem de fato a uma área permeável, sendo este intervalo de 160 a 255. Estas etapas geraram uma imagem com resposta binária que separava as áreas permeáveis (vegetação e gramado) das áreas impermeáveis, e com base na quantidade de pixels correspondente às regiões permeáveis e sabendo-se a área de cada pixel foi possível determinar a área permeável total. Essa etapa foi realizada pelo profissional Alan Kazuo Hiraga (Mestrando em Ciências da Computação – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação – Processamento de Imagens e Sinais, UFSCar), com acompanhamento dos autores do presente estudo.

Subdivisão da bacia levando-se em conta os bairros, a delimitação da bacia, as curvas de nível e o sistema de drenagem atual. Caracterização volumétrica do *first flush* por área subdividida.

Através de planos de informação disponibilizados contendo o sistema viário de toda a bacia combinado com informações disponíveis da delimitação de bairros, acessíveis no Sistema de Informações Geográficas de São Carlos (SigaSC (2013)), foi possível a subdivisão da bacia, associada às curvas de nível, já que áreas do mesmo bairro que se encontrarem fora da delimitação da bacia são desconsideradas pois não tem sua drenagem nesta região.

A informação do sistema de drenagem atual é essencial, pois através dele é possível determinar o fluxo de escoamento da área urbana, sua direção e área abrangida. As divisões dos sistemas de drenagem são essenciais para a determinação das subáreas, tendo em vista que toda a água que escorre pela área urbana é direcionada por esse sistema, que leva em conta também as cotas e foi estabelecido possivelmente de forma independente em alguns bairros, o que justifica a definição dos bairros.

Um dos principais motivos para a subdivisão em áreas está no pressuposto de que se deve tratar a questão da drenagem de maneira descentralizada, buscando dimensões menores para os sistemas de tratamento, distribuídos nos diversos pontos, tendo em vista que os espaços não são muito grandes e que efetivamente se teria mais gasto com o sistema de transporte dessa água se ele fosse centralizado.

Com as áreas já subdivididas, utilizando o cálculo de *first flush*, é possível determinar o volume de água que deve ser direcionado para tratamento em cada região.

Definição de áreas prioritárias, com base na subdivisão, para a implantação dos sistemas de tratamento de *first flush*.

A definição de áreas prioritárias leva em conta as sub-regiões onde é possível que ocorra maior concentração de poluentes. Isso foi determinado através do uso e ocupação da área urbana, dando ênfase às sub-regiões onde se exerçam em maior concentração atividades potencialmente mais poluidoras, como postos de combustível, lava-rápidos, estacionamentos, borracharias e oficinas mecânicas. Além disso, outro parâmetro mais simples foi dar prioridade a locais onde se tenha maior densidade urbana (vias de grande circulação).

Análise de localizações viáveis em cada área subdividida considerada

prioritária para a instalação de sistemas de tratamento.

Nesta fase identificaram-se locais nas subáreas definidas como prioritárias para a implantação dos sistemas de tratamento de águas pluviais. Esses locais são áreas públicas desocupadas ou ocupadas parcialmente, pois mesmo que existam praças, ou que sejam próximas a áreas residenciais, é possível a implantação dos sistemas de tratamento propostos já que estes não interferem no seu uso principal e podem ainda vir a ser um atrativo paisagístico para a população local. Além disso, foi considerada como critério a locação desses sistemas nas áreas mais baixas e próximas dos rios, ou ainda, o mais próximo possível das saídas do sistema de drenagem, para que não haja gastos com tubulações de direcionamento dessa água para os sistemas de tratamento. As áreas mais baixas foram escolhidas devido à concentração das águas pluviais transportadas por gravidade, e, por associação, essas áreas sempre serão mais próximas das saídas de drenagem e dos rios.

As áreas para a alocação dos sistemas de tratamento não devem ter declividade maior 8% (Tomaz, 2009).

Dimensionamento dos sistemas, definição dos sistemas de tratamento viáveis e proposição para essas áreas prioritárias.

Cada área possui uma quantidade diferente de água em volume a ser tratada e também espaços diferentes dentro de si disponíveis para a implantação dos sistemas. Tendo isso em vista escolhem-se os sistemas de cada subárea com características adaptadas a quantidade de água que será tratada e o tamanho do sistema que se é possível implantar.

Para que o sistema de adapte às áreas disponíveis considera-se a necessidade de projetar um reservatório cilíndrico de contenção do volume de *first flush* produzido antes que ele seja direcionado para a *wetland*, com o intuito de reduzir a área ocupada pelo sistema. Determinou-se que o reservatório deverá ocupar cerca de 30% da área disponível, e o restante representa a área do sistema de *wetland*. Com base na área disponível para o reservatório é possível calcular a sua altura a partir do volume WQv encontrado. A partir da área restante pode-se calcular o volume que a *wetland* tratará com base na altura da lâmina d'água do tipo de sistema escolhido, e considerando ainda o tempo de detenção do sistema é possível saber o tempo total necessário para que o ele trate todo o volume de *first flush* produzido.

Elaboração de um sistema-base para ocupações futuras na bacia.

Levando-se em conta a propensão de ocupação urbana existente na bacia, indicada no Plano Diretor Municipal (citado na contextualização), é necessário pensar não só em adaptações da situação existentes, mas em projeções de utilização futura do espaço da melhor forma possível, pensando na elaboração de um projeto de bairro ideal.

Considerações Gerais Sobre os Mapas Produzidos.

Os mapas produzidos foram realizados em ambiente SIG, sendo que a informação geográfica associada tem como fonte as Cartas Topográficas de 1:10.000 disponibilizadas pelo IGC – Instituto Geográfico Cartográfico do Estado de São Paulo. A maioria dos mapas foram processados no Software MapInfo Professional 11, a exceção dos mapas 3D, apresentados aqui como ilustrativos, que foram processados no Software ArcGis (ArcMap e ArcScene, 2010). Tais mapas sofreram estrapolações de suas escalas para tornar os aspectos do relevo mais facilmente visualizáveis ($z=10$).

5 – RESULTADOS, DISCUSSÃO E PROPOSTAS

Primeiramente foram obtidos os dados pluviométricos diários para o município de São Carlos, por um período mínimo de 30 anos (TOMAZ, 2009), com o volume de chuvas em milímetros. Esses dados foram coletados pela estação pluviométrica localizada na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) (Código do INMET:A711, Latitude Sul: -21,98 e Logitude Oeste: -47,88), ligada a rede de dados meteorológicos do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), disponibilizados por meio de cadastro no sistema de Base de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP, 2013), sendo o intervalo histórico utilizado de janeiro de 1970 até março de 2013, somando 43 anos, mais que o período mínimo necessário.

Com tais dados foi possível calcular a frequência acumulada das precipitações que geram *runoff*, citados por Tomaz (2009) como sendo toda precipitação acima de 2 mm. Schueler apud Tomaz (2009) determina então que o *first flush* é obtido com 90% das precipitações que produzem runoff, com isso obteve-se o referencial de precipitação de 39 mm. Esta aproximação é apresentada na Figura 2, porém decidiu-se trabalhar com a segunda aproximação descrita na metodologia para estimar os volumes de *first flush* a serem geridos em cada sub-área da bacia.

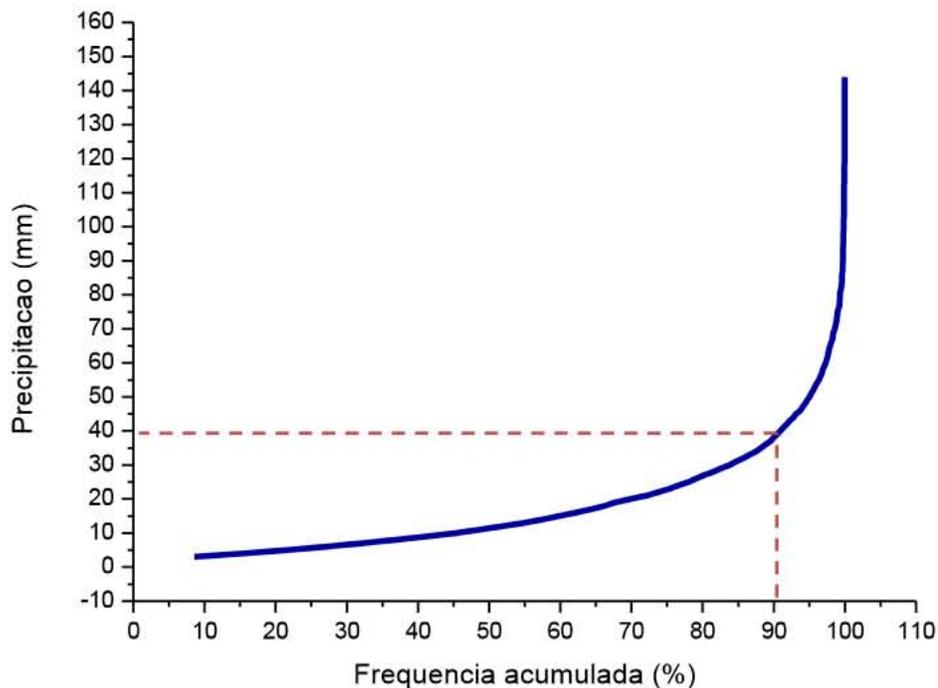


Figura 2 - Relação entre a frequência acumulada de precipitação(%) com a precipitação (mm), obtendo-se o referencial de precipitação com 90% de 39 mm aproximadamente.

Foi determinado um polígono, a área de estudo, que considerou a maior parte da área urbana da bacia, sendo que as áreas não incluídas eram mais isoladas e localizadas na cabeceira da bacia, o que dificultaria a aplicação da coleta da água de drenagem ou a determinação um ponto onde houvesse concentração *de first flush*, devido à ausência de adensamento urbano. A área de estudo está então localizada próxima ao exutório da bacia Santa Maria do Leme, junto ao córrego Cambuí e ao rio que dá nome a bacia, local mais baixo e com maior adensamento urbano, somando-se 1.796.000 m² (Figura 3).

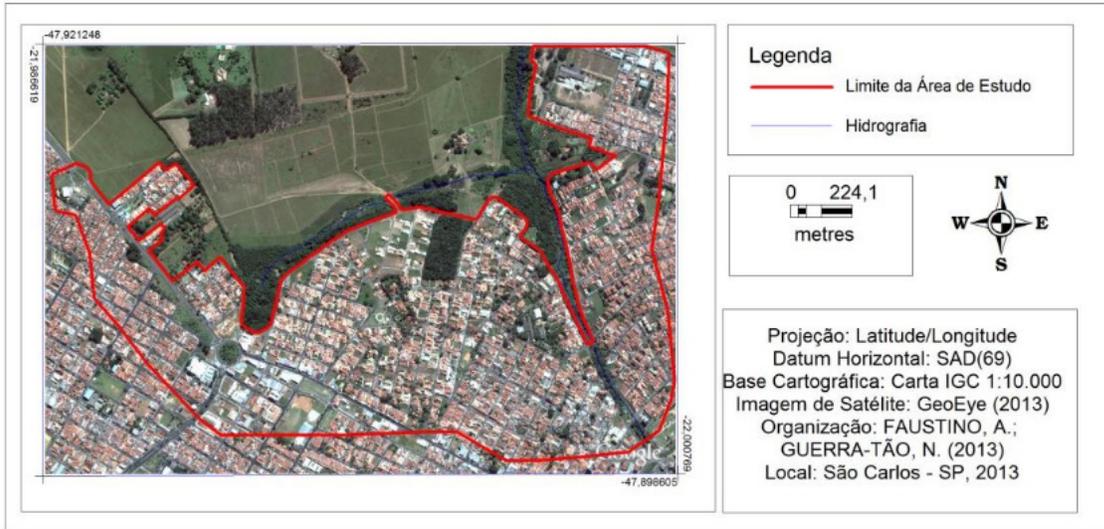


Figura 3 - Mapa da área urbana considerada como área de estudo no presente trabalho.

A partir disso, foi possível determinar qual seria a área Impermeável da área de estudo. Através do programa desenvolvido, descrito na metodologia, obteve-se a Imagem processada (Figura 4), separando-se as regiões permeáveis das regiões impermeáveis, obtendo-se a área total permeável existente na área urbana, 452.759,6 m², correspondendo a 25,27% da região (a área impermeável será então 74,73%).

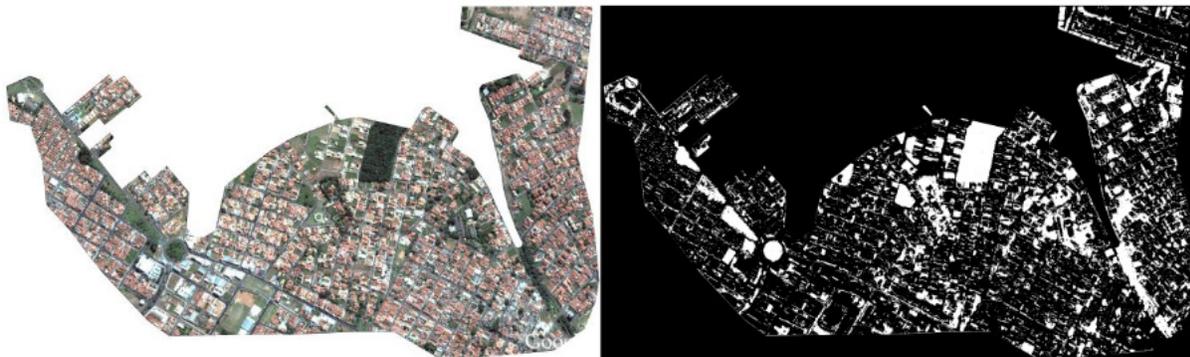


Figura 4 - Imagem da área urbana escolhida processada, retirando-se áreas permeáveis.

Os dados foram então aplicados à equação 1 descrita na metodologia, porém, para obter o P (total de *first flush* em milímetros) foi necessário determinar a chuva com tempo de retorno de 6 meses para a bacia. Com base nos dados históricos e seguindo a relação entre a probabilidade de ocorrência do evento chuvoso (Prob) e o tempo de retorno (Tr) apontada por Akan (2003) (Equação 4), a precipitação que apresenta Tr de 6 meses é a de 35 mm. Aplicando este resultado na equação 1 o valor encontrado de *first flush* foi de 25,04 mm. Então, da chuva média de 35 mm com período de retorno de seis meses, 71,53% pode ser considerada como potencialmente mais poluidora.

$$Tr = 1 / Prob$$

Equação 4 – Tempo de retorno através da probabilidade de ocorrência do evento.

O volume total de água a ser retido para a melhoria da qualidade das águas pluviais (WQv) na área urbana considerada foi então contabilizado, obtendo-se um volume de 32.491 m³ a serem retidos por período de chuva. A área média para tratar o volume total seria aproximadamente 36.101 m², estabelecendo-se um sistema de retenção com 0,9 metros de profundidade (Tomaz, 2009), o que representaria apenas 2,01% da área urbana da bacia delimitada como área de estudo. Mesmo que não represente a ocupação de muito espaço, tais dados são apresentados apenas como ilustrativos, já que a concentração do tratamento em apenas um lugar não é indicada, necessária ou possível, tendo em vista que devem ser considerados aspectos de: declividade; altitude, que estará relacionada com cada direção que a água escoar na área urbana, concentrando-se em diferentes áreas da bacia; transporte, que deve ser feito apenas com o auxílio do próprio relevo, sem utilização de bombas que gerariam gastos com energia elétrica; e, por fim, com a pouca disponibilidade de áreas tão grandes a concentração se torna inviável.

Levando-se em conta tais aspectos, foi proposta então a subdivisão da área de estudo proposta anteriormente em sub-regiões. Com os dados de altitude, curvas de nível e Mapa 3D (Figura 5 e 6), foi determinado para onde ocorria o escoamento superficial da água.

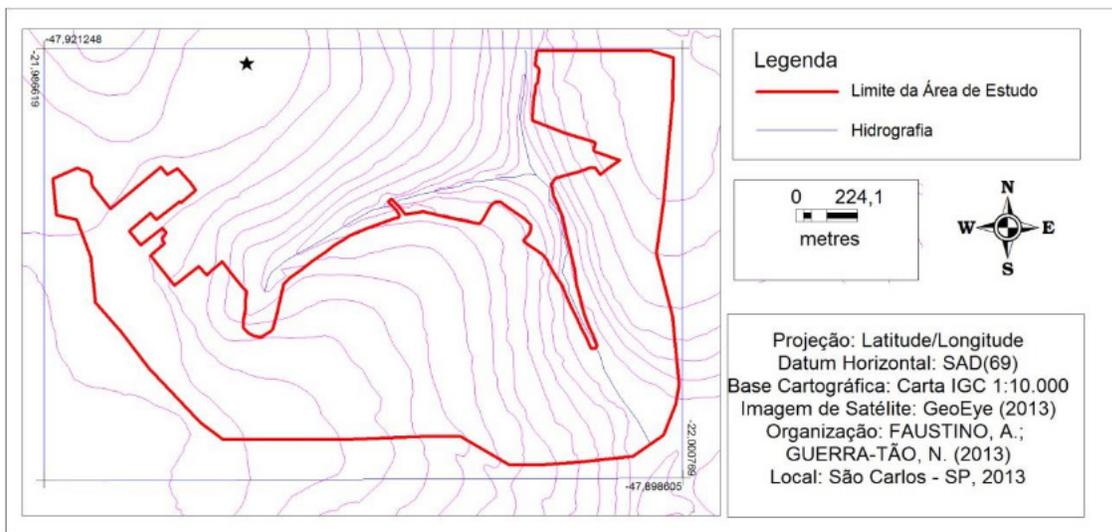


Figura 5 - Limite da Área de Estudo associado à curvas de nível utilizadas para a delimitação das sub-regiões.

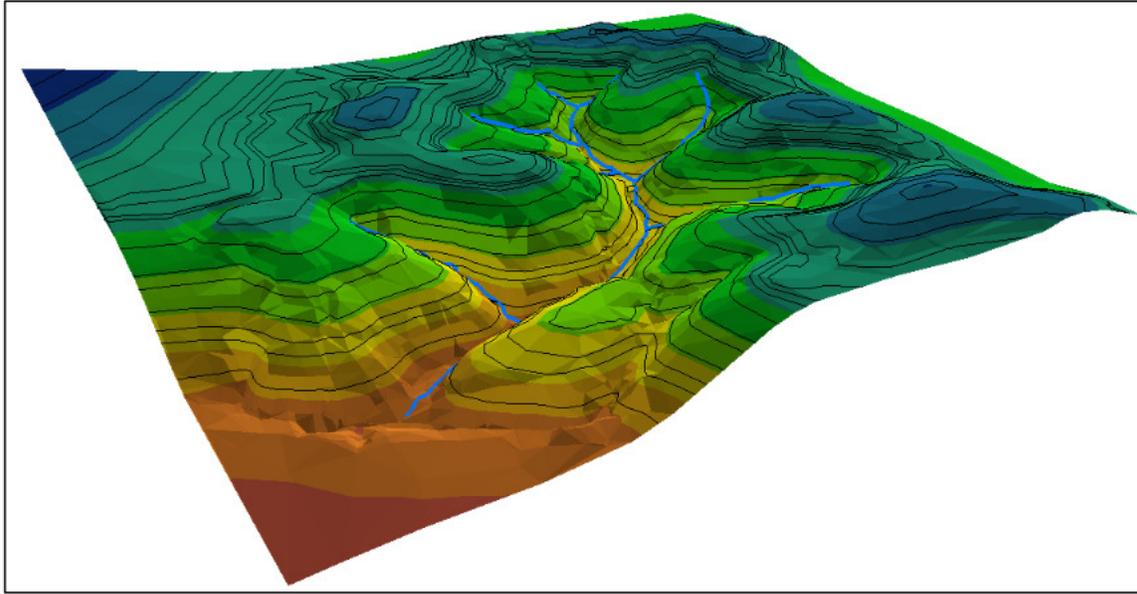


Figura 6 – Modelo tridimensional da Sub-bacia Santa Maria do Leme elaborado a partir das curvas de nível com equidistância de 5 metros.

Obtiveram-se as informações da delimitação e de quais bairros estavam localizados na área (Figura 7).

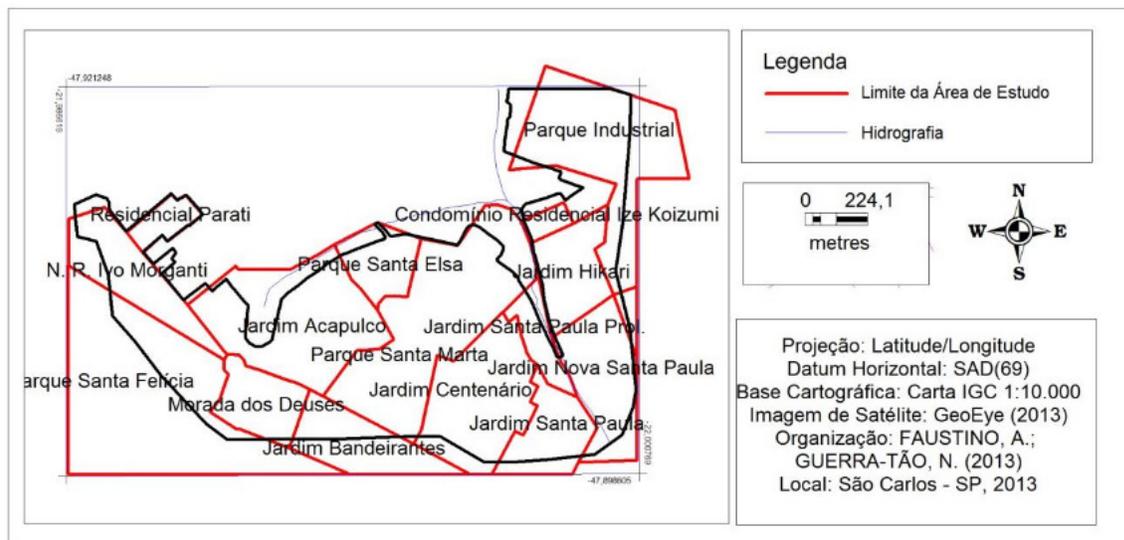


Figura 7 - Bairros localizados dentro da Área de Estudo.

Com essa informação em mãos, foram solicitados os planos de drenagem para cada bairro junto Sistema Integrado Municipal (SIM), processo o qual ainda não foi concluído. Porém obteve-se a informação de que tais dados não estão organizados pela prefeitura de São Carlos, salientando-se que muitos bairros da região são anteriores a exigência de drenagem pluvial pela legislação e tais sistemas podem nem ao menos existir. Sendo assim, conclui-se previamente que o único fator de influência sobre o escoamento está relacionado à altitude. Desta forma obtiveram-se as sub-regiões

apresentadas na figura a seguir (Figura 8). A área total das sub-regiões somadas não será igual à área total de estudo descrita anteriormente, pois quando foram feitas as subdivisões algumas regiões que a água pluvial não escoava na mesma direção foram desconsideradas.

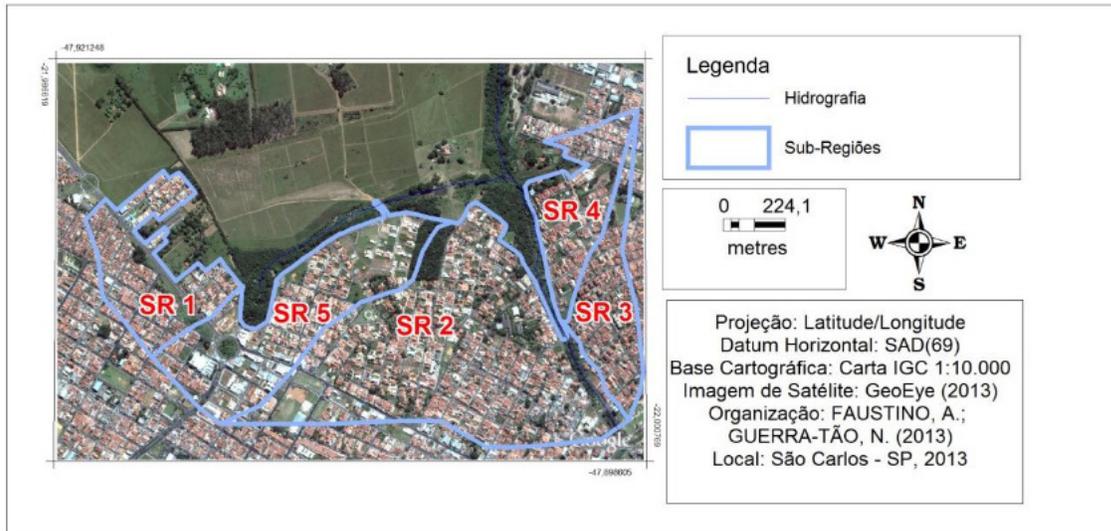
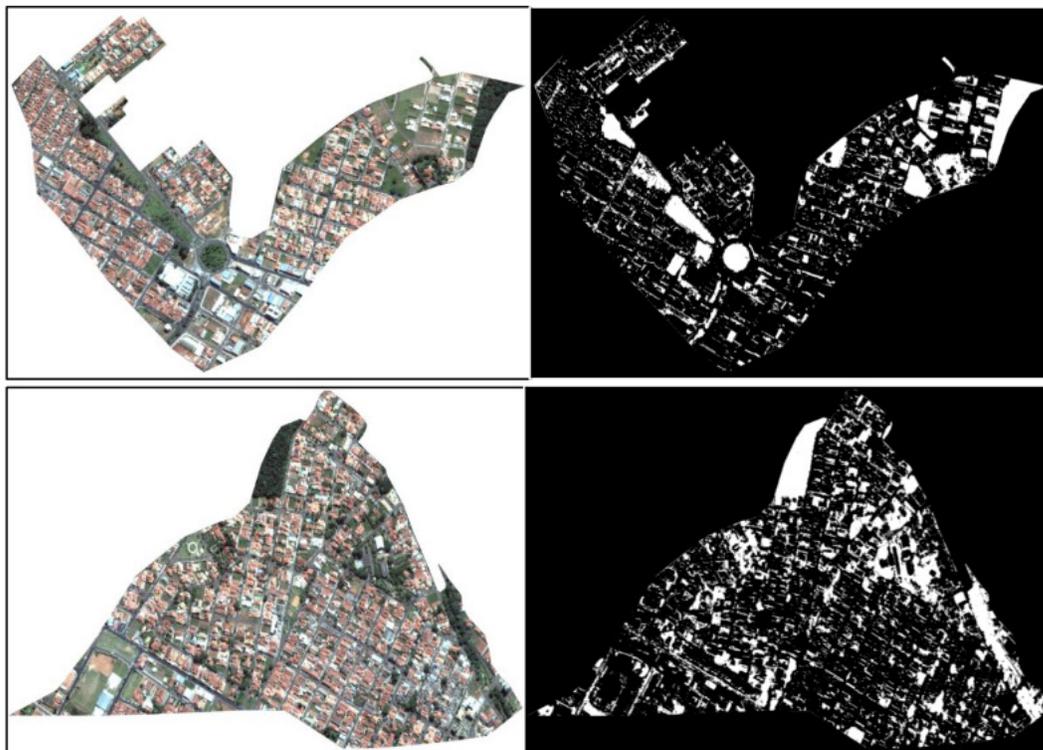


Figura 8 - As sub-regiões estabelecidas a partir dos critérios descritos.

Para cada sub-região foi realizado individualmente o mesmo método de processamento da imagem (Figura 9), aplicado na determinação da área Impermeável e permeável indicado anteriormente.



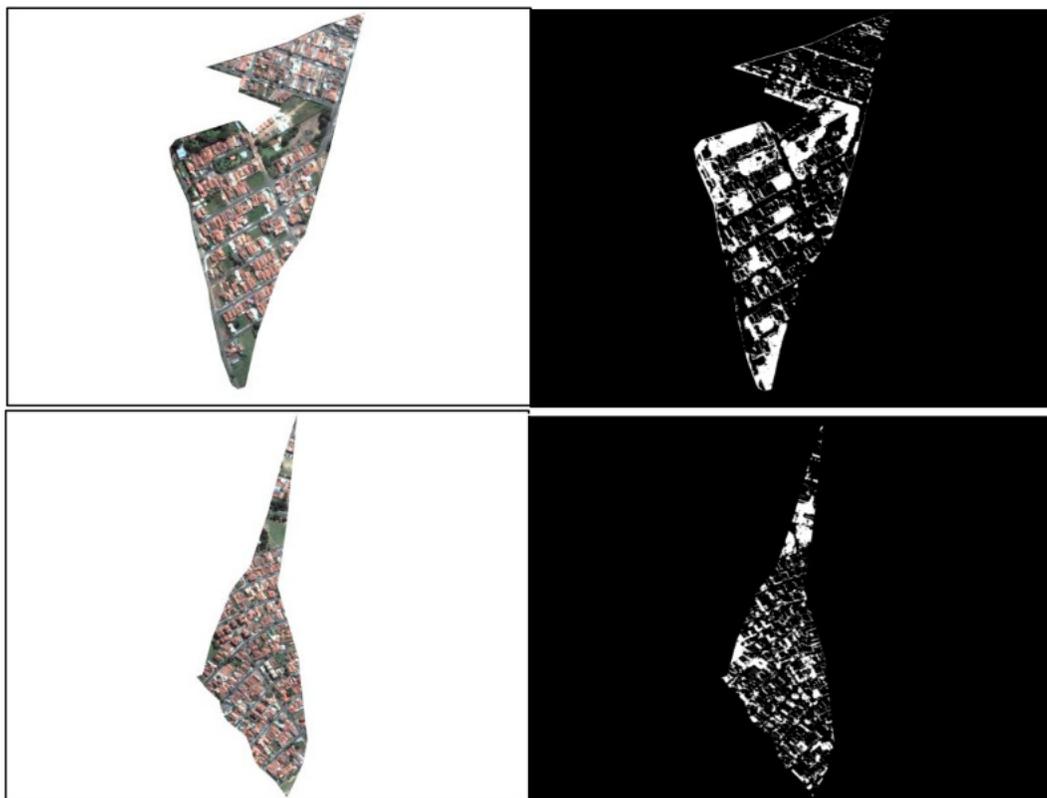


Figura 9 – Processamento das imagens de satélite para cada sub-região. À esquerda o recorte da sub-região antes do processamento, e à direita a classificação após a aplicação do índice *NandA* e do *threshold*.

Os valores obtidos são apresentados na tabela a seguir (Tabela 1), juntamente com a determinação do *first flush* (*P*) individual para cada sub-região, o volume total de água a ser retido para a melhoria da qualidade das águas pluviais (*WQv*), as estimativas de área e quanto em porcentagem isso ocuparia em cada Sub-região.

Região	Área total (m ²)	Área Impermeável (m ²)	Percentual de área Impermeável	first flush (<i>P</i> em mm)	WQv	Área necessária aproximada (m ²)	Porcentagem em relação a sub-região
1	205400	155400.2	0.76	25.04	3758.8	4176.4	2.03
2	740800	537971.5	0.73	23.61	12306.5	13673.9	1.85
3	154800	112829.8	0.73	23.73	2593.7	2881.9	1.86
4	165200	115319.2	0.70	22.37	2506.7	2785.2	1.69
5	348700	263817.2	0.76	25.04	6381.1	7090.2	2.03

Tabela 1 - Dados de Área, *First flush* e *WQv* para as sub-regiões determinadas.

Definidas e caracterizadas as sub-regiões, teve início o processo de priorização de áreas para a implantação dos sistemas de tratamento. Foram obtidos dados, através do site Wikimapia (2013) associados a informações do Google Street View (2013), de atividades realizadas na bacia, que poderiam ser consideradas como potencialmente poluidoras da água pluvial. Na área urbana considerada de forma geral

foram encontrados 20 atividades, distribuídas em centros automotivos (6), estacionamentos (5), postos de combustível (2), lava rápido (2), indústrias (2) e empresas (3) (Figura 10). Ocorreu maior concentração dessas atividades na sub-região 5 (Via de grande circulação, Avenida Miguel Petroni), considerada então prioritária para a implantação dos sistemas de tratamento. Devido a ausência de critério maior relacionado as atividades, a existência de áreas para a implantação do sistema em todas as sub-regiões e a proporção da área urbana considerada como área de estudo já ter sido previamente selecionada englobando áreas menores, serão indicados tratamentos para todas as sub-regiões.

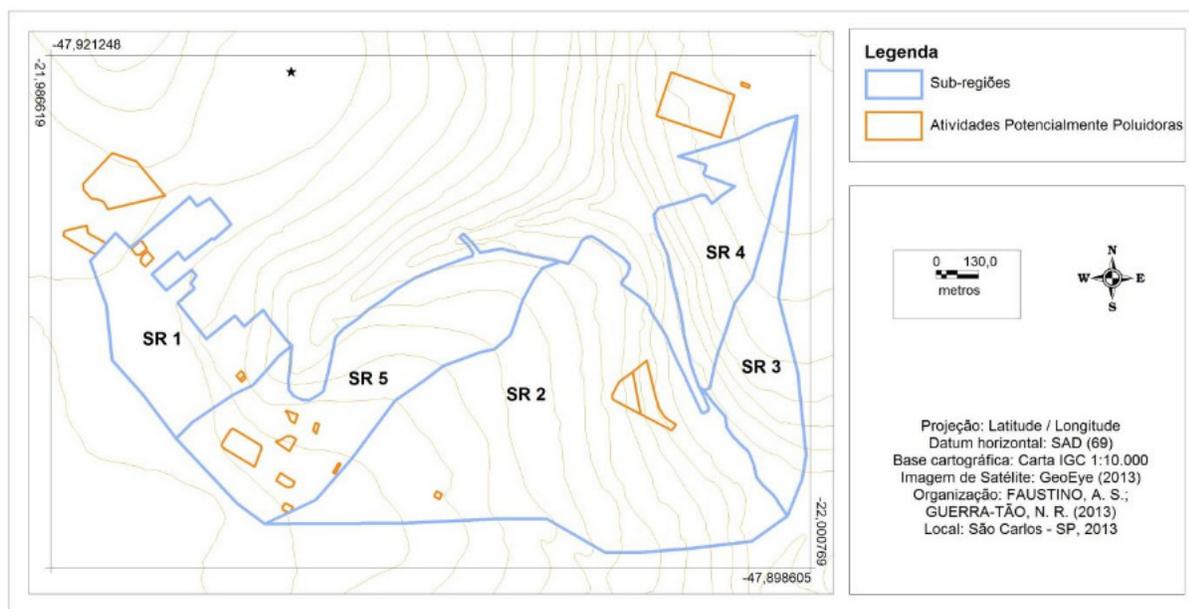


Figura 10 – Mapa com a identificação das principais atividades potencialmente poluidoras dentro de cada sub-região.

Baseando-se na definição das sub-regiões iniciou-se o processo de busca por áreas adequadas à construção do sistema de tratamento. Elaborou-se um mapa de declividade da bacia (Figura 11) por conta da restrição apontada pela literatura de que os sistemas não devem ser implantados em áreas com mais do que 8% de declividade.

Levou-se em conta que áreas públicas disponíveis para o sistema são mais adequadas, pois a escolha de áreas particulares implicaria em processos de desapropriação, e a escolha áreas de vegetação natural resultaria em perdas ambientais provavelmente maiores do que os ganhos com o desenvolvimento do sistema. Portanto, consultou-se o Sistema de Informações Geográficas de São Carlos (SIGA São Carlos) para verificar quais terrenos eram classificados como “áreas públicas municipais, estaduais ou federais para fins de recreio ou institucional”, sendo estas áreas prioritárias para a

implantação do sistema. Junto a estes critérios considerou-se a proximidade das áreas disponíveis com os corpos hídricos e principalmente com o exutório, para aproveitar ao máximo a estrutura de drenagem natural da bacia e dispensar investimentos com sistemas de bombeamento. Sendo o critério de áreas públicas a prioridade nesta escolha, mesmo que o espaço encontrado estivesse em uma região com declividade maior do que o limite adotado considerou-se a aplicação de terraplanagem. As áreas encontradas para a implantação do sistema em casa sub-região estão indicadas na Figura 11.

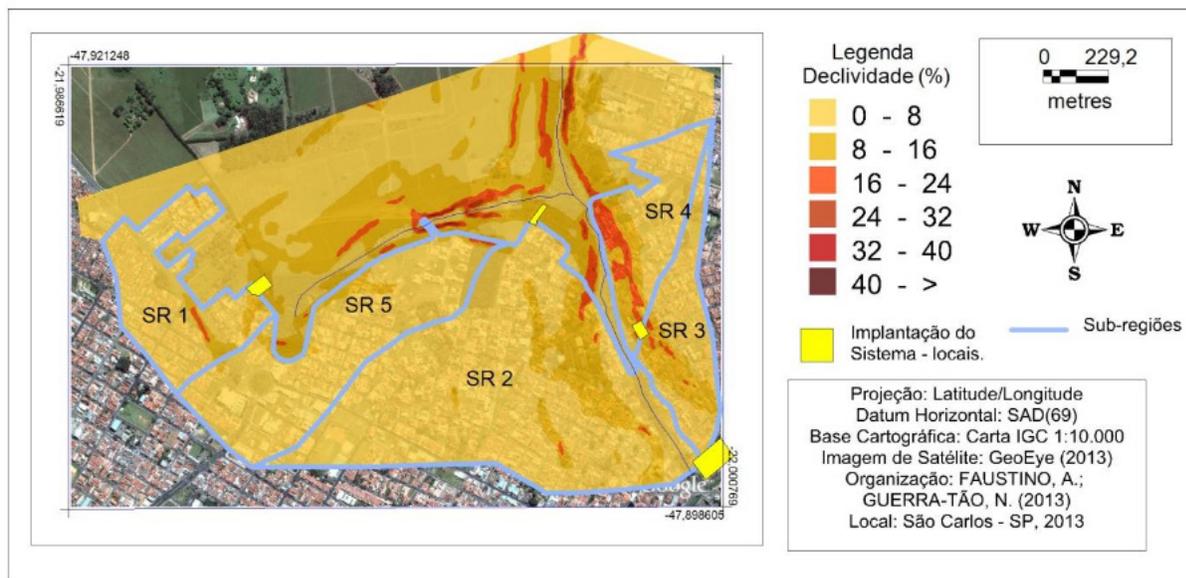


Figura 11 - Mapa de declividade em % associado aos terrenos propícios a implantação do sistemas em cada Sub-região.

Uma consideração deve ser feita quanto à escolha da área para a sub-região 3, que é o Cartódromo, localizado no bairro Jardim Nova Santa Paula, um local já utilizado para o lazer da população focado na realização de atividades físicas, pois dispõe de pistas para caminhadas. Porém este local também apresenta áreas cobertas por gramado que podem ser aproveitadas para a implantação da *wetland*, considerando que a junção destes dois usos na mesma área é viável dado o caráter paisagísticos que *wetlands* possuem. A mesma área do Cartódromo apresenta capacidade para alocação de lagoas além da necessidade da sub-regiões 3, e por isso a área disponível será destinada para tratar o excedente de *first flush* existente na sub-região 4, evitando assim o uso de reservatórios para conter o volume nestas duas sub-regiões. Devido a importância dessa área, foi desenvolvida e aplicada uma proposta de *wetland* visualmente, onde os locais das lagoas foram escolhidos de acordo com os cálculos realizados, respeitando-se bordas e áreas de recreação já existentes no local. A ideia é que todas as outras áreas propostas neste trabalho tenham suas *wetlands* concebidas a partir dos mesmos princípios de

interligação entre a proposta teórica e sua aplicação com benefícios paisagísticos a população local, com base na ideia desenvolvida para o Cartódromo (Figura 12).



Figura 12 - Ilustração da ação proposta para o Cartódromo que servirá como base.

Não foram identificadas áreas disponíveis para a sub-região 2, e com isso buscou-se outras áreas localizadas além dos limites da bacia, porém próximas às regiões o exutório. Duas áreas contíguas, localizadas a 500 m do exutório seguindo a Avenia Franciso Pereira Lopes, foram identificadas como viáveis para a instalação dos sistemas, de modo que o *First Flush* da sub-região 2 será direcionado para tais áreas, destacando-se a necessidade da construção de um sistema de tubulação que conduza o material.

Com base na literatura consultada, determinou-se que o sistema mais adequado seria o de **Wetland com detenção estendida**, considerando sua indicação para projetar sistemas que ocupem uma menor área e que realizem o tratamento do *first flush* produzido por bacia com área maior do que 10 ha, o que se adequa às sub-regiões encontradas. Seguindo as especificações de projetos com esta modalidade de *wetland*

apontadas em Tomaz (2009), a partir do volume total identificado para o tratamento em cada sub-região foi estimada a quantidade de água em m³ representada em cada uma das estruturas da *wetland*, considerando a presença de: lagoa de pré-tratamento, lagoas fundas, lagoas rasas e de um volume variável. Como estas estruturas apresentam especificações diferentes o volume envolvido em cada uma ocupa uma área superficial diferente, e a partir das contribuições individuais chegou-se na área total necessária para implantar o sistema de *wetland* (Tabela 2). Como as áreas disponíveis para as sub-regiões 1, 2, e 5 são menores do que a área necessária de *wetlands* para tratar o volume de *first flush* existentes em tais sub-regiões, foi proposto o uso de um reservatório alocado antes do sistema para conter parte do volume e liberá-lo aos poucos nas *wetlands*, reduzindo assim a quantidade de área ocupada pelas lagoas. O dimensionamento do reservatório envolveu um ajuste da área por ele ocupada (percentual da área disponível) e da sua altura (em m), até que suas dimensões estivessem ajustadas segundo a necessidade de área a ser compensada (Tabela 3).

Região	Volume do pré-tratamento (m ³)	Volume parte funda (m ³)	Volume parte rasa (m ³)	Volume variável (m ³)	Área do pré-tratamento (m ²)	Área parte funda (m ²)	Área parte rasa (m ²)	Área variável (m ²)	Área total do sistema (m ²)	Área disponível (m ²)
1	302	680	680	1360	101	378	1511	1511	3502	3679
2	707	1590	1590	3181	236	884	3534	3534	8188	8730
3	259	584	584	1167	86	324	1297	1297	3004	4059.5
4	251	564	564	1128	84	313	1253	1253	2904	2152
5	129	289	289	578	43	161	643	643	1489	1568

Tabela 2 – Dimensionamento dos sistemas de tratamento para cada sub-região a partir do volume WQv obtido na Tabela 1, considerando o uso de reservatórios para as sub-regiões 1, 2 e 5.

Região	Área disponível (m ²)	Percentual de área para reservatório	Altura do reservatório (m)	Volume em reservatório (m ³)
1	3679	0.1	2	735.8
2	8730	0.2	3	5238
3	4059.5	NA	NA	NA
4	2152	NA	NA	NA
5	1568	0.5	6.5	5096

Tabela 3 – Dimensionamento dos reservatórios a partir da área disponível para o sistema. *Sub-regiões em que não há necessidade de reservatórios.

Os custos de um projeto de sistemas de *wetlands* construídos variam primeiramente em função do tipo de sistema escolhido, sendo necessário considerar que cada caso apresentará uma necessidade específica e, portanto, terá um projeto de sistema distinto. Em segundo lugar existem as características do local destinado à construção, que pode necessitar de ajustes quanto à declividade, fornecer ou não um substrato adequado

ao sistema (como solos argilosos que auxiliam na impermeabilização), apresentar ou não plantas possíveis de serem utilizadas, etc. Sendo assim, existe uma grande variabilidade nos custos envolvidos com a construção destes sistemas, e deve ser realizada uma análise mais profunda quanto à viabilidade dos projetos considerando os custos envolvidos. De modo geral, pesquisas indicam que os custos de implantação destes sistemas podem ser de 50% a 90% menores do que os sistemas convencionais, sendo os custos operacionais muito baixos (NSFC, 2005 apud SILVA, 2007). A Tabela 4 apresenta os custos para construção de *wetlands* destinadas ao tratamento de esgotos em Iowa, nos Estados Unidos (SAUER e KIMBER, 2001 apud SILVA, 2007).

Localização	População atendida (hab)	Custo do <i>wetland</i> (US\$)	Área do <i>wetland</i> (ha)	Custo/ha (US\$)	Ano de construção
Agencia	616	30000	1.42	21127	1994
Chelsa	336	20000	0.11	181818	1990
Dows	660	53000	0.93	57205	1991
Cidade de IOWA	60.148	25000	0.22	113636	1998-99
Motel Vista Lago	variável	23000	0.36	63889	1997
Burr Oak	< 100	38000	0.1	380000	1993
AIMU - Associação Municipal de utilidade IOWA	variável	18000	0.06	300000	1999

Tabela 4 – Estimativa de custos para alguns sistemas de *wetlands* nos EUA.

Tomando como referência o custo da *wetland* para a cidade de Iowa (Tabela 4), pois se trata de uma cidade, e apresenta uma maior população, o valor corrigido considerando o dólar da época apontaria para um custo de R\$ 127.272/ha para construir o sistema, que se aplicado ao estudo (com ocupação de área total das *wetlands* de 1,91ha), o custo estimado para a execução do projeto proposto neste trabalho seria de R\$ 243.090.

Para a elaboração do sistema para ocupação urbana futura o processo teve início com a consulta Lei municipal 13.691 de 25 de novembro de 2005, o Plano Diretor de São Carlos, dentro do capítulo III (da Ocupação do Solo) em sua seção III (dos Coeficientes de Permeabilidade), onde verificou-se que a região da bacia destinada à expansão urbana é classificada como Zona de Regulação e Ocupação Controlada dentro do zoneamento, e para estas zonas o coeficiente de permeabilidade deverá ser de 20%. Não se aplica a essas regiões o coeficiente de cobertura vegetal, que contribuiria para o aumento de áreas permeáveis igualmente. Com isso a legislação não exige das novas áreas a serem construídas uma maior permeabilidade do solo, elemento fundamental para

reduzir o volume de *first flush* gerado, pois em todas as sub-regiões estudadas encontrou-se uma permeabilidade superior a 20%, em alguns casos chegando a 30%. Entretanto, deve-se considerar que os vazios urbanos contribuem significativamente para o aumento da permeabilidade nas regiões atualmente, sendo necessário um estudo mais aprofundado que indique qual a real permeabilidade encontrada quando estas áreas estiverem ocupadas.

Para o projeto de expansão de novos bairros é necessário que se considere alguns aspectos mais relevantes quanto à gestão de água de drenagem pluvial. Quanto ao percentual de áreas permeáveis, Silveira e Oliveira (2013) realizaram um estudo em diversas cidades brasileiras para avaliar qual seria o mínimo de área permeável necessária em cada terreno para que possa ser aplicado um conceito de sustentabilidade à proposta, sendo que os autores estimaram em 25% essa permeabilidade mínima. Assim como no exposto neste projeto, recomenda-se que os sistemas sejam projetados seguindo a lógica da gestão descentralizada, ou seja, buscar que as unidades de tratamento sejam estruturadas considerando a maior subdivisão da bacia possível, criando deste modo sistemas cada vez mais independentes e que necessitem de áreas menores para desempenharem sua função. Essa lógica também deve ser aplicada no desenvolvimento do próprio sistema de coleta e drenagem das águas pluviais, que impreterivelmente deverá ser projetado de forma a complementar as necessidades do sistema de tratamento. É necessário ainda aproveitar o potencial paisagístico existente nos sistemas de *wetlands*, tornando a alocação do sistema não uma perda de áreas públicas para a realização de um tratamento, mas que este espaço seja caracterizado também como uma área de lazer.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Evidencia-se no *first flush* sua alta capacidade de degradação dos ecossistemas aquáticos dada a sua composição final ao carrear os materiais depositados sobre a bacia hidrográfica, fato que é potencializado em função do processo de urbanização, e terá aspectos variando de local para local por conta das diferentes atividades humanas que se desenvolvem sobre este território, determinantes da composição final do *first flush*.

Destaca-se, sobretudo com esse trabalho a importância da implantação de sistemas que deem um manejo adequado às águas pluviais, potencialmente poluidoras e que não são comumente levadas a pauta seriamente nas ações ambientais

governamentais. Salienta-se com o trabalho apresentado que a aplicação de tais sistemas é viável, principalmente se for considerada de forma descentralizada, que o espaço utilizado é reduzido e que um bom planejamento dos locais pode levar a uma redução substancial de custos para a implantação. Considera-se também que os benefícios da aplicação do sistema não se limitam a questão ambiental e de qualidade das águas, mais que o sistema também pode oferecer uma opção de local de contemplação e lazer em espaços públicos, sem emitir odores ou causar quaisquer danos à qualidade de vida da população local, trazendo sim muitos ganhos.

O desenvolvimento sustentável com o passar do tempo não deve apenas se atrelar a atitudes pontuais e comuns, como reciclagem, plantio de mudas, entre outras, mas sim continuar melhorando continuamente e incluindo em suas atividades novas tecnologias e ideais, como as consideradas no presente estudo.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERS, R e JORGE, K. D. **Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados?** *Ambiente e sociedade*. vol. 8, n. 2, jul./dez. de 2005;

AKAN, A. O e HOUGHTALEN, R. J. **Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Quality**: Enginnergins Applications and Computer Modeling. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 373 p;

AMARAL, R. O M. **Avaliação de soluções naturais para o tratamento de efluentes poluídos de sistemas de águas residuais**. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade de Técnica de Lisboa, out. de 2011;

GIKAS, G. D. e TSIHRINTZIS, V. A. **Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater**. *Journal of Hydrology*. vol. 466, p. 115- 126, 2012;

KADLEC, R. H. e WALLACE, S. D. **Treatment Wetlands**. 2 ed. New York: Taylor and Francis Group, 2009. 965 p;

POLIDORIO, A. M. **Detecção de elementos da paisagem urbana em imagens aéreas multiespectrais**. 178 p. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2007;

PORTO, M. F. A. e PORTO, R. la L. **Gestão de bacias hidrográficas**. *Estudos*

avançados. vol. 22, n. 63, 2008;

SÃO CARLOS. Lei N° 13.691 de 25 de novembro de 2005. **Plano Diretor do Município de São Carlos**. Capítulo III, Seção III, p 47, 2005;

SÃO CARLOS. **Plano Municipal de Saneamento – Relatório 4 – Plano de Ações**. Prefeitura Municipal de São Carlos, Coordenadoria de Meio Ambiente, 315p. Fevereiro de 2012;

SILVA, S. C. da. “**Wetlands** construídos” de fluxo vertical com meio suporte em solo **natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 231 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, mai. de 2007;

SILVEIRA, S. e OLIVEIRA, F. **Minimum Permeable Soil Area in Sustainable Allotment**. *J. Urban Plann. Dev.*, 2013;

TOMAZ, P. **Curso de manejo de águas pluviais: Capítulo 59 – Wetland construída para melhoria da qualidade das águas pluviais**. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo59_wetland.pdf>, acesso em 10 de abril de 2013;

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções**. *Estudos avançados*. vol. 22, n. 63, 2008;