

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Departamento de Hidráulica e Saneamento

*“Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em áreas urbanas, como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo: Estudo de Caso: Bacia do Córrego do Gregório-São Carlos (SP)”.*



**REGINA CÉLIA DE OLIVEIRA**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcelo Pereira e Souza.**

**São Carlos**

**1998.**

Clas.	TESE-EESC
Cutt.	4090
Tombo	235/99

31100006520

SYS 1053756

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca -EESC - USP

O48m Oliveira, Regina Célia de  
Medidas não estruturais na prevenção e controle de  
enchentes em áreas urbanas, como subsídios para o  
planejamento de uso e ocupação do solo : estudo de  
caso : bacia do córrego do Gregório-São Carlos (SP) /  
Regina Célia de Oliveira. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de  
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.  
Área: Hidráulica e Saneamento.  
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Pereira de Souza.

1. Urbanização. 2. Enchentes. 3. Medidas de  
contenção. I. Título.

I. Título.

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Candidata: Bacharela **REGINA CÉLIA DE OLIVEIRA**

Dissertação defendida e aprovada em 11-06-1999  
pela Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **MARCELO PEREIRA DE SOUZA (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **CARLOS ROBERTO MONTEIRO DE ANDRADE**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Doutor **SIMAR VIEIRA DE AMORIM**  
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**  
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento

  
\_\_\_\_\_  
**JOSÉ CARLOS A. CINTRA**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Dedico:*

*a Deus, pelo dom da vida.  
e a meus pais : Valentim e Carmem,  
meu carinho e admiração .*



## ***AGRADECIMENTOS:***

Ao orientador Prof. Dr. Marcelo Pereira de Souza.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Iandara Alves Mendes, pela incansável ajuda na estruturação deste trabalho, e por ser uma grande amiga.

Aos Professores: Prof. Dr. Simar Vieira de Amorim do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos e o Prof. Dr. Carlos Roberto Monteiro Andrade do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da EESC/USP - São Carlos, pela gentileza e profissionalismo com que contribuíram em fases anteriores e durante a defesa deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade de Engenharia de São Carlos, em especial a Pavi, Sá e Rose.

Aos professores e funcionários da UNESP - Rio Claro, em especial, a Josimeire, João, Moema, Mônica e Nilza, pelo acesso e empréstimos de materiais junto a biblioteca da Universidade, sem os quais este trabalho não poderia ser realizado.

Aos funcionários do Departamento de Serviços Urbanos da Prefeitura Municipal de São Carlos e ao Sr. Pedro Cabalero do Departamento de Defesa Civil, pelo fornecimento de informações sobre a área de pesquisa, discussões e fundamentalmente pelo apoio e acompanhamento aos trabalhos de campo.

A Prefeitura Municipal de Curitiba e ao IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas - São Paulo), pelo acesso as valiosas informações citadas neste trabalho.

Aos amigos: Arilza, Sérgio, Claudinha Mattos, Cláudia, Paulo, Sissi, João, Gracione, Valesca, Renato e Thereza Dutra.

A Fabrício e Valéria, pela amizade sempre presente.

A amiga Karla, por estar sempre pronta a ajudar, a quem devo tanto.

A minha irmã Ana Beatriz pelas valiosas e pacientes discussões e ajuda nos trabalhos de campo.

Ao meu irmão Fernando e minha cunhada Cláudia pela disposição e ajuda nos trabalhos de campo.

A minha Família: meus pais Valentin e Carmem, meus irmãos: Fernando, Ana, Carmem e Glória, minha cunhada Cláudia e a meus sobrinhos: Rafael, Nanci e Eduardo por participarem comigo em todos os meus sonhos.

**SUMÁRIO:**

<i>Dedicatória</i> .....	<i>i</i>
<i>Agradecimentos</i> .....	<i>ii</i>
<i>Lista de Figuras</i> .....	<i>vi</i>
<i>Lista de Tabelas e Gráficos</i> .....	<i>viii</i>
<i>Resumo</i> .....	<i>ix</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>x</i>
<b>1. Introdução :</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Objetivos:</b> .....	<b>5</b>
2.1. <i>Objetivos Específicos :</i> .....	5
<b>3. Materiais e Métodos :</b> .....	<b>6</b>
3.1. <i>Procedimentos Metodológicos :</i> .....	6
<b>4. Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>10</b>
4.1. <i>O Espaço Urbano</i> .....	10
4.1.1 <i>A Cidade como Espaço de Ação</i> .....	10
4.2. <i>As Alterações da Urbanização Impostas à Bacia Hidrográfica :</i> .....	16
4.2.1 <i>Infiltração e Escoamento Superficial</i> .....	21
4.2.2 <i>A Problemática das Enchentes e o Planejamento Urbano</i> .....	30
4.2.3 <i>Medidas de Contenção de Enchentes em Áreas Urbanas</i> .....	39
4.2.4 <i>Exemplos de Casos de Implantação de Medidas de Controle de Enchentes em Áreas Urbanas</i> .....	53
<b>5. O Panorama Ambiental e Histórico do Município de São Carlos</b> .....	<b>72</b>

5.1 <i>Quadro Ambiental do Município de São Carlos</i> .....	72
5.2 <i>Atributos Físicos da Paisagem</i> .....	75
5.3 <i>A Estruturação do Urbano no Município de São Carlos</i> .....	81
<b>6. Estudo de Caso: Bacia do Córrego do Gregório - São Carlos -SP</b> .....	84
6.1 <i>Localização e Caracterização da Área de Estudo</i> :.....	84
6.2 <i>Atributos da Paisagem e os Efeitos da Ação Antrópica</i> .....	87
6.3 <i>Análise Correlativa dos Atributos da Paisagem como Instrumento para Proposição de Medidas Mitigadoras</i> .....	115
<b>7. Conclusões:</b> .....	123
<b>8. Referências Bibliográficas:</b> .....	125

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: Dinâmica do Ciclo Hidrológico .....	17
Figura 2: Diagrama ilustrando a distribuição dos diversos elementos topográficos estruturas deposicionais em planícies de inundação .....	19
Figura 3: Infiltração, Escoamento Superficial e Evapotranspiração, em Função do Índice de Impermeabilização em Superfícies Urbanas .....	20
Figura 4: Bacia de Percolação Acoplada a Boca-de-Lobo .....	45
Figura: 5: Exemplo de Estrutura de um Pavimento Poroso .....	46
Figura 6: Comportamento do pico de cheia em superfícies impermeáveis e em superfícies permeáveis .....	47
Figura 7: Aspectos Gerais do Sistema de Drenagem Experimental proposto por FUJITA (1984).....	58
Figura 8: Áreas de Inundação no Município de Curitiba-PR .....	62
Figura 9: Proposta de Localização de Tanques de Contenção na Bacia do Rio Tamanduateí em São Paulo (SP) .....	68
Figura 10: Feições Geológicas da Área de Estudo .....	79
Figura 11: Feições Pedológicas da Área de Estudo .....	79
Figura 12: Representação das Categorias Altimétricas da Área de Estudo .....	80
Figura 13: Localização da Área de Estudo .....	85
Figura 14: Representação digital da Carta Topográfica da Área de Estudo .....	87
Figura 15: Foto Aérea da Área de Estudo – Bacia do Córrego do Gregório - São Carlos –SP .....	90
Figura 16: Intervalos de declividade da Área de Estudo .....	91
Figura 17: Categorias de Uso do Solo e rede de Drenagem da Área de Estudo .....	94

Figura 18: Área de ocorrência de inundações na Área de Estudo .....	101
Figura 19: Localização das medidas de contenção de cheias propostas para a Área de Estudo .....	119

***LISTA DE TABELAS / LISTA DE GRÁFICOS:***

Tabela 1: Períodos de Retorno adotados em Projetos para diferentes Usos do Solo.....	54
Tabela 2: Médias Pluviométricas Mensais do Município de São Carlos-SP (1981-1998)....	92
Gráfico 1: Distribuição Percentual do Uso e Ocupação do Solo da Área de Estudo.....	95
Gráfico 2: Características Percentuais da Zona de Expansão Urbana da Área de Estudo....	96
Gráfico 3: Características Percentuais da área urbana da Área de Estudo.....	100



OLIVEIRA, R.C. *Sobre Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em áreas urbanas como subsídios para o planejamento do uso e ocupação do solo: Estudo de Caso – Bacia do Córrego do Gregório – São Carlos (SP)*. São Carlos, 1998. 141 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

### **RESUMO:**

O gerenciamento das águas pluviais tem sido um grande desafio enfrentado pelo poder público em virtude do aumento do contingente populacional ocupando áreas de risco a inundações que acarretam danos por vezes irreversíveis. O cenário conflitante em que se consolida a apropriação do espaço urbano alicerçado em uma postura pouco abrangente do planejamento, à medida em que essa estruturação passa a ser regida por interesses particulares em detrimento às necessidades coletivas, tem-se como uma das conseqüências a adoção de medidas estruturais em contenção de enchentes que invariavelmente atuam sobre o problema quando já bastante pronunciado. As medidas não estruturais de contenção de enchente por priorizarem o disciplinamento do uso e ocupação do solo com um caráter preventivo, vem, não apenas promover meios que consolidem uma apropriação do espaço menos conflitante que o atual, mas também figura como alternativa nos planos de contenção e prevenção quando da ocorrência do fenômeno. Este trabalho promove a discussão da importância e possibilidade da adoção de medidas não estruturais em contenção de enchentes em áreas urbanas tendo como cenário de análise uma bacia hidrográfica de uso preferencialmente urbano – Bacia do Córrego do Gregório – São Carlos (SP), a qual apresenta problemas críticos de drenagem superficial.

Palavras-chave: Urbanização; enchentes; medidas de contenção.

OLIVEIRA, R.C. de (1998) "*No structural measures in prevention and control of floods in urban areas as subsidy for planning the soil use and occupation: Study of case - Gregório Brook Basin - São Carlos (SP)*". Master's degree dissertation presented to São Paulo University - São Carlos Engineering School.

**ABSTRACT:**

The management of pluvial waters have been a great challenge faced by the public authority especially in last decades, due the increase of populational contingent taking areas of risk to inundation, which sometimes carried irreparables damages. The conflicting scenery that solidify the appropriation of urban space consolidated in a posture not many comprehended of planning, while this organization became to be ruled by privates regards in detriment to collective needs, it has as one of the consequences, the implant of structural measures in floods contention that invariably acts over the problem when it is enough pronounced. The no structural measures of floods contention for having priority to discipline the use and occupation of the soil as a warning character, comes, not only to promote ways that solidify an appropriation of the less conflitant space than the present, but also figures as alternative in contention and prevention plans in occurrence of the phenomenon. This work promotes the discussion about the importance and possibility to approve the no structural measures in floods contention in urban areas having as scenery of analysis a water-system preferably in urban use - Gregório Brook Basin - São Carlos (SP), that presents critics problems of urban draining.

Keywords: Urbanization, Floods, Contention Measures.

## 1. **INTRODUÇÃO:**

Nos países de clima temperado, a implantação e/ou expansão do urbano desde os seus primórdios está inerentemente associada a transformações do entorno dos cursos fluviais como por exemplo o dos rios Sena na França, Tâmisia na Inglaterra e Reno na Alemanha.

Verifica-se que, quase de forma orgânica, esse modelo foi incorporado nos projetos urbanísticos de países posicionados na faixa intertropical do globo.

No Brasil, a aplicação do modelo é observada a partir dos primeiros decênios do século atual, com a urbanização de áreas posicionadas ao longo dos rios, como se pode observar pelo processo de urbanização ao longo do rio Tietê, na cidade de São Paulo.

Os questionamentos relativos à adoção de modelos de urbanização similares em áreas de características climáticas diversas sempre foram restritos e pontuais. Um nome a ser destacado, dentre os que têm restrições ao modelo, é o do engenheiro Saturnino de Brito que, no início do século atual, propôs a criação, na calha fluvial, de lagos ao longo do trecho urbanizado do Tietê. Esta proposta ultrapassa ao mero caráter estético-paisagístico, a partir do momento em que são indicados como objetivos fundamentais para implantação de tais feições hídricas, a utilização destas como áreas de retenção do fluxo inerente às intensas e freqüentes precipitações pluviais, características da zona intertropical, na qual se encontra inserido o nosso país. Por sua visão profissional, o referido engenheiro se impõe como referencial para profissionais que atuam em quaisquer das áreas do conhecimento, em especial para aqueles cujo objeto de estudo repousa sobre os elementos que integram o sistema ambiental.

O contato com avanços tecnológicos desenvolvidos na sua área de atuação é imperativo para todo profissional. Entretanto, ele não se pode furtar a desenvolver uma

análise crítico-avaliativa no que concerne à aplicação, em território diverso, da tecnologia de ponta, detentora de profundo sucesso no seu país ou região de origem. Esta análise é, no mínimo, de vital importância, para o estabelecimento de fundamentais ajustes que possibilitarão o sucesso do empreendimento.

Entretanto, tem-se consciência de que, na maioria das vezes, mesmo de posse de parâmetros críticos balizados, o profissional se vê impedido de pôr em prática os ajustes por ele desenvolvidos. Essas situações são vivenciadas com frequência por profissionais que, atuando na esfera pública ou privada, vêm-se desprovidos de poder de decisão. Situação não menos crítica é vivenciada por aqueles que, ao encontrarem o modelo implantado, têm como árduo encargo, a solução e/ou mitigação dos problemas inerentes à execução, manutenção e funcionalidade da obra de engenharia.

Paralelamente e não dissociado do contexto até então apresentado, constata-se que o período Pós - Segunda Guerra Mundial foi marcado por processos de transformações econômicas, culminando com uma nova dinâmica de ocupação, uso e organização do espaço territorial em âmbito mundial. Diversos países assistem a um aumento demográfico considerável, uma aceleração da mobilidade das populações e conquistas de novos espaços, migrações brutais e um acentuado processo de urbanização.

Para compreender-se como essa dinâmica da urbanização observada em âmbito global ocorreu em nosso país, fazem-se necessárias algumas considerações.

Até o final da década de 40 e início dos anos 50, verifica-se que a política econômica vigente no Brasil privilegia a atividade rural. A partir da construção de Volta Redonda, nos anos 40, e do processo de modernização empreendido pelo Governo de Juscelino Kubitschek, em meados dos anos 50, em consonância com as transformações do contexto mundial, passou-se a valorizar a atividade industrial em detrimento da rural.

Uma das principais conseqüências da alteração do modelo econômico vigente foi a implacável redução de incentivos ao desenvolvimento da agricultura e da pecuária, manifestada, entre outras providências no aumento extraordinário dos juros para o financiamento de tais atividades. O ápice da valorização da atividade industrial ocorreu

nos anos 70, quando a política do “Milagre Brasileiro” estimulou a implantação de distritos industriais.

Em decorrência de fatos como esse, verificou-se um grande volume de expropriação de terras, forçando trabalhadores e pequenos a médios proprietários rurais a migrarem para as cidades em busca de melhores condições de sobrevivência.

Não se insere neste contexto, a discussão do problema da qualificação profissional dos migrantes, mas é procedente uma abordagem da forma abrupta como as cidades passaram a ter sua população aumentada, uma vez que tal fenômeno propiciou o desencadeamento de situações vinculadas à ausência de planejamento para subsidiar o processo de expansão urbana.

A análise dos cenários urbanos brasileiros revela a forma desordenada de apropriação do espaço, norteadas pela ausência de um planejamento que considere o disciplinamento do uso e ocupação do solo como prerrogativa básica de seu ordenamento. Essa ocupação desordenada, traz como conseqüências níveis abusivos de degradação ambiental evidentes no cotidiano urbano.

Nesse contexto, a urbanização dos vales fluviais, se processa comumente sobre áreas de planícies de inundação ou várzeas, terraços fluviais recentes e sub recentes e até mesmo sobre o leito normal dos cursos de drenagem, de forma que são ocupados setores, cujas características oferecem condições inóspitas, ou mesmo de risco de vida, para os que ali residem.

Nesses casos, o poder público tem comumente, uma atuação tímida em relação ao problema e adota, até mesmo em função de limitações financeiras, medidas que invariavelmente priorizam resultados imediatos, como é o caso da remoção temporária da comunidade das áreas alagadas, desassoreamento de canais fluviais, etc.

Cabe ressaltar, ainda, a adoção de medidas estruturais, algumas adotadas no Brasil em larga escala, as quais destinam-se, através da execução de obras de engenharia, a reter, confinar, desviar ou escoar, com maior rapidez, o volume de água das áreas inundadas.

Nesse âmbito, destaca-se a utilização de barragens e/ou similares, além da retificação, canalização de cursos fluviais e redimensionamento de galerias,

procedimentos que podem representar grave impacto à dinâmica ambiental, além de significar altos custos aos cofres públicos.

As medidas não estruturais para contenção de enchentes devem constituir-se elementos de análise e proposição a serem tratadas na fase de planejamento, podendo ser representadas por procedimentos que visam ao aumento do tempo de concentração de água em alguns setores da bacia, de modo a favorecer a maior quantidade possível de infiltração.

Têm-se, nessa linha, procedimentos como: zoneamento de áreas inundáveis; políticas de uso e ocupação, que definem maior índice de área permeável em locais onde a topografia favoreça a infiltração; maior fiscalização, visando ao cumprimento dos índices de permeabilidade definidos no Código Sanitário; leis de incentivo fiscal para preservação de áreas verdes em propriedades particulares; programas de educação ambiental visando a reduzir, por exemplo, o lançamento de lixo em vias públicas para impedir a obstrução de galerias e bocas de lobo; e, ainda, o uso de reservatórios de contenção nas residências.

Considerando tais reflexões, neste trabalho apresentam-se aspectos vinculados à adoção de medidas não estruturais para contenção de enchentes. Enfatiza-se a importância da compatibilização de medidas estruturais e não estruturais para contenção de cheias em áreas urbanas. Tendo como cenário de análise a micro bacia parcialmente urbanizada do Córrego do Gregório, localizada no município paulista de São Carlos, evidencia-se a adoção de medidas de contenção como providência a ser tratada, considerando-se, fundamentalmente, variáveis do meio físico.

## **2. OBJETIVOS:**

Este trabalho tem por objetivo fundamental:

Analisar a importância e possibilidade da compatibilização de medidas estruturais e não estruturais na prevenção e controle de enchentes urbanas, priorizando a adoção das medidas não estruturais.

### **2.1. *Objetivos Específicos :***

- Promover a discussão das alterações impostas ao meio físico em decorrência da ocupação antrópica;
- Estudar o comportamento do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica com problemas críticos de drenagem urbana - Bacia do Córrego do Gregório - São Carlos (SP), com as seguintes perspectivas:
  - mapear as áreas de ocorrência de inundação na área da bacia;
  - correlacionar os dados do meio físico e a ocupação antrópica;
  - apontar propostas de medidas de contenção de enchentes para a área da bacia.



### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Procedimentos Metodológicos :**

Tendo em vista os objetivos definidos, o presente trabalho apresenta os seguintes procedimentos metodológicos :

A revisão da bibliografia pertinente ao tema proposto fundamentou toda a abordagem técnica, teórica e metodológica.

A fundamentação teórica alicerçou-se em consultas a livros de temas específicos, ou áreas afins; periódicos e anais nacionais e internacionais; teses e dissertações.

Quanto às consultas bibliográficas, seja do tema geral ou específico da área de trabalho, foram realizadas a partir de levantamentos bibliográficos junto às bibliotecas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, da Universidade Estadual Paulista Campus de Rio Claro, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Foram utilizados também bancos de dados (Compendex, Unibibli), e informações disponíveis na "Internet".

O capítulo de revisão bibliográfica busca abordar a problemática das enchentes urbanas dentro do complexo contexto de estruturação do urbano, o que justifica a primeira etapa intitulada "*O Espaço Urbano*". Buscaram-se subsídios na literatura para uma maior compreensão da complexa interação Homem/Natureza na configuração do espaço urbano, tendo o modelo de urbanização a que o mundo contemporâneo assistiu como principal objeto de análise.

Portanto, a busca de um maior entendimento da dinâmica organização espacial, sobretudo no contexto urbano, consolidou parte da abordagem teórica apresentada na presente pesquisa, que pode oferecer subsídios às pertinentes discussões dos impactos da

urbanização e às alterações impostas à bacia hidrográfica. Para isso, buscou-se a ênfase sobre as alterações ambientais advindas da intervenção antrópica sobre o meio natural, tendo como uma das causas dessa intervenção as enchentes urbanas. A problemática das enchentes vivenciadas pela população, sobretudo em áreas densamente ocupadas e desprovidas de um planejamento que contemple as restrições oferecidas pelo meio, motivou um breve levantamento de medidas mitigadoras de contenção de enchentes, em que se destacaram algumas vantagens e desvantagens da escolha de medida a ser adotada e, ainda mais, comentário sobre a implantação de algumas medidas de contenção em situações distintas, como alguns exemplos de caso, selecionados na bibliografia.

Com base nessas discussões, buscaram-se subsídios para posterior sugestão de medidas de contenção de enchentes para a Bacia do Córrego do Gregório, tema deste trabalho.

Alguns exemplos de medidas de contenção de cheias, como os apresentados para São Paulo, Curitiba e Londrina foram observados “in loco”.

Concomitantemente à fase de revisão bibliográfica, foram realizadas visitas a órgãos públicos e privados que figuraram como fontes de informação de extrema importância como: IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica- Divisão de Geologia, onde foram obtidos dados concernentes aos projetos desenvolvidos em São Paulo, para contenção de cheias nas áreas de Pinheiros, Tietê e Tamanduateí; CHT - Centro de Hidráulica Tecnológica - Universidade de São Paulo - (SP), onde foram obtidas importantes informações verbais e bibliográficas sobre projetos de contenção de enchentes na grande São Paulo; a Secretaria de Saneamento de Curitiba - PR, onde foram conseguidas importantes informações sobre os projetos de contenção de cheias desenvolvidos e em andamento na cidade de Curitiba; na EMBRAPA-SP que forneceu informações sobre programas gerais de contenção de cheias na grande São Paulo; o DSU- Departamento de Serviços Urbanos da Prefeitura e a Secretaria de Defesa Civil da Prefeitura Municipal de São Carlos, cujos técnicos ressaltaram a problemática das enchentes na cidade e os planos propostos para minimização do problema.

As entrevistas e discussões com funcionários e técnicos do IPT, do CHT, da Secretaria de Saneamento de Curitiba, da EMBRAPA e visita à cidade de Londrina

foram procedimentos valiosos para o amadurecimento das idéias, durante o trabalho; assim também as entrevistas com funcionários da Prefeitura Municipal de São Carlos e as participações em Seminários sobre temas gerais ou específicos da pesquisa.

Tendo em vista uma discussão teórica sobre a dinâmica da organização do espaço urbano e o contato com órgãos públicos e privados, que forneceram informações valiosas sobre a problemática das enchentes na área urbana, considerou-se como área estudo de caso uma bacia hidrográfica de uso preferencialmente urbano, e que apresenta problemas críticos de enchentes. A área selecionada para estudo de caso compreende o setor de alto e médio cursos do Córrego do Gregório. A referida área, localizada-se na cidade de São Carlos -SP, cuja descrição e localização geográfica estão contidos no capítulo 6 deste trabalho.

Após a individualização do cenário de estudo, buscou-se reunir o material cartográfico como a carta planialtimétrica em escala 1:10 000 correspondente à área de estudo, em que foram considerados os dados concernentes a topografia, a hidrografia, o sistema viário e a delimitação da bacia. Os dados concernentes ao uso do solo e malha urbana foram utilizados do trabalho de QUEIROZ (1996); e os dados pedológicos e geológicos foram considerados do trabalho de LORANDI (1985). Essas informações cartográficas foram fundamentais para a produção dos mapas temáticos aqui apresentados.

Os índices percentuais de área permeável, impermeável, área vegetada e setores vazios, foram elaborados através da foto leitura de fotografias aéreas na escala 1:8.000, utilizando-se da técnica do uso de quadriculas para o cálculo de área.

Todo o material cartográfico foi reproduzido e manipulado através do Sistema de Informações Geográficas.

A opção pelo Uso do Sistema de Informações Geográficas deu-se, pela facilidade oferecida pelo recurso para a manipulação de dados espaciais, possibilitando com relativa flexibilidade a obtenção de novos cenários e resultados gráficos de conteúdo satisfatórios, a partir da análise espacial.

Considerando a potencialidade de aplicação do Sistema de Informações Geográficas e os objetivos propostos neste trabalho, optou-se por um sistema de

informação de fácil acesso e manuseio e que contemplasse as expectativas do trabalho. O uso do “software” IDRISI for Windows foi o sistema adotado.

Adotou-se, ainda, o software TOSCA 2.12 na transformação dos dados da forma analógica para o formato digital, sendo considerados os seguintes dados: sob a forma de linhas - topografia (curvas de nível), o sistema de drenagem (hidrografia), o sistema viário (ruas, ferrovias e rodovias) e a malha urbana; aparecem como polígonos: os limites das feições pedológicas e geológicas, os limites da bacia, as áreas críticas de enchentes e as feições de uso do solo.

A área digitalizada no sistema de referência UTM localiza-se nas coordenadas geográficas 7559000 a 7564000S, 201000 a 208000W. A carta topográfica em escala 1:10 000 corresponde às folhas: São Carlos I (SF-23-Y-A-I-1-NO-B), São Carlos II (SF-23-Y-A-I-1-NE-A), São Carlos IV (SF-23-Y-A-I-1-NO-D) e Fazenda Capão de Antas (SF-23-Y-I-1-NE-C) – IBGE – (1971).

Uma vez produzida parte dos mapas temáticos, partiu-se para a etapa de trabalhos de campo na área de pesquisa, a qual foi acompanhada por funcionários da Secretaria de Defesa Civil da Prefeitura de São Carlos. Tendo em mãos a carta topográfica com a disposição da malha urbana e a drenagem, buscou-se delimitar, de modo empírico, as áreas “pontuais” de inundação na área de pesquisa, partindo de informações verbais de Técnicos da Defesa Civil, de moradores e de observações em campo. Os trabalhos de campo foram fundamentais na constatação dos impactos da intervenção antrópica no meio natural, sobretudo nas áreas de fundo de vale da bacia, sendo possível correlacionar os efeitos da intervenção e a problemática das enchentes na área de pesquisa.

A correlação das informações disponíveis no material cartográfico com os trabalhos de campo, aliados às informações disponíveis na bibliografia sobre o tema drenagem urbana e medidas de contenção de enchentes, permitiu uma reflexão sobre a problemática do adensamento urbano frente aos atributos naturais e disciplinamento adotado para o uso e ocupação do espaço na área de pesquisa nas últimas décadas. Foi possível, assim, apontar algumas sugestões de medidas para o controle de enchentes urbanas, que viessem atenuar a problemática das inundações vivenciadas, a cada ano, na área da bacia.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Espaço Urbano**

#### **4.1.1 A Cidade com Espaço de Ação.**

De acordo com GONÇALVES (1995), uma das mais significativas expressões da produção do Homem sobre o espaço físico constitui-se na produção do urbano que, além de alterar a dinâmica do meio natural, agrega a gênese dialética dos conflitos sociais. Nesse contexto a urbanização realiza-se universalmente como resposta a uma série de fatores econômicos e sócio-culturais, caracterizando-se pela concentração da população nas cidades, apresentando-se como um conjunto de usos diferenciados.

DAVIS (1977) salienta que, antes de 1850, poucas sociedades poderiam ser descritas como predominantemente urbanas. Após o desenvolvimento político-econômico iniciado no século XIX desencadeia-se um processo até então inédito na história da humanidade a Revolução Industrial - gerando a urbanização, que transformou centros urbanos em grandes aglomerados humanos. A criação de novos centros urbanos em áreas anteriormente rurais, bem como a intensificação da migração campo - cidade, vem acelerar o ritmo de crescimento da população urbana em relação à rural.

Há consenso entre grande parte dos pesquisadores que a industrialização desempenhou um papel significativo no desencadeamento do fenômeno urbano observado nos países subdesenvolvidos. Atualmente, nesses países, os padrões de urbanização estabelecidos no apogeu da Revolução Industrial já não ditam impositivamente as regras do crescimento urbano e populacional, em virtude da

influência decisiva do processo tecnológico. Este é que define e controla o ritmo do processo de industrialização que hoje se dá de maneira desconcentrada e desarticulada dos grandes centros, ocorrendo, então, uma polarização do processo de produção e, conseqüentemente, uma desconcentração do processo de urbanização.

Para ZAHN (1983), a evolução demográfica, assim como o processo de urbanização, assumem características distintas das do século passado. Se, inicialmente o fator principal da urbanização foi a migração campo - cidade, atualmente o ritmo de crescimento urbano tem sido pautado fundamentalmente, pela mobilidade das populações entre cidades, obedecendo a taxas nunca antes observadas na história da Humanidade.

Primeiramente, tal crescimento se processa da maneira desordenada, sem perspectivas imediatas de ordenação. Assim, adverte LEAL (1995) que o processo de urbanização não deve ser entendido apenas como o aumento da concentração da população em uma determinada área do território, mas, fundamentalmente, como um processo de (re) produção do urbano.

A evolução do uso e ocupação do solo como resultado das relações sócio-político- culturais é marcada por múltiplos processos de concentração urbana metropolitana, agrupamentos industriais, ampla hermetização do solo por faixas asfálticas, chuvas ácidas, aumento significativo do processo de poluição sedimentária, química e orgânica do solo e da água, alterações drásticas da temperatura global e crescimento abusivo do desmatamento. São esses alguns dos efeitos catastróficos inerentes ao processo urbano-industrial.

Portanto, é no cotidiano das cidades que os efeitos do processo de urbanização são efetivamente sentidos.

O clima nas cidades, embora seja diferenciado pelas condições mesoclimáticas, está intimamente relacionado ao tipo de uso do solo adotado. Assim, ele surge como resultado das atividades humanas desenvolvidas no espaço urbano-industrial das cidades.

O aumento das superfícies de absorção térmica, a impermeabilização dos solos, as alterações da cobertura vegetal, a concentração de edifícios interferindo na circulação

dos ventos e contaminação da atmosfera através da emissão de gases, dão origem ao fenômeno urbano conhecido como “ilha de calor” (LOMBARDO, 1985).

CAVALHEIRO (1991) chama a atenção para o fato que as drásticas alterações no clima urbano traduzem-se, na formação de corredores de ventos que podem ocasionar grandes catástrofes, ainda, nos chamados “estresses bioclimáticos”, vivenciados biologicamente pela população através da sintomatologia de problemas circulatórios, cardíacos, respiratórios e de insônia.

As altas temperaturas são verificadas nas cidades, em setores que apresentam um crescimento vertical intenso, nos espaços residenciais e industriais densamente ocupados e com pouca área verde. Assim, a relação entre tal uso do solo e o fenômeno “ilha de calor” torna-se inerente às atividades do cotidiano urbano, exigindo, portanto, uma reavaliação dos usos do solo adotados, sobretudo nos grandes centros, sendo imprescindível, não apenas a inserção de espaços verdes na mancha urbana, mas uma maior atenção às atividades humanas que comprometem a qualidade de vida da sociedade.

Outro fenômeno do século XX é o da poluição sonora, que se intensificou a partir da década de 70 com a ampliação dos sons pelas novas técnicas eletrônicas. Os ruídos dos carros, indústrias e serviços, que envolvem as cidades de maneira contínua, constituem-se na chamada “campânula sonora”, que afeta diretamente a fauna e, principalmente o Homem causando-lhe perturbações no sistema nervoso e circulatório (TROPPEMAIR, 1989).

ORSINI (1994) destaca a poluição do ar como um dos fatores de extrema relevância na análise das alterações ambientais advindas das práticas urbanas. As diversas fontes poluidoras, sejam essas os resíduos dos processos industriais, a queima de resíduos sólidos, ou emissões gasosas lançadas por veículos, provocam prejuízos aos seres humanos, aos animais, à vegetação, à agricultura, aos solos e aos recursos hídricos. A poluição do ar provoca, ainda, no cotidiano dos grandes centros, a constante formação de nevoeiros e precipitações acidificadas (chuva ácida), a redução da insolação e alterações na distribuição da temperatura e dos ventos.



O autor chama a atenção para as alterações impostas ao solo pela urbanização. A intensa impermeabilização deles pelas diferentes fontes de uso, seja pela pavimentação de calçadas e quintais, asfaltamento das ruas, construção de edifícios, promove condições particulares que dificultam a sobrevivência da fauna e flora, sendo ainda responsável pela intensificação do escoamento superficial direto e conseqüentes inundações de áreas vinculadas aos vales fluviais.

Pelo exposto, conclui-se que o Homem produz e reproduz o espaço construído, visando sempre ao seu bem estar, dando uma nova ótica à produção desse espaço. Entretanto, ao efetuar tais alterações, ele cria fragilidades no espaço natural, desencadeando processos contínuos de deterioração ambiental, cujos efeitos aparecem nas próprias relações do cotidiano.

ZAHN (1983) chama a atenção a necessidade de se estabelecer um controle para o processo de desenvolvimento urbano, na medida em que esse, ao ocorrer de forma não ordenada, tende a comprometer o desenvolvimento econômico em âmbito regional, nacional e mesmo global.

É nesse sentido que o planejamento do espaço urbano, ou planejamento físico-territorial ganha respaldo ao incluir, não apenas as atividades econômicas desenvolvidas no espaço urbano, mas, fundamentalmente, o uso e ocupação do solo urbano, o que exige critérios de ação pautados por parâmetros que atendam às necessidades humanas, sem negligenciar as possibilidades naturais de usos oferecidas pelo sistema natural. A tecnologia e a gerência do espaço pelo Homem deveriam figurar como ferramentas básicas para promover uma maior harmonia entre o uso dos recursos naturais disponíveis, o arranjo territorial e as práticas econômicas.

SILVA (1994) chama atenção para o fato de que o planejamento não deve se resumir apenas à realização de um projeto, mas sim a um processo de ação permanente, visto que a organização espacial se processa de forma dinâmica. Assim, o território analisado como cenário de ação passa a ser considerado como um conjunto a ser dividido em subsistemas de planejamento, em que a organização territorial deve estar intimamente vinculada ao meio físico, à economia e às necessidades da sociedade.

Nesse contexto, o planejamento ambiental como um processo dinâmico, contínuo e permanente deve destinar-se a organizar e identificar, em programas coerentes, o conjunto de ações requeridas para a gestão ambiental, na busca de garantir a qualidade de vida presente e futura da população, por meio de conservação e melhoria do meio ambiente, influenciando nas decisões das atividades econômicas, de modo que estas se realizem sem ameaçar a produtividade e o equilíbrio dos sistemas ambientais.

É nesse sentido que a política ambiental, embora com objetivos próprios, deve ser prioridade de um governo, o qual deve subordinar os objetivos dela a uma política maior, que vise a integrá-la harmonicamente às demais políticas setoriais e institucionais, uma vez que os objetivos ambientais incidem em todos os aspectos fundamentais das políticas de desenvolvimento dos setores econômicos.

Um mecanismo da organização territorial vinculado à política ambiental é o *zoneamento*, que visa a maximizar os benefícios e a minimizar os riscos e prejuízos no contexto do planejamento, sendo, portanto, um quadro de restrições diferenciadas para as diversas atividades de gerenciamento do meio ambiente. Os níveis de restrições irão depender do objetivo específico do disciplinamento do uso de certos espaços e, fundamentalmente, do modo pelo qual a intervenção disciplinadora será efetivada (SILVA, 1994).

Assim, o *zoneamento de uso do solo* urbano constitui-se um dos principais instrumentos do planejamento urbanístico municipal, uma vez que tem, como princípio básico, realizar, na prática, as diretrizes de uso estabelecidas no Plano Diretor do Município, que consiste de um conjunto de normas legais que configuram o direito de propriedade, de construir segundo os princípios da função social.

Os documentos de zoneamento de áreas de risco, ou potencialmente perigosas, que indicam a vulnerabilidade, ou probabilidade de ocorrência de um ou mais eventos perigosos em determinada área, em dado período de tempo, e com dado nível de intensidade são elementos de extrema importância para a definição e/ou aprovação de áreas destinadas a determinados fins.

ZUQUETE et alii (1995) chamam a atenção para o fato de que os estudos de áreas de risco têm se intensificado nas últimas décadas, em decorrência do aumento da

concentração populacional e industrial, que se faz de maneira acentuada e desordenada, produzindo áreas densamente ocupadas, intensificando, assim, a probabilidade de uso de áreas vulneráveis à ocorrência de eventos perigosos, e que terão, como conseqüências, perdas materiais e humanas.

No Brasil, os estudos sobre previsão de eventos perigosos e de situações de risco são ainda restritos, embora se admita que essa prática possibilite a determinação de critérios de restrições na ocupação e no uso de áreas vulneráveis, e propicie a minimização de riscos, prejuízos e de impactos negativos decorrentes.

TROPPMAIR (1991) define áreas de risco como aquelas sujeitas a fenômenos adversos devido a suas características físicas ou geográficas, caracterizadas por zonas de inundações, deslizamentos e desmoronamentos e, ainda, as áreas que apresentem fragilidades de uso, em decorrência das falhas geológicas.

Para AB'SÁBER (1982), é necessário um refinamento metodológico na abordagem da atuação do Homem sobre o espaço, sendo, portanto, necessário considerar o teor, os mecanismos, a velocidade e o volume dos processos capazes de degradar os espaços naturais, em diferentes níveis e em diferentes escalas. Portanto, não basta apenas caracterizar a amplitude dos espaços, mas entender os atributos do meio físico que servirão de suporte às atividades antrópicas. Assim, o espaço não pode ser analisado de forma homogênea, sobretudo no momento de tomada de decisão quanto ao uso atribuído a ele.

O autor (op. cit.) considera que, embora o zoneamento de uso do solo tenda a refletir basicamente as necessidades econômicas em detrimento das ambientais, levando a tomada de medidas que venham minimizar os impactos quando já instalados, a utilização dos espaços físicos por meio de combinados tecnológicos adequados, que compatibilizem o desenvolvimento econômico com fatos da natureza, é a grande meta e desafio do Homem atual.

#### 4.2. *As Alterações da Urbanização Impostas à Bacia Hidrográfica :*

O conjunto de terras drenadas por um curso fluvial e todos os seus afluentes, identificado como bacia hidrográfica, tem sua dinâmica natural profundamente alterada quando submetida a processos vinculados à urbanização.

Mesmo quando essa forma de apropriação se restringe apenas a um dos setores da bacia, constata-se que os efeitos dela decorrentes se fazem sentir na sua totalidade. O fato é plenamente explicado quando se considera a colocação emitida já em 1957 por FOSTER; RAPOPORT e TRUCCO, que *a bacia hidrográfica constitui-se num sistema aberto, onde ocorrem constantes trocas de energia e matéria entre todos os elementos que o integram*. Tais elementos constituem-se de topos de interflúvios, vertentes, e fundos de vales, solo, vegetação, fluxo fluvial, etc.

Neste contexto, algumas das alterações mais importantes impostas pela urbanização são aquelas que provocam a destruição da cobertura vegetal, a retificação dos cursos fluviais e a impermeabilização do solo.

A cobertura vegetal desempenha a função de anteparo, que protege a superfície do solo da ação erosiva das águas pluviais. Em função desse fato TRICART e KILIAN (1979) alertam para a importância da proteção que os vários extratos vegetais oferecem. Além disso, a cobertura vegetal desempenha um papel fundamental no balanço entre processos de infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial.

Quando a bacia hidrográfica é revestida de uma cobertura vegetal, as águas pluviais caem primeiramente sobre a copa das árvores que compõem o extrato superior. Em havendo outros extratos vegetais, essa água pluvial vai se precipitando verticalmente de extrato em extrato, de forma que, ao chegar à superfície do solo tem sua energia enfraquecida, proporcionando condições que favoreçam a infiltração anterior ao escoamento superficial.

Além desse trajeto, parte da água da chuva que escoar através dos troncos e caules infiltra-se no ponto em que o tronco entra em contato com a superfície do terreno. A água que se infiltrou, a depender das características geológicas e geomorfológicas da área, ou vai ressurgir no nível de base mais próximo, representado por rupturas

topográficas, fundos de vales e lagos, ou irá aflorar no nível de base geral representado pelo oceano. Entretanto, antes de alimentar esses aquíferos, ela propicia condições de vida à fauna e à flora instaladas no manto de alteração das rochas que compõem a estrutura da paisagem.

A água pluvial precipitada que ficou retida nas folhas e troncos devido ao processo de evapotranspiração retorna à atmosfera na forma de vapor (figura 1).

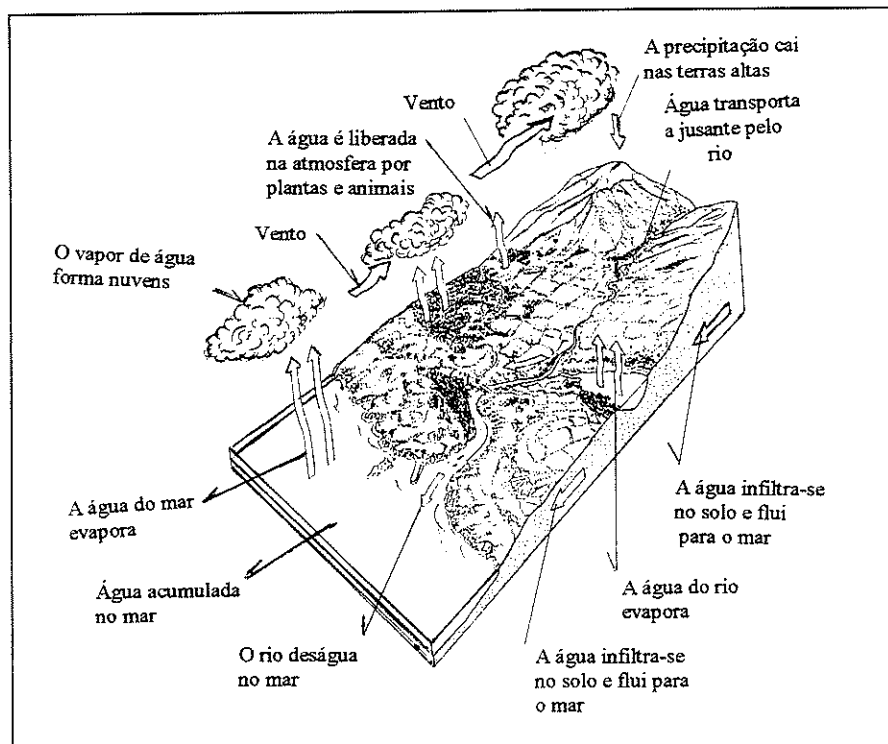


Figura 1: Dinâmica do Ciclo Hidrológico.  
Fonte: Adaptado de MORRERO (1969).

Numa outra perspectiva, quando um setor de uma bacia hidrográfica tem os topos e vertentes dos seus interflúvios destituídos da cobertura vegetal, estes ficam subordinados ao aumento da energia do escoamento do fluxo superficial e conseqüente dinamização dos processos plúvio-erosivos, que carregam, torrencialmente, sedimentos para os cursos fluviais, provocando não apenas o assoreamento, alargamento e redução da profundidade dos canais, mas criando condições desfavoráveis à manutenção da ictiofauna, em decorrência das alterações impostas ao seu habitat.

Nesse caso, durante o período das chuvas, quando os rios apresentam aumento da vazão, a diminuição e/ou ausência de rugosidades vinculadas à cobertura vegetal, reduzem o tempo de permanência da água no âmbito dos interflúvios da bacia, desencadeando inundações no vale e áreas adjacentes a ele.

A destruição da cobertura vegetal causa, ainda, alterações no micro clima da bacia, que se caracteriza, entre outras coisas, pelo aumento da temperatura e redução da quantidade de vapor d'água remetido à atmosfera. Nesse caso, o impacto gerado pela retirada da cobertura vegetal é nefasto a totalidade do sistema hidrográfico.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (1981), os tipos de canais observados na superfície terrestre se diferenciam conforme as características lito-estruturais do terreno e da dinâmica do fluxo.

Dentre os tipos de canais apresentados pelo referido autor, aqueles designados retilíneos são os mais raramente observados na natureza. Mesmo com tal morfologia verifica-se que os talvegues a eles vinculados apresentam-se sinuosos, ora aproximando-se de uma margem, ora da outra.

Uma característica apontada com relação à dinâmica desses fluxos é que, quanto maior for a heterometria do material transportado ao longo do seu leito, maiores serão as chances de serem esculpidas depressões e soleiras ao longo do leito fluvial. Essas formas não são freqüentemente observadas, quando o material transportado ao longo do leito apresenta uma granulometria homogênea.

Outro aspecto inerente aos cursos fluviais é a ocorrência, no trato do seu perfil transversal, de várias formas de relevo vinculadas à dinâmica e ao regime do fluxo fluvial (figura 2).

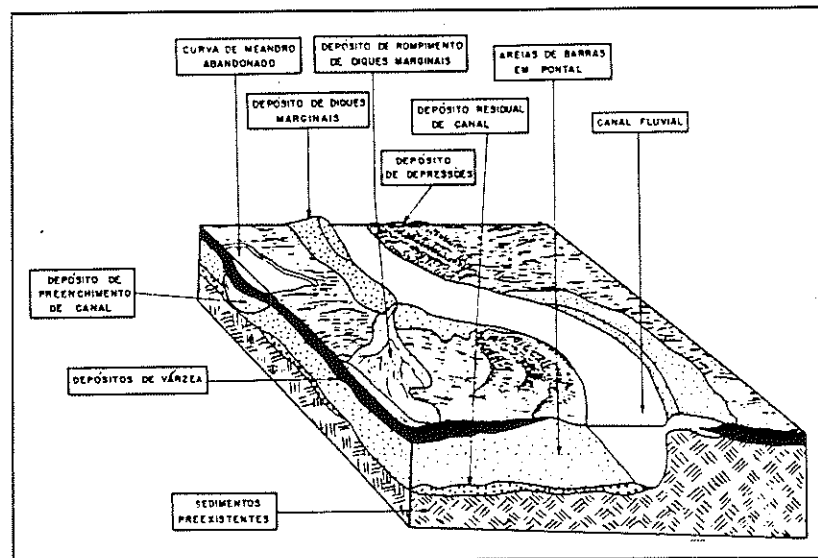


Figura 2: Diagrama ilustrando a distribuição dos diversos elementos topográficos e estruturas deposicionais em planícies de inundação  
 Fonte: CHRISTOFOLETTI (1981).

Observa-se, quando da urbanização de uma bacia hidrográfica, que é frequente proceder à retificação do curso fluvial, sendo também corriqueiro o recobrimento do canal, se a área do vale for utilizada, prioritariamente, como avenidas, ou vias expressas, em razão da fraca declividade relacionada a essa forma de relevo. As formas de relevo de origem fluvial que margeiam o canal são, portanto, recobertas por camadas asfálticas, que sustentam, assim, as pistas de rolamento; e sobre o talvegue normalmente são construídos canteiros. No momento em que é estabelecida a malha urbana nos topos e vertentes dos interflúvios e se procede à impermeabilização, através do revestimento asfáltico das pistas de rolamento, intensifica-se também a ação do escoamento das águas pluviais, cujos efeitos serão tanto mais agressivos quanto mais forem negligenciados fatores morfométricos e características lito-estruturais do terreno no planejamento e implantação da malha urbana e da macro - e microdrenagem.

Nesse contexto, à medida que a superfície passa a ser ocupada por edifícios, ruas e calçadas pavimentadas, aumentando o índice de impermeabilização do solo, ocorre sensível redução da porcentagem de água que infiltra no solo. Os pontos de detenção de



água são eliminados em áreas construídas, a rugosidade da superfície é reduzida e os pequenos canais de drenagem são substituídos por tubulações subterrâneas.

Portanto, os solos em áreas urbanas não representam suas características naturais de infiltração em decorrência da ação antrópica que intensifica o revestimento do solo, promovendo escavações, aterros, compactação e misturas de materiais de diferentes granulometrias, práticas que modificam consideravelmente a dinâmica de infiltração de água no solo, aumentando, assim, o volume e a velocidade do fluxo relacionado ao escoamento superficial (figura 3)

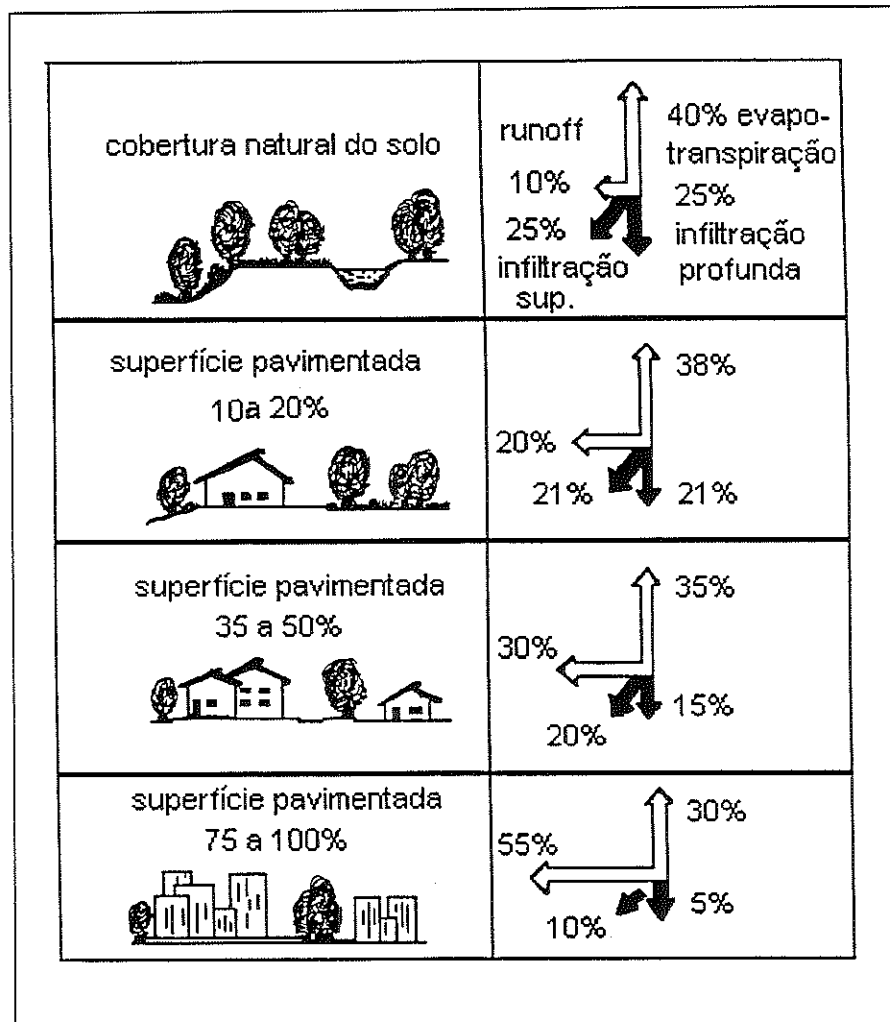


Figura 3: Infiltração, Escoamento Superficial e Evapotranspiração, em Função do Índice de Impermeabilização em Superfícies Urbanas.

Fonte: MOTTA (1980)

#### 4.2.1 *Infiltração e Escoamento Superficial:*

TUCCI (1995) faz uma rápida análise de alguns estudos, enfocando experimentos de infiltração em superfícies urbanas, e enfatizando o uso do infiltrômetro como ferramenta importante e de resultados singulares na medição da taxa de infiltração em diferentes tipos de solos.

Outro método bastante utilizado em campo tem sido o “*minissimulador*,” ou *simulador de chuva* desenvolvido por ASSELINE e VALENTIN (1978).

É importante ressaltar que o uso do simulador de chuva objetiva a mensurar o quanto da água introduzida no simulador ficou retida na parcela e quanto dela se infiltrou. Na análise do fator infiltração deve-se considerar, primordialmente, o volume da precipitação a ser utilizado, que deve ser compatível com as condições climáticas do local e com o objetivo da simulação. Assim, os experimentos têm mostrado que a precipitação de curta duração e alta intensidade em áreas urbanas são mais expressivas nesse tipo de análise, uma vez que apontam para um tempo de escoamento superficial pequeno e para um escoamento canalizado muito rápido.

As experiências práticas têm mostrado a possibilidade de obtenção do índice de infiltração com aproximações razoáveis do real. O método do *Simulador de Chuva* ou comumente chamado de “*teste do chuveiro*”, abrange áreas maiores, tornando possível a medição da quantidade de água infiltrada no solo a partir da obtenção da diferença entre a quantidade de água precipitada e a escoada superficialmente (WILKEN, 1978).

Os experimentos da dinâmica de infiltração em áreas urbanizadas tem-se mostrado bastante restritos no que concerne à bibliografia, sobretudo nacional. Contudo, a bibliografia internacional apresenta importantes estudos de casos como os analisados e discutidos por GENZ (1994), que chama a atenção, dentre outros, para os experimentos realizados em Tóquio no Japão em 1993, por Ando et alii, que fazem uso do *simulador de chuva* em parcelas delimitadas em áreas esportivas e jardins na bacia do Rio Yabata, para determinar a taxa de infiltração final.

DAN e VEM (1994) realizaram experimentos em estacionamentos na Holanda considerando três diferentes tipos de pavimentos: tijolos quadrados, tijolos e blocos de concreto. Os ensaios realizados por OKA (1993) objetivaram a identificar o grau de influência do manto natural e dos macro-poros do solo no fator infiltração. Para isto, OKA utilizou o método de *simulador de chuvas* em vertentes urbanizadas e naquelas recobertas por vegetação natural.

No que tange à bibliografia nacional, poucos estudos têm sido direcionados à análise de infiltração em áreas urbanizadas. Nesse contexto, sobressaem os experimentos desenvolvidos por GENZ e TUCCI (1995), que realizaram diversos ensaios em uma área selecionada do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), na cidade de Porto Alegre- RS, fazendo uso do método do *simulador de chuva* em diferentes tipos de cobertura superficial, ou seja, em parcelas cobertas por gramas, parcelas de ruas revestidas com paralelepípedo (pedras regulares de granito), ruas de chão batido, ruas recém-pavimentadas revestidas com pedras de concreto industrializadas (bloquets).

Nesses experimentos GENZ e TUCCI (1995) verificaram que, nas áreas cobertas por gramíneas a declividade é uma importante variável na determinação do fator escoamento superficial na fase transitória, em que se observa a diminuição da intensidade da infiltração, o aumento da altura média da lâmina d' água em movimento na superfície e o aumento do armazenamento nas poças, assim como na fase de esvaziamento, que corresponde ao período em que ocorre a perda do volume de detenção móvel da superfície, depois do término da chuva.

O comportamento do coeficiente de escoamento da água superficial foi obtido pela aplicação de equações matemáticas, adotando-se regressões múltiplas com algumas características apresentadas nas simulações de chuva, ressaltando, portanto, as variáveis mais significativas, como o tempo de embebição e a umidade antecedente.

Para as ruas pavimentadas com paralelepípedos antigos (mais de 30 anos), os resultados das análises das observações referentes aos experimentos apontaram para o efeito da declividade como um fator decisivo no estágio de embebição e tempo de início da fase permanente, que marca o fim do regime transitório, quando o escoamento se

estabiliza, apontando para um equilíbrio do sistema, em que as perdas são atribuídas somente à infiltração.

As simulações em áreas de chão batido mostraram que a quantidade de água infiltrada foi relativamente pequena, sendo os resultados comparáveis aos obtidos na segunda parcela de paralelepípedo, com declividade próxima à área de chão batido, embora as condições das superfícies fossem completamente diferentes. Portanto, a baixa taxa de infiltração pode estar relacionada ao nível de compactação do solo.

Em áreas recém-pavimentadas com paralelepípedos novos, os resultados apontaram para a capacidade de armazenamento da água infiltrada na camada de areia, e para o equilíbrio exercido entre a infiltração e escoamento superficial direto. Os coeficientes de escoamento apresentaram-se cerca de 35% menores que os coeficientes obtidos através das simulações sobre paralelepípedos antigos.

Nas simulação de chuva sobre parcelas revestidas por pedras de cimento industrializadas (blockets), os resultados mostraram que, além da umidade, as características da infiltração e escoamento são influenciadas pela intensidade da chuva, isto é, que a taxa final da infiltração pode aumentar, ou diminuir, segundo uma intensidade menor ou maior para a duração de chuva utilizada nos ensaios. Os ensaios indicaram um controle da infiltração pelas juntas que intercalam os blockets e a capacidade de armazenamento da água infiltrada na camada de areia, influem sensivelmente na diminuição do volume do escoamento superficial direto.

Os resultados obtidos pelos experimentos comprovaram a eficácia na utilização do *simulador de chuva* para a determinação da infiltração em superfícies urbanas.

Nas superfícies onde se observou um nível de infiltração significativo (gramíneas, paralelepípedos novos e blockets), verificou-se uma importante relação entre a umidade antecedente e uma inter-relação com a intensidade da chuva. As parcelas de paralelepípedos novos e blockets indicaram, a partir do coeficiente de escoamento, uma alternativa viável para minimizar os impactos da impermeabilização.

GENZ e TUCCI (1995) salientam, contudo, que a chuva simulada foi de alta intensidade e de curta duração; por esse motivo, a taxa da infiltração obtida corresponde a uma taxa final de experimentação e não à taxa final de infiltração da superfície, que

deve ocorrer somente com a saturação do solo pela frente úmida. Esse tipo de experimento é indicado para situações de dimensionamento de microdrenagem urbana.

A análise da bibliografia relativa ao tema permite salientar que, na prática, existem vários métodos que tornam possível a obtenção dos índices de infiltração, considerando que a capacidade de infiltração é obtida a partir da razão máxima em que o solo, em condições variáveis, é capaz de absorver água. Assim, a capacidade de infiltração só é atingida durante uma chuva, se houver excesso de precipitação.

O efeito da ausência de cobertura vegetal e do aumento da impermeabilização advinda das práticas inerentes às intervenções antrópicas no meio natural promovem efeitos diversos no que concerne à infiltração de água no solo em diferentes níveis. Pesquisas mostram que, em áreas de densa cobertura vegetal (matas e gramas), via de regra, observa-se uma significativa infiltração, favorecida pela retenção de água na superfície gramada, enquanto que em áreas cobertas por argilas nuas e compactadas por sucessivas pancadas de chuva, o fator infiltração é menor que o escoamento superficial; no entanto, quando protegidas por cobertura vegetal podem apresentar uma notável capacidade de retenção.

Já nas áreas que apresentam significativo índice de impermeabilização, característico de áreas urbanas, GENZ e TUCCI (1995) observaram sensível redução do efeito de infiltração da água no solo, promovida, entre outros fatores, pelo tipo de revestimento impermeabilizante adotado.

Assim, os métodos que buscam quantificar a capacidade de infiltração da água no solo devem considerar, dentre outros fatores, a heterogeneidade da área-teste, no que concerne aos atributos naturais e antrópicos, sobretudo naquelas de uso urbano.

Em relação ao processo de escoamento superficial, o mesmo é condicionado por fatores climáticos, como a intensidade e duração da chuva; e por aqueles de natureza fisiográfica, ligados às características físicas da bacia como a área, a forma, o índice de permeabilidade, capacidade de infiltração e a topografia da área.

O escoamento superficial "*natural*" em uma bacia hidrográfica ocorre basicamente em duas etapas: quando a intensidade da chuva é maior que a taxa de

infiltração e quando o escoamento subsuperficial excede a capacidade da camada superior do solo, é então, forçado a emergir.

Dentre os fatores que influenciam na dinâmica do escoamento superficial, devem-se considerar, inicialmente, os condicionantes climáticos, geológicos, geomorfológicos e paleogeomorfológicos que, ao definirem as características da região, comandam a atuação de tal processo. Tomando como referência uma escala mais detalhada, tem-se a declividade que contribui para a ocorrência de maior ou menor velocidade do fluxo e conseqüente dinamização dos processos erosivos. Tais processos podem ser minimizados pela presença de rugosidades no terreno. Nesse sentido, a cobertura vegetal exerce influência significativa na retenção de sedimentos, reduzindo sensivelmente os efeitos dos processos erosivos naturais.

VELASQUES (1996) considera que, além dos fatores naturais, os resultantes da intervenção antrópica também exercem fortes influências na dinâmica de escoamento superficial, sobretudo em áreas de uso urbano, onde a crescente impermeabilização do solo promove ou intensifica a dinâmica do escoamento superficial.

Deve-se considerar que a maior parte das superfícies urbanas consideradas impermeáveis permitem um certo grau de infiltração, ou retenção da água, por tensão superficial; assim, o tempo e o volume de escoamento em áreas “impermeáveis” são avaliados segundo a permeabilidade, a intensidade e frequência da chuva, a declividade e as características de projeto.

Outro fator a ser considerado é a geometria da bacia contribuinte, definida pelo seu contorno. Assim uma bacia estreita e muito alongada não se comporta como uma bacia geometricamente alargada e curta, no que concerne à dinâmica do processo de escoamento.

Em uma pequena bacia de drenagem os caudais são influenciados pelas condições climáticas locais, pelas características físicas do solo e pela intervenção antrópica. Nesse sentido, o ponto básico de análise é a bacia hidrográfica como um todo. Já numa grande bacia de drenagem, o armazenamento no leito do curso d'água torna-se muito pronunciado, exigindo o estudo hidrológico do fluxo a partir de medidas diretas dos caudais, em pontos predeterminados, bem como estudos estatísticos das vazões.

A diferença marcante entre as pequenas e grandes bacias de drenagem deve-se ao fato, que nas pequenas bacias, as medidas diretas não terem valor significativo, uma vez que o Homem, ao alterar as condições físicas de cobertura do solo, modifica as condições de escoamento, independentemente de variações climáticas locais. Assim, o fator escoamento superficial, nas pequenas bacias, afeta de maneira mais significativa o valor máximo do caudal do que o efeito de armazenamento, característico das grandes bacias de drenagem (WILKEN, 1978).

Assim, nos estudos hidrológicos, o fator “área” tem sido analisado com criteriosa atenção, visto que as experiências mostram a existência de uma notável diferença entre o comportamento da dinâmica hidrológica das pequenas e das grandes bacias de drenagem, entendendo-se que a classificação delas não está vinculada exclusivamente à sua extensão, mas envolvem, também, a variável “forma”.

CHRISTOFOLETTI e PEREZ FILHO (1975) elucidam que a forma das bacias hidrográficas é influenciada pelo controle da litologia, topografia e pela tectônica com ação eficiente sobre os processos atuantes. Dentre os diversos procedimentos adotados para a identificação da forma da bacia, os autores (op. cit.) apresentam o *índice de circularidade* proposto em 1953 por Müller. Esse índice é definido como a relação existente entre a área da bacia e a área de um círculo que possua circunferência igual ao comprimento do perímetro da bacia

Para Marisawa (1958, *apud* CHRISTOFOLETTI e PEREZ FILHO, op. cit.) o índice de circularidade possibilita a comparação da forma da bacia com a de um círculo, considerada como a expressão areal melhor correlacionada ao escoamento fluvial.

De acordo como os autores (op. cit.) quanto maior for o referido índice tanto mais próxima estará a bacia da forma circular; e a concentração das águas carreadas pelos afluentes será mais rápida; tendo as cheias a possibilidade de ser mais brutais e diferenciadas. No cálculo do índice de circularidade, o resultado obtido apresenta valor máximo de 1,0 quando a área da bacia corresponder exatamente à área de círculo igual ao perímetro.

Em 1957, Chorley, Malm e Pogorzelski (*apud* CHRISTOFOLETTI e PEREZ FILHO, 1975) considerando que a comparação com a geometria do círculo não era

satisfatória, porque, em geral, as bacias provavelmente possuam formas mais semelhantes as de uma pêra do que a forma circular, propuseram um índice comparativo a forma da bacia com a curva lemniscata, que é a curva geométrica em forma de oito (8).

GENZ (1994) salienta a importância da análise da localização da área urbana na bacia de drenagem. Considera que a localização da área urbana pode afetar não apenas a porcentagem de escoamento das diferentes partes da bacia, mas também o tempo relativo de escoamento e a fase de resposta. Assim, se uma área urbana está localizada em um ponto distante da saída da bacia, a rápida resposta da área urbana pode chegar ao mesmo tempo que a vagarosa resposta da área rural, posicionada próxima à saída da bacia, ou seja, a resposta de saída inerente à área urbana pode ultrapassar a saída relativa à área rural. Portanto, considerar a localização da área urbana na bacia de drenagem é imprescindível para o planejamento das micro- e macrodrenagens urbanas, representadas por bueiros ou bocas- de- lobo e pelas tubulações hidráulicas, respectivamente.

Nesse sentido, as características dos projetos de drenagem urbana, que consideram a água superficial como um *problema* a ser eliminado da bacia a partir de eficientes sistemas de drenagem urbana, devem valer-se de métodos quantitativos, e mesmo qualitativos, que priorizem o manejo da água de superfície de maneira a não promover maiores danos à jusante, fato frequentemente observado em virtude das enchentes localizadas, que figuram, via de regra, como um fenômeno natural, dinamizado pela ação antrópica.

Na prática, a definição dos fatores hidrológicos máximos (precipitação e vazão) se baseiam em metodologias que consideram a análise de frequência de eventos observados, como o *Método Estatístico* ou *Probabilístico*, que usa dados hidrometeorológicos na determinação de Enchentes Máximas Prováveis em que são consideradas as características fisiográficas da bacia. No *Método Determinístico* cujos processos operam dentro de limites finitos, consideram os mecanismos físicos que regem a dinâmica interna do fenômeno como relativamente estáveis. Por outro lado, o *Método Conjugado* permite a análise de risco, fundamental para decisões de projetos de obras hidráulicas. O uso crescente de modelos matemáticos, que tornem viáveis uma maior articulação dos dados e resultados passíveis de análises comparativas, vem



enriquecer ainda mais as discussões dos parâmetros vinculados ao sistema e as respostas reais advindas das manipulações dessas informações.

Assim, a determinação quantitativa do escoamento superficial deve considerar a avaliação da vazão do escoamento como parâmetro básico de análise. Para tanto, a bibliografia tem mostrado que, na prática, o *Método Racional* e os *Métodos baseados na teoria do Hidrograma Unitário*, além dos modelos matemáticos aliados a sistemas computacionais de simulações, têm sido usados com bastante eficiência no estudo da avaliação do escoamento superficial direto.

O *Método Racional* envolve coeficientes empíricos e o manuseio de hipóteses quanto ao funcionamento de componentes da drenagem; e é recomendado para determinação de vazões de pico em pequenas bacias.

BARREIRO (1997) chama a atenção para o fato que, ao adotar-se a aplicação desse método, ignora-se a complexidade do real processo do escoamento superficial da água, os efeitos de armazenamento desta nas depressões da bacia, as variações da intensidade de chuva e o coeficiente de escoamento superficial que é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitada.

O autor (op. cit.) chama a atenção para a determinação do tempo de concentração de água na bacia como um critério de extrema relevância no planejamento de dimensionamento de obras hidráulicas, e mesmo de medidas que venham a minimizar a ocorrência de enchentes, sobretudo em bacias de uso urbano.

Em áreas drenadas com diferentes tipos de revestimentos de superfície, típicos de área urbana, o tempo de concentração deve ser determinado pela adição de intervalos de tempos estimados para o fluxo pelas diversas superfícies, do ponto mais distante da bacia ao ponto onde a água será coletada, assumindo-se para a estimativa de vazão que:

1. no início da chuva não há acúmulo temporário de água sobre a superfície da bacia de drenagem;
2. a área contribuinte aumenta a partir do início da chuva, até decorrer intervalo igual ao tempo de concentração, quando a contribuição à vazão na seção de controle é igual a de toda a bacia;

3. os dados históricos de chuva, do revestimento do terreno, da forma e do tamanho da bacia, bem como da água de subsolo, são explicitamente considerados durante a estimativa de vazão;
4. a retenção temporária da água no solo e a variação de distribuição da chuva pela área da bacia, ou o tempo de duração são desprezados.

Embora o *Método Racional* seja bastante difundido e freqüentemente aplicado, são reconhecidas suas restrições em função das interpretações determinísticas das alternativas de vazão, obtidas através de sua aplicação.

VELASQUES (1996) considera que os métodos baseados na teoria do *Hidrograma Unitário*, quando empregados em bacias com mais de 3 km<sup>2</sup>, são eficientes para a determinação da vazão em projetos de bacias maiores que aquelas para as quais o Método Racional mostra-se eficiente. Esse método considera a hipótese de intensidade constante da chuva ao longo de sua duração e da existência de armazenamento na bacia.

O *Hidrograma Unitário* resulta de uma unidade de chuva excedente, distribuída uniformemente sobre a bacia e com duração específica. Assim, os hidrogramas unitários são determinados pela análise dos dados de precipitação e vazão e por meio de fórmulas empíricas.

AZEVEDO e ALVAREZ (1982) fazem um rápido comentário sobre dois métodos empíricos aplicados à avaliação de vazões. Um deles é a denominada *Fórmula de Fuller*, que utiliza a avaliação de vazões de máxima enchente no período de recorrência e para o cálculo da vazão máxima instantânea, considera como parâmetros de análise o coeficiente de vazão, a área da bacia e o tempo de recorrência em anos. O outro é o *Método de Ven Te Chow*, utilizado para determinação da vazão em projeto para dimensionamento de obras hidráulicas. Tal procedimento tem sido empregado em bacias com área acima de 1.500 ha e sua aplicação exige a prévia caracterização minuciosa da bacia no que concerne à qualidade do solo, tipo e quantidade de vegetação e condições de impermeabilização.

Nos métodos que buscam quantificar a análise do escoamento superficial urbano, a determinação do coeficiente de escoamento ou coeficiente de deflúvio (definido pelo volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado) e o

tempo de concentração de água na bacia são imprescindíveis no planejamento urbano, para a elaboração e aplicação de medidas que possibilitem o manejo de uso do solo e dos recursos que satisfaçam as necessidades do Homem com menor risco possível de ocorrência de eventos perigosos, com probabilidade de transformar-se em catástrofes.

Gerir o espaço compreende, portanto, mais que uma abordagem pautada por “*fórmulas generalizadas*” com finalidade de quantificar os atributos naturais, mas envolve fundamentalmente a compreensão do espaço como agente dinâmico e, portanto, alicerçado em regras próprias, que regem uma dinâmica processual complexa, tendo o Homem como agente precursor, ou que favorece o desencadeamento de processos, os quais, via de regra, provocam danos irreversíveis.

#### ***4.2.2 A Problemática das Enchentes e o Planejamento Urbano***

As enchentes urbanas constituem-se, atualmente, um dos impactos ambientais mais pronunciados, uma vez que a urbanização, ao ocupar as áreas de fundo de vale, planícies de inundação e vertentes, cria condições favoráveis ao desencadeamento do processo.

Há que se considerar, ainda, a dinâmica processual do vale fluvial, a qual envolve a atuação do curso d'água e os processos morfogenéticos atuantes na esculturação das formas de relevo dos interflúvios, que representam a ação dinâmica externa sobre topos e vertentes. Desse modo, o vale não se restringe a receber as influências do fluxo que ali escoar, mas expressa as influências advindas das forças morfogenéticas que atuam nas suas margens, e interferem, também, na dinamização das vertentes.

TUCCI et alii (1995) consideram que as enchentes em áreas urbanas decorrem, basicamente, de dois processos que podem ocorrer isoladamente ou em conjunto:

*As Enchentes de áreas ribeirinhas:* são enchentes naturais, que estão relacionadas a eventos de precipitação pluviométrica, nos quais o rio, obedecendo a um processo natural, com a ampliação do volume do seu fluxo, ocupa a área do seu “leito maior”. Tal fenômeno, de acordo com os autores (op. cit.), ocorre, preferencialmente, em grandes bacias, vindo a atingir a população que ocupa, inadequadamente, essas áreas;

Enchentes devidas à urbanização: estão intimamente vinculadas ao processo de impermeabilização, característico de área urbana, que reduz a parcela de infiltração de água no solo, aumentando o escoamento superficial, alterando os parâmetros de retenção e rugosidade. Assim, os efeitos da urbanização sobre a rede hidrográfica estão no aumento da vazão máxima, na antecipação do pico de vazão e no aumento do volume do escoamento superficial.

As enchentes relacionadas à urbanização, esclarecem TUCCI et alii (1995), ocorrem em pequenas bacias de drenagem que, uma vez aliadas aos sistemas de macrodrenagem e à distribuição espacial da precipitação máxima, dão origem a tais inundações.

Conclui-se, portanto, ~~que~~ o planejamento do sistema de drenagem urbana deve estar previsto na fase inicial ou preliminar do <sup>plano diretor</sup> planejamento urbano de desenvolvimento integrado. <sub>pag 57</sub>

O planejamento do sistema de drenagem, alertam os autores (op. cit.), deve considerar a preservação das condições naturais do relevo, quer pela construção de reservatórios naturais, que podem ser ocupados como áreas de lazer nas épocas de seca e como áreas de inundações periódicas nas épocas de cheia, quer pela manutenção de canais abertos de drenagem para diminuição e/ou eliminação da necessidade de instalação de tubulações enterradas.

De acordo com a CETESB (1986), antes mesmo de serem projetadas quadras e ruas nas áreas a serem ocupadas, devem-se projetar e instalar os sistemas de macro- e microdrenagem. Tais sistemas, ao envolver desde canais de maiores dimensões, até todo o complexo conjunto de obras vinculadas para receber a captação e escoamento das águas pluviais, quando bem planejados, minimizam consideráveis prejuízos futuros.

BARREIRO (1997) adverte que o sistema de drenagem a ser implantado em determinada rua deve depender do uso da via para o tráfego de veículos e de pedestres, do tipo de construção e de pavimentação adotado e da sua importância para o processo geral de drenagem da água na área urbana. Convém salientar que o relevo constitui-se um dos fatores determinantes na definição da importância de tal sistema de drenagem.

O autor (op. cit.) justifica a importância de um eficiente dimensionamento das obras de engenharia hidráulica no espaço urbano, porque as águas pluviais coletadas pelo sistema de bocas-de-lobo e conduzidas às galerias por tubulações subterrâneas são acrescidas por um volume significativo de águas servidas, as quais fluem pelas tubulações até o corpo d'água principal. Nesse sentido, BARREIRO (op. cit.) enfatiza que as bocas-de-lobo, ou bueiros como são comumente chamadas, devem ser implantadas nos cruzamentos de ruas, ou em pontos intermediários, quando o volume de vazão ou a declividade do terreno indiquem tal necessidade.

Portanto, o bom dimensionamento das obras hidráulicas no espaço urbano, considerando as necessidades a médio e longo prazo, favorecem a minimização de problemas como o das enchentes localizadas.

A bibliografia pertinente ao tema permite salientar que existem diversos tipos, ou modelos de bocas-de-lobo que são eficientemente adotados em função da necessidade para a qual foram instaladas. Contudo, seja qual for o modelo adotado, um dos graves problemas enfrentados tem sido a deterioração crescente do sistema de bocas de lobo em áreas urbanas, em decorrência da acumulação de tal componente do sistema de microdrenagem por lixo e entulho. Infelizmente, a presença de resíduos urbanos no interior dos bueiros é freqüentes em cidades brasileiras, sendo inegável o vínculo da origem destes produtos urbanos às deficiências da administração pública, no que concerne à competente coleta e disposição dos resíduos, e à implantação de uma política que vise à efetiva educação do cidadão quanto às suas relações com o meio em que vive.

Em decorrência de tais fatores determinantes, o lixo já faz parte da paisagem cotidiana da maior parte das cidades brasileiras e, pode-se afirmar, há uma convivência "harmônica" habitante/ resíduo. A atenção só é direcionada para os efeitos nefastos de tal convivência, quando o resíduo interfere nos meios de circulação de pedestres e veículos e, principalmente, quando ocorrem episódios de inundações.

Os estudos realizados por BERRIOS (1991), vinculados à produção de resíduos sólidos em áreas urbanas, revelaram que um habitante gera, em média, 550 gramas diárias de resíduos sólidos dentro de sua residência. Contudo, uma décima parte desse material produzido é depositado fora dela, ou seja, em lugares públicos. No caso da Grande São

Paulo, esclarece o autor (op. cit.), tais cifras chegam a significativas 800 toneladas de lixo, jogadas diariamente em praças, ruas e logradouros, indevidamente depositadas. Dessas 800 toneladas, seguramente 90% são coletadas pelo sistema de limpeza pública, enquanto cerca de 10%, ou seja, 80 toneladas lixo/dia permanecem expostas nas vias públicas. As 1900 toneladas de resíduos dispostos nas ruas a cada mês, são conduzidas pelas águas das chuvas às tubulações de águas pluviais, entupindo ralos e bocas-de-lobo, agravando o processo de inundações urbanas.

Os danos decorrentes da deposição do lixo na rede de coleta de águas pluviais são muito diversos, variando em função do tipo, tamanho e composição do material depositado. Um objeto de metal pode permanecer por um longo tempo entulhado na rede de drenagem até que sofra oxidação; os resíduos de grande porte ficam presos nas galerias, retendo aqueles mais flexíveis, como papel, papelão, plástico, trapos etc, que passam a construir verdadeiras barreiras, represando as águas das enxurradas nos tubos e galerias subterrâneas, impedindo a circulação efetiva da água e alagando logradouros e vias públicas.

Os resíduos pequenos, como areias, saibros e materiais de construção fragmentados são transportados pelo fluxo e depositados na base dos condutos, produzindo o assoreamento dos corpos d'água e diminuindo sua vazão.

Nesse contexto, os processos desencadeadores das enchentes, apontados por TUCCI et alii (1995) e por BARREIRO (1997) em relação a importância deles no dimensionamento das obras de engenharia hidráulica no espaço urbano, comprovam que as articulações diárias do cotidiano urbano favorecem a ocorrência de fenômenos naturais agilizados pela ação antrópica. O sistema de drenagem urbana, com todas as suas conseqüências ambientais, quando fundamentado em planos, projetos, legislações e obras constituiu-se no modelo urbanístico como mitigador dos processos de inundações localizadas.

Diante do exposto, acredita-se que o plano de drenagem urbana <sup>de</sup> deve embasar-se em critérios ambientais, sociais e econômicos, e não exclusivamente em projetos hidráulicos. Considera-se que a análise de variáveis como o uso do solo, o zoneamento, o

sistema viário, etc, propiciam a elaboração de um plano que contemple a visão global do espaço e de suas necessidades como prerrogativas para a efetivação do processo. *emissão*

A análise dos impactos da urbanização sobre o sistema hidrológico, em todos os seus níveis, tem levado a sociedade a uma tomada crescente de consciência sobre questões vinculadas à preservação ambiental, na busca de medidas que minimizem os impactos oriundos da intervenção antrópica. *Fig 32*

A visão global do sistema urbano, contemplando as ações sociais e o arranjo dos atributos naturais no gerenciamento do território, vem garantir que as atividades antrópicas desenvolvam-se dentro de uma perspectiva equilibrada de uso, não como fator limitante a tais atividades, mas como prerrogativa para o desenvolvimento, em todas as suas instâncias.

É nesse sentido que o zoneamento, como instrumento político e normativo de disciplinamento de uso e ocupação do território a partir de parâmetros técnicos e legais, considera a interveniência no meio de múltiplos fatores, que exercem influências conflitantes, atenuadas pelo gerenciamento dos fenômenos e conflitos inerentes ao espaço.

O zoneamento compreende um conjunto de regras restritivas à ocupação, como por exemplo de áreas de maior e menor risco de inundação, visando à minimização futura das perdas materiais e humanas em decorrência das grandes cheias, estabelecendo-se nessas áreas normas que restrinjam o uso do solo, o zoneamento deve estar previsto no Plano (Processo) Diretor da Cidade e integrar-se a um plano de Desenvolvimento Urbano.

Nesse contexto desde 1965 a Legislação Federal Brasileira na Lei nº 4771 já contemplava o parcelamento do solo urbano com restrições a ocupação de áreas inundáveis, esta lei foi atualizada em 1979 com a Lei Federal de nº 6766 que considera:

Leito menor do rio: "*superfície na qual se dá o escoamento das águas nas estiagens e nas águas médias*".

- Vedada qualquer construção nas proximidades, mantendo-se sempre a faixa mínima ao longo das margens completamente desobstruídas;

*todo o sistema*

- Permitida a construção de obras que, necessariamente, tenham que ser locadas, próximas ao leito fluvial, como as captações de águas, pontes e travessias, atendendo os gabaritos estabelecidos pela administração pública, tanto os planimétricos como os altimétricos;

- Vedados quaisquer serviços, obras, usos do solo ou ações que possam obstruir ou desviar o curso de água, provocar erosão das margens ou assoreamento dos canais.

Zona não edificável : *“parte do leito maior do rio , pela qual escoam as cheias, sendo que a seção transversal correspondente contribui significativamente para a vazão, de forma que qualquer obstrução constituirá em obstáculo indesejável para o livre trânsito das cheias”.*

- Vedadas as construções de caráter permanente, para fins residenciais, comerciais, ou industriais;

- Permitidas as construções temporárias e removíveis, somente nos períodos de estiagem e para os fins de recreação e lazer;

- Permitidas as instalações de obras de recreação e lazer, de prática de esportes e anexos, desde que temporários;

- Permitidas as obras que, comprovadamente, não constituam obstáculos à livre passagem das águas, como ruas de trânsito local, redes subterrâneas e outras;

Zona edificável com restrições: *“parte restante do leito maior do rio, cuja contribuição para o escoamento das águas é de segunda ordem, visto que as lâminas de água e as velocidades de escoamento são baixas e as restrições, para as edificações referem-se às formas de protegê-las dos efeitos das inundações”.*

- Permitidas as edificações para fins habitacionais, comerciais e industriais, desde que tenham dispositivos de proteção contra as cheias, segundo orientação técnica da administração;

- Vedadas as construções que determinem grandes densidades demográficas, grandes aglomerações humanas, que coloquem em risco vidas humanas e de animais, hospitais, escolas, corpo de bombeiros e outros serviços públicos essenciais;



Zona edificável sem restrições : *“área externa ao leito maior do rio e interna à da enchente padrão, inundável com pequena lâmina de água e baixa velocidade de escoamento”*.

- Permitidas as construções de qualquer natureza, sendo optativa aos proprietários privados a adoção de medidas de proteção de seus prédios contra inundações excepcionais;

- Os prédios públicos deverão ter, obrigatoriamente, dispositivos contra inundações, especialmente projetadas no caso de hospitais, escolas e de abrigos de serviços essenciais;

- O sistema viário deverá ser de uso local; no caso de vias arteriais, deverão ser previstos esquemas de desvio de tráfego;

A delimitação das zonas de uso devem estar devidamente cartografadas e pautadas por uma documentação legal, que favoreça a sua efetivação.

No art. 3 da referida Lei, comentada por MACHADO (1995), salienta as restrições à ocupação das áreas sujeitas a inundações: *(...) não será permitido o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas. Portanto, o terreno alagado e pantanoso não pode ser loteado. Da mesma forma o terreno sujeito a inundações ou situado à beira de cursos d'água e que periodicamente é invadido pelas cheias não poderá ser loteado (...). Será uma tarefa técnica avaliar, através de laudo motivado, a possibilidade ou não de as águas terem escoamento, ou de as inundações atingirem o local que se pretende urbanizar (...).*

Em 1989 a Lei 6766/79 é alterada impondo restrições por exemplo à ocupações de áreas inferiores a 30 metros da maior cota de inundações.

A ocupação de áreas de fundo de vale figura como um fator preocupante no que se refere às inundações. Contudo um planejamento que contemple a manutenção de canais e que permita o escoamento livre das cheias, mantendo-se condições mais próximas das naturais, pode minimizar os efeitos de tal ocupação. Portanto, a regulamentação do uso dessas áreas precisa especificar quais as condições naturais a serem mantidas, e quais os usos que a comunidade pode fazer, sem maiores riscos. A

principal cautela na ocupação dessas áreas refere-se à delimitação de uma cota segura, acima do nível máximo da água esperado na época da cheia, sendo que esse procedimento é imprescindível, quando se trata de áreas já ocupadas, uma vez que as cheias apresentarão um pico alto, de pequena duração, enquanto as zonas de armazenamento temporário repercutem de forma mais acentuada. (CETESB, 1986).

É a partir do zoneamento de áreas inundáveis que os projetos de uso das áreas de fundo de vale ganham maior atenção quanto aos possíveis quadros de inundações em áreas já estabelecidas.

O zoneamento de risco dessas áreas depende de planos municipais, regionais e estaduais para o controle de enchentes, e confere poderes normativos em âmbito federal, estadual e municipal, os quais devem estar pautados por estudos de equipes multidisciplinares.

Nas áreas de ocupação urbana já consolidadas é comum a insuficiência do sistema de drenagem, ou seja, as galerias apresentam-se insuficientes para a condução das águas pluviais em razão do aumento do escoamento superficial, provocado, entre outros fatores, pelo aumento da impermeabilização, sendo necessária a ampliação do sistema de galerias, considerando que o planejamento do sistema de águas pluviais deve levar em conta tanto as chuvas mais freqüentes, com um período de retorno de 2 a 10 anos, como as chuvas mais críticas, com período de retorno da ordem de 20 anos.

Na prática, o mau dimensionamento dos sistemas de drenagem, seja por erros técnicos, seja por não se considerar a dinâmica natural e socio-econômica do espaço, seja pela ausência de planejamentos que venham garantir o desenvolvimento social, pautado por uma visão qualitativa de uso e ocupação do espaço, com menor risco possível de eventos catastróficos, constitui a razão de grande parte dos problemas hoje vivenciados sobretudo no meio urbano. Sem uma visão global de ordenamento das ações no espaço, fica-se fadado a responder pelas drásticas conseqüências da intervenção antrópica sobre o meio natural.

O planejamento urbano deve tratar os projetos de uso das áreas de fundo de vale de forma integrada, considerando uma política adequada de desapropriação, quando necessário, e preservação dos rios e de suas várzeas, de modo que o escoamento de

enchentes maiores que as previstas em projetos de inundação e armazenamento temporário, se faça em função da capacidade dos canais existentes ou projetados, levando-se em conta a implantação de áreas verdes inundáveis, com uso não conflitante com a atenuação dos picos de cheia.

Nas áreas ou trechos do canal onde não seja possível a preservação total dessas áreas, em virtude do adensamento urbano já consolidado, deve-se reservar um percentual significativo delas em condições de permeabilidade. Embora, advogue-se pela manutenção dos corpos d'água em seu leito natural, considera-se pertinente esclarecer, que a CETESB (1986) propõe que as obras de canalização devem ser capazes de promover vazão correspondente a 98% das enchentes ou, pelo menos, correspondente a uma enchente que desencadeia extravasamento ou inundações, cuja periodicidade de ocorrência seja de 50 e 100 anos. Deve-se, ainda, estudar as conseqüências de uma possível inundação, criando medidas que venham a atenuar os danos decorrentes desta. Essas medidas devem figurar como mecanismos de retardamento do pico de cheia na bacia ou interceptação e transporte dos excessos para bacias adjacentes.

A implantação de vias de tráfego locais e expressas, zonas comerciais e residências em áreas de fundo de vale devem-se fundamentar em criteriosos estudos que contemplem os aspectos naturais, econômicos e sociais, de modo a causar menor risco possível à população.

Freqüentemente as obras de canalização projetadas para dado grau de segurança contra inundações, considerando um determinado percentual de área permeável na bacia, vêm-se comprometidas pela ocupação fora dos níveis previstos e, substancialmente, pela impermeabilização advinda dessa ocupação. Assim, deve-se considerar no planejamento, o máximo possível, a conservação do traçado natural do rio, e a projeção máxima possível da evolução das áreas impermeáveis nas bacias.

Uma vez instalado o problema, as medidas de contenção de enchentes, mesmo que de efeitos paliativos, envolvem custos onerosos à população, seja pela implantação de grandes obras de engenharia, seja pela desapropriação de residências.

### 4.2.3 Medidas de Contenção de Enchentes em Áreas Urbanas: ↙

As medidas mitigadoras de controle de enchentes em áreas urbanas são atividades que visam a promover a minimização dos impactos oriundos do fenômeno de cheias, podendo ser classificadas em estruturais e não estruturais.

TUCCI (1995) define medidas estruturais como obras de engenharia empregadas para reduzir o risco de enchentes, podendo ser **extensivas**, quando agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão; ou de caráter **intensivo**, quando agem diretamente no curso d'água, acelerando o escoamento superficial, como por exemplo, com a construção de diques e aumento da vazão. Com modificações na morfologia do canal fluvial (corte de meandros), alterando-se a velocidade da água no canal em virtude da redução da rugosidade, eliminando-se obstruções ao escoamento a partir de dragagens, aprofundamento do canal e aumento de declividades; ou, ainda, com a construção de reservatórios e bacias de amortecimento que agem como superfícies retentoras do volume de água, que reduzem a vazão natural.

As medidas não estruturais, alicerçando-se em um caráter preventivo e disciplinador, buscam, no gerenciamento do uso do solo, o seu principal objeto de análise, contemplando a ocupação do espaço urbano dentro de normas legais pré-estabelecidas e critérios de usos que considerem a dinâmica do meio físico e a forma de estruturação do urbano em um sistema hidrográfico. Para tanto, considera, entre outras, a adoção de medidas como o zoneamento de áreas inundáveis como fator básico nas políticas de gerenciamento do uso do solo.

Os métodos adotados no controle das inundações são considerados de acordo como a área de abrangência do fenômeno, podendo ser classificados em **controles distribuídos (controle na fonte)**, tendo como principais medidas técnicas, o aumento de áreas de infiltração, a percolação e o armazenamento temporário em residências e telhados. Essas medidas enquadram-se entre as **não estruturais**, atuando em toda a área da bacia, privilegiando ações que promovam a preservação da vegetação que permite maior infiltração a partir de condições mais próximas possíveis do natural; redução da

poluição transportada para os rios e diminuição das vazões máximas à jusante, a partir do emprego de pequenos reservatórios.

Nesse sentido, o zoneamento de áreas inundáveis para fins de planejamento de uso do solo e mesmo na tomada de decisões quanto às medidas que venham a atenuar os efeitos catastróficos das inundações urbanas, constitui-se elemento determinante para um conhecimento prévio da vulnerabilidade do meio frente à intervenção antrópica.

As áreas de várzea assistem comumente a um processo antagônico no que diz respeito à dinâmica natural de frequência de cheias e à ocupação antrópica, que altera todo um processo estabelecido por leis naturais. O correto disciplinamento de uso do solo dessas áreas deve contemplar, evidentemente, um percentual significativo de áreas permeáveis. Contudo, quando o planejador se depara com uma situação de ocupação desordenada já consolidada, com índices de impermeabilização expressivos, deve considerar medidas alternativas que atenuem o pico de vazão a partir de reservatórios ou de estruturas que permitam maior índice de infiltração.

A conflitante convivência diária com os problemas advindos da ocupação de áreas de risco, sobretudo quanto à inundações, infelizmente fazem parte efetiva do cenário urbano de centenas de cidades no mundo todo.

Durante os eventos de inundações a sobrevivência de milhares de pessoas vê-se ameaçada, seja pela falta de abrigo, agasalho, água potável, alimento, atendimento médico e hospitalar, seja pelo surgimento de graves doenças contagiosas.

A previsão da ocorrência de eventos produtores de índices pluviométricos consideráveis, que resultem em inundações, favorece a tomada de precauções em tempo hábil por parte da comunidade.

PEREIRA (1991) chama a atenção para o fato de que o sistema de previsão e de aviso de cheias compreende, no mínimo, quatro componentes básicos:

1. Rede de observação hidrológica e eficiente coleta de informações das barragens e das usinas hidroelétricas;
2. sistema de comunicação para envio ao centro de previsão dos dados coletados;
3. centro de previsão onde são processados e analisados os dados e são elaboradas as previsões de cheia;
4. sistema para disseminar informações referentes às cheias.

Atualmente, o uso de sistemas computadorizados, satélites e radares permitem uma maior agilização na manipulação das informações coletadas e na disseminação dessas informações.

A previsão meteorológica objetiva o fornecimento de dados sobre a natureza das precipitações, informando em tempo hábil a região que será atingida pela tormenta, para que sejam tomadas as providências. Os satélites permitem, a partir da interpretação das imagens, a identificação do estado do tempo, com antecedência que pode variar de horas a semanas. O radar meteorológico detecta e quantifica as formações precipitantes, já nas proximidades da bacia hidrográfica, podendo fornecer com precisão a distribuição espacial das precipitações, e identificar os locais de ocorrência das mesmas.

A previsão quantitativa e qualitativa das precipitações é de fundamental importância para se tomarem as medidas preventivas no caso de inundações. A previsão hidrológica em tempo real é obtida através da comunicação com estações hidrológicas, no interior da bacia que opera o modelo. O Brasil conta com centros de pesquisa tecnológicas como o INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, o Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo e o Ministério da Aeronáutica, que desenvolvem tecnologias vinculadas a radares meteorológicos. Também dispõe de estações telemétricas, que coletam as informações de chuva e as enviam de forma automatizada, via computador, à central.

Esse sistema de previsão da ocorrência do evento favorece o ordenamento da tomada de decisões quanto à medidas para minimizar os efeitos da inundação.

As medidas emergências de assistência à população implicam desde a total desocupação da área por tempo indeterminado, até o acionamento do corpo de bombeiros, ou, ainda, das autoridades de trânsito para o disciplinamento de tráfego, fazendo uso de rotas alternativas, que não coloquem em risco a população. Essas medidas, são de extrema relevância antes da ocorrência do evento. Quando adotadas em situações catastróficas, poucos resultados podem efetivamente oferecer.

Quando há previsão do evento, outras providências podem ser tomadas para que se evitem maiores danos materiais, como no caso de indústrias, supermercados, comércio e residências. Um aviso com uma hora de antecedência pode ser o suficiente para

que dezenas de carros sejam removidos de um estacionamento de supermercado sujeito a inundação; para que os estoques perecíveis e matérias primas susceptíveis de danos pela água possam ser removidos para locais seguros, assim como máquinas ou parte delas; nas residências, os equipamentos, roupas e mobílias podem ser removidos para locais posicionados acima do nível que será atingido pela água. Enfim, a previsão de ocorrência de um evento pode levar à tomada de medidas que venham minimizar os impactos.

Após o período de inundação, a comunidade enfrenta o processo de recuperação das áreas drasticamente atingidas e que apresentam danos significativos, no tráfego de transporte urbano e rodoviário, no abastecimento de água, no sistema de drenagem, no sistema elétrico e telefônico, enfim, numa caótica situação que exige soluções rápidas, ainda que provisórias. O poder público deve valer-se de recursos federais, estaduais e mesmo municipais, sobretudo em ocasiões emergenciais qualificadas como de “calamidade pública”, considerando as centenas de flagelados que ocupam áreas públicas, galpões e pátios de escolas, configurando-se um problema social de difícil solução, visto que, muitas vezes, os estragos produzidos pelas cheias nas residências são irreparáveis, pois representam perdas totais, e levam a população a permanecer nas áreas provisórias por tempo indeterminado.

Segundo PEREIRA (1991) as enchentes devem ser encaradas como calamidades públicas em virtude dos danos produzidos, sendo, portanto, responsabilidade do poder público criar meios de auxiliar a população na reparação dos danos resultantes do evento. Num primeiro momento cabe ao poder público local providenciar o auxílio à população, em menor tempo possível. Quando a situação ultrapassar as possibilidades locais de tomada de decisão, cabe ao governo estadual e mesmo ao da União o ordenamento das ações a serem efetuadas. O cumprimento dessa determinação tem respaldo legal no art. 2, XVIII da Constituição Federal Brasileira de 1988 que assim dispõe: (...) *competete à União organizar a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente a seca e as inundações*. A efetivação dessa norma levou o Governo Federal a dispor de um Grupo Especial para Assuntos de Calamidades Públicas, o GEACAP e de um Fundo Especial para esse fim o FUNCAP, além das Forças Armadas e outras Secretarias de Estado.

Embora as medidas emergências e as de caráter informativo muito contribuam no processo de atenuar os danos decorrentes das inundações, sobretudo em áreas urbanas, outras medidas podem ser consideradas como atenuantes no processo de retardamento de cheias, as quais devem ser consideradas na concepção do sistema de drenagem com grande potencial técnico e econômico.

Considerando que as áreas de várzeas devam ter um uso compatível com suas características físicas, a utilização delas como áreas verdes destinadas à recreação, conservando-se suas características naturais que contribuem para atenuação dos picos de cheia, constituem-se uma boa opção, uma vez que estas permanecem perfeitamente integradas à paisagem urbana, produzindo, não apenas a redução do custo de sistemas de drenagem, como o emprego de onerosas medidas estruturais.

TUCCI (1995) considera que a abordagem da construção e eficácia de reservatórios muitas vezes atingem uma conotação equivocada, sendo sempre aliada a grandes e onerosas construções de engenharia. Contudo, a prática tem revelado que reservatórios construídos em áreas urbanizadas, com a função primordial de armazenar parte da água pluvial, podem representar uma pequena superfície de pequeno volume, integrando a área de um condomínio, ou mesmo uma área pública, consideradas as características das cheias urbanas em geral que apresentam um alto pico e pequeno volume. Portanto, um reservatório, ainda que pequeno, será suficiente para atenuar o pico de vazão máxima.

As medidas que visam a promover a redução do pico de vazão, através do amortecimento da onda de cheia ou armazenamento dos volumes escoados, podem tornar-se de uso comunitário, seja integrando áreas de recreação seja em usos domésticos.

A bibliografia relacionada ao tema considera que diversas medidas de controle de cheias, principalmente em áreas urbanizadas ou de contenção na fonte ou à jusante, deva ser empregada de acordo com as características estruturais levantadas no projeto.

Essas medidas foram classificadas por Urbonas & Stolher (1992 *apud* CANHOLI, 1995) em dois grupos principais de acordo com sua localização no sistema de drenagem: de *retenção na fonte*, compreendendo pequenas dimensões e localizadas próximas aos



locais onde os escoamentos são produzidos, permitindo maior aproveitamento de condução do fluxo à jusante; e *retenção a jusante*, que compreende os reservatórios que visam a controlar os deflúvios provenientes de partes significativas da bacia.

A tomada de decisão quanto à medida a ser adotada deve considerar, além de outros fatores, a aplicabilidade e o aproveitamento das opções selecionadas.

O uso da área dos *telhados* de residências, indústrias, prédios e escolas para a construção de pequenos reservatórios de armazenamento de águas pluviais, tem sido analisado com criteriosa atenção, como superfícies capazes de armazenar, ou mesmo, dependendo do revestimento adotado, retardar o deflúvio direto, o que ameniza o pico de cheia.

Os *jardins suspensos*, utilizando-se ainda a área dos telhados, aumentam em níveis consideráveis a rugosidade, reduzindo ruídos e apresentando resultados esteticamente agradáveis, embora necessitem de um planejamento que contemple o suporte estrutural da construção e a escolha adequada do tipo de material e de plantas a serem cultivadas, os quais exigem manutenção periódica.

A água pluvial armazenada em telhados, através do emprego de tubos condutores verticais estreitos pode ser utilizada nas ocasiões de incêndios, sendo um mecanismo capaz de promover o isolamento térmico do edifício através de sistemas de circulação da água. Esse tipo de medida exige um monitoramento constante, que limite a infiltração de água no edifício.

Os telhados com cobertura ondulada ou de cascalhos podem reduzir muito o deflúvio superficial direto, a partir da detenção da água nas ondulações, com rugosidades consideráveis.

A *área em torno das residências* ou parte dela pode configurar-se um subsídio interessante no retardo do deflúvio, tornando-se áreas de canais gramados e faixas de terreno cobertos com vegetação, com uma estética agradável, e efeitos ambientais diversos. O tipo de cobertura vegetal utilizado deve ser escolhido com critério, que considere a maior retenção de água possível.

Os *reservatórios ou bacias de detenção* podem controlar extensas áreas de drenagem, por liberarem descargas relativamente pequenas, retardando, assim, a chegada da água ao corpo receptor, podendo também funcionar como áreas de lazer.

As *bacias de percolação* construídas a partir da escavação de uma valeta que posteriormente é preenchida com brita ou cascalho, promovem a reserva temporária do escoamento, enquanto a percolação se processa lentamente pelo sub solo, diminuindo o escoamento superficial e reduzindo a velocidade de chegada do deflúvio no coletor principal (Figura 4)

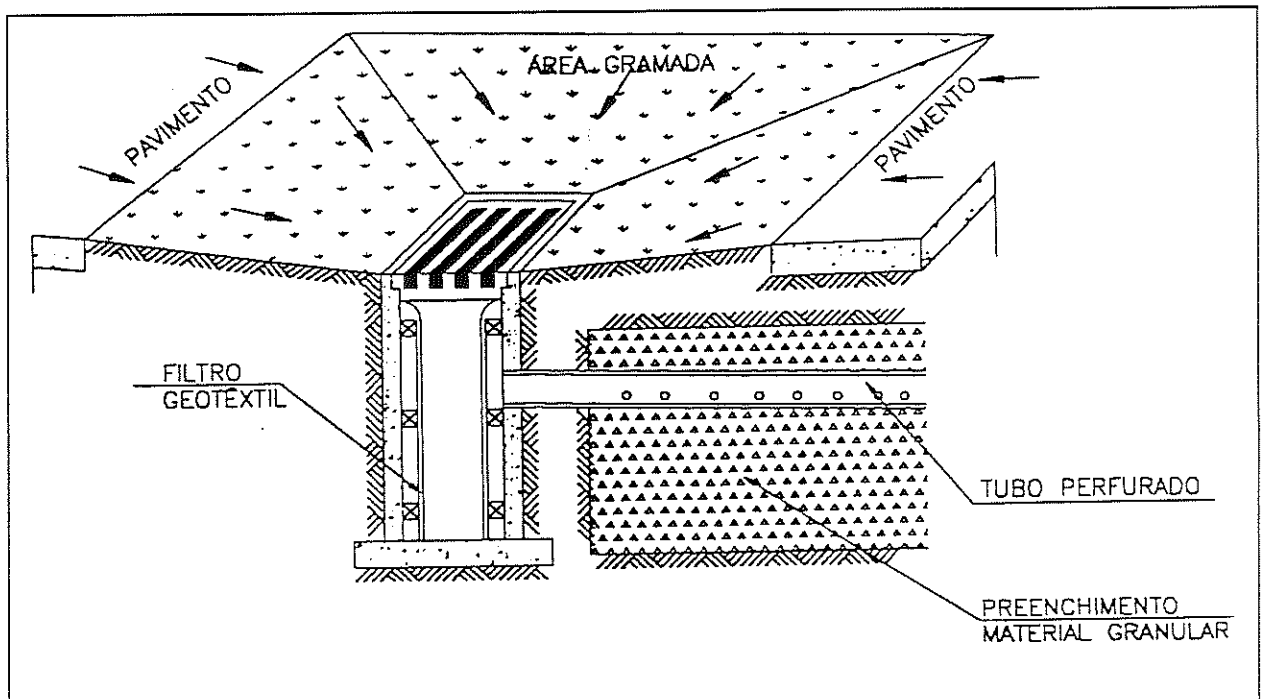


Figura 4: Bacia de Percolação Acoplada a Boca-de-Lobo  
Fonte: NAKAMURA (1988).

O uso de *pavimentos permeáveis* ou porosos em área urbana tem revelado a aplicabilidade e eficiência desse recurso na redução do deflúvio direto e no armazenamento da água; vem sendo proposto para uso em extensas áreas como estacionamentos e passeios públicos, produzindo significativos resultados de redução do pico de cheias, (Figura 5).

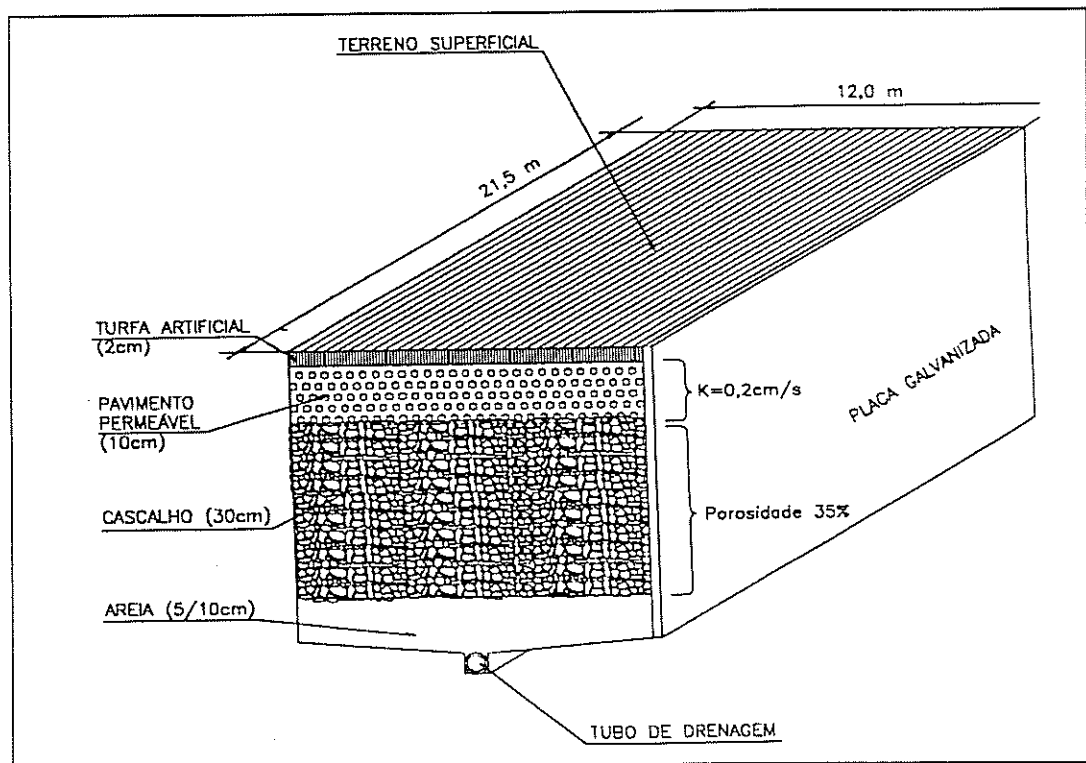


Figura 5: Exemplo de Estrutura de um Pavimento Poroso.

Fonte: CANHOLI. (1995)

Diniz (1976, *apud* CANHOLI 1995) chama a atenção para os benefícios do uso de pavimentos permeáveis ou porosos:

1. Apresenta uma redução sensível na taxa de escoamento em áreas com considerável índice de impermeabilização;
2. Pode ser aplicado em áreas que já se encontram urbanizadas, como alternativa para aliviar o sistema de drenagem implantado;
3. Reduz sensivelmente a profundidade das escavações e da dimensão da drenagem pluvial;
4. Possibilita o armazenamento temporário da água, podendo esta ser potabilizada em estações de tratamento;
5. Apresenta uma estética agradável em virtude da manutenção da vegetação e da drenagem natural;
6. reduz o custo de construção de sarjetas e bocas- de- lobo.

CANHOLI (1995) define pavimentos porosos como “constituídos normalmente por concreto ou asfalto convencionais, dos quais foram retiradas as partículas mais finas. Adicionalmente podem ser construídas sobre camadas permeáveis, geralmente, bases de material granular”.

Assim a função primordial desse tipo de pavimento é reter o escoamento na fonte, reduzindo os picos de cheia (figura 6).

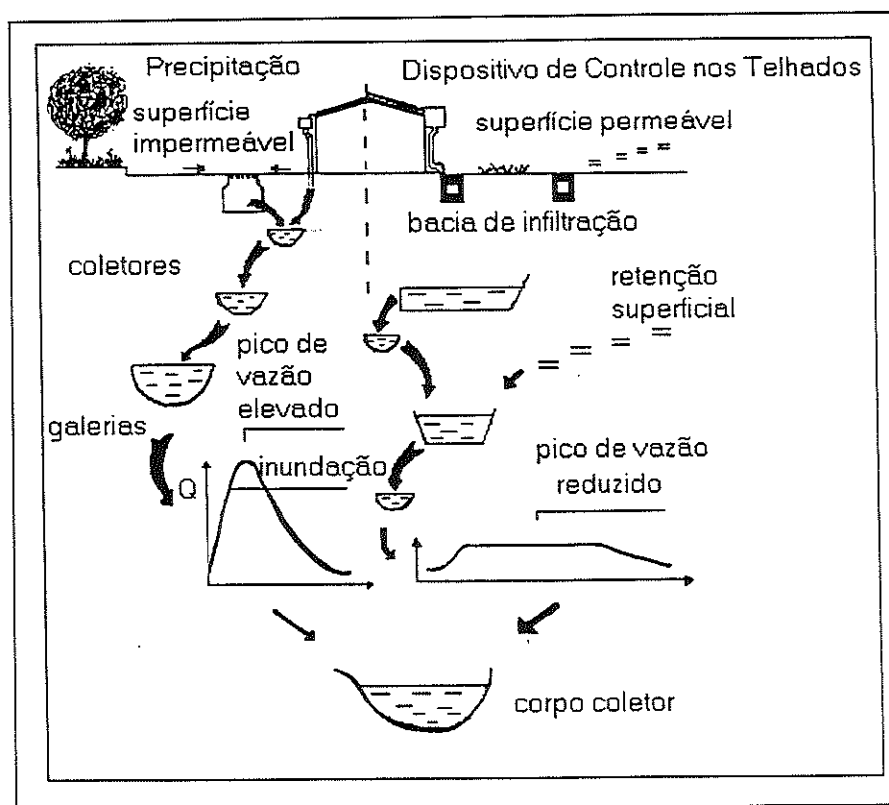


Figura 6: Comportamento do pico de cheia em superfícies impermeáveis e em superfícies permeáveis.  
Fonte: BRAGA (1994).

Nas áreas com índice significativo de impermeabilização, observa-se um pico elevado de vazão, o que não se observa nas áreas com índices razoáveis de permeabilidade, vinculadas a cobertura de superfície, ou a medidas que controlam o percentual de água que se escoar e se infiltra, até a deposição no coletor principal. Assim, as alternativas de redução do deflúvio direto, com o intuito de minimizar o pico de

cheia, estão intimamente relacionadas ao percentual de área permeável da bacia ou mesmo aos mecanismos ou medidas que viabilizem a atenuação do processo a partir do armazenamento ou detenção da água.

As medidas de controle de cheias na microdrenagem, como o emprego de reservatórios de detenção, consistem de medidas de controle à jusante da bacia de drenagem, com o emprego de dispositivos como tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos ou enterrados. O objetivo de tais bacias ou reservatórios de detenção é minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica (TUCCL, 1995).

Outro fator de extrema relevância na análise das medidas a serem adotadas, seja na fase de planejamento da obra de drenagem urbana, ou quando já estiver instalado o problema das cheias, é a análise da viabilidade ambiental e econômica. Uma obra de drenagem, seja qual for, exige recursos financeiros na fase inicial, e de manutenção ou operação, e, ainda, o custo de riscos que serão incluídos no orçamento, antes ou após a implantação da medida. A viabilidade ambiental está relacionada à dinâmica natural que rege os ecossistemas naturais. Assim, a implementação de uma obra qualquer, quando não considerada sob uma perspectiva de menor dano possível ao meio natural, resultará invariavelmente em custo além do esperado, tanto na fase de instalação, como posteriormente, durante o uso do sistema já implementado.

O uso de medidas não estruturais tem mostrado na prática resultados importantes, embora se aconselhe o uso simultâneo de duas ou mais medidas. Ou seja, a progressiva redução do pico de cheia de uma área pode estar relacionada não apenas ao planejamento de uso do solo, como à ocorrência de áreas verdes e reservatórios.

As medidas estruturais, como já definidas anteriormente, compreendem basicamente obras de engenharia que visem controlar as ondas de cheia. Como exemplo de tais medidas tem-se o uso de *barragens e derivações*, ou seja, de obras com capacidade temporária ou fixa de armazenamento da água, reduzindo, assim, sua velocidade e pico de vazão; e aquelas que controlam as ondas de cheia, ou seja, as *dragagens, retificações e canalização* e os *diques* que buscam um aumento da capacidade de transporte na calha do rio, evitando o transbordamento lateral.

Essas medidas, comumente utilizadas em áreas densamente urbanizadas, são adotadas basicamente em função do uso atribuído à várzea. A população, ao ocupar essas áreas de maneira desordenada, dinamizam o processo de inundação, que exige obras de engenharia caras e de difícil execução, visto que, via de regra, os espaços já se encontram densamente ocupados.

Assim, as medidas estruturais, por serem adotadas, na grande maioria dos casos, quando os problemas de inundação já se mostram pronunciados, assumem um caráter corretivo, mostrando-se muitas vezes imprescindíveis, porém paliativas.

A adoção da *canalização do corpo d'água*, como medida estrutural, libera as áreas adjacentes para o uso urbano. Tal medida, muitas vezes, figura como corretiva pontual, com conseqüências danosas para os setores posicionados à jusante da bacia, pois transfere o problema para outras áreas, ampliando-se a necessidade de adoção de medidas mitigadoras.

A idéia de solução definitiva do problema existente após a canalização da drenagem torna-se frustrado após a primeira inundação, pois essas medidas podem atenuar a freqüência de cheias, mas dificilmente eliminarão o problema, considerando-se que a cheia é um fenômeno natural e aleatório, e que o dimensionamento hidráulico se dá a partir de uma análise probabilística.

É preciso ressaltar que as inundações de caráter catastrófico são riscos permanentes, e não são eliminadas por quaisquer obras executadas em fundo de vale; e as avaliações de vazões em áreas intensamente ocupadas podem levar a um sub- ou superdimensionamento de uma obra de controle de enchentes (EMPLASA, 1985).

As *barragens*, ao possibilitarem o armazenamento de grande quantidade de água, reduzem sensivelmente o volume e a velocidade do escoamento posicionado à jusante. Essa capacidade de armazenamento de água nos lagos de barragem constitui elemento atenuador do processo de onda de cheia, qualificando-a, portanto, como instrumento facultativo em obras reguladoras do regime fluvial.

A adoção do uso de barragens na atenuação das cheias, deve ser considerado em virtude do tamanho e localização delas, e do ônus ambiental advindo de sua construção,

na medida em que promovem a modificação de toda a dinâmica fluvial, exigindo grandes obras de engenharia a custos significativos.

Já as *derivações*, obras construídas para o armazenamento temporário de água, têm seu reservatório combinado com reservatórios naturais, que funcionam como estrutura de alívio de pico de cheia. Sua maior restrição está na necessidade de obras acessórias, como comportas, casas de bombas, entre outras.

Dentre as obras destinadas ao aumento da capacidade de transporte na calha fluvial tem-se o procedimento de *dragagem* que, ao desassorear as seções transversais do curso d'água, gera gradientes de declividade entre as seções.

Ao proceder-se à dragagem ao longo de um curso fluvial, não se pode negligenciar o gradiente necessário para que se processe a dinâmica do fluxo. Nesse sentido, a bibliografia específica recomenda que se devem iniciar os trabalhos de desassoreamento de jusante para montante, de forma a manter um gradiente eficaz para que ocorra o deslocamento do fluxo.

Convém ressaltar que os trabalhos de dragagem, ao aprofundarem o canal fluvial, predisõem a área a uma dinamização dos processos erosivos atuantes nas suas margens. Face a essa conseqüência decorrente da obra de desassoreamento, faz-se necessário promover e/ou facilitar a fixação dos sedimentos que margeiam o fluxo, através da utilização de acessórios dos tipos: enrocamento, cortinas de concreto, gabiões e cobertura vegetal. Nesse contexto, convém salientar o cenário da bacia hidrográfica vinculado ao estágio de assoreamento do canal fluvial e aquele vinculado ao seu desassoreamento. Como é notório, a profundidade em que se encontra o talvegue de um canal fluvial, constitui-se no chamado nível de base local ou regional, ou seja, o nível que comanda a dinâmica dos processos erosivos, atraindo para si todo o material de seus tributários.

Com o assoreamento do canal principal tem-se o soerguimento do nível de base e, com isso, os tributários se vêem desprovidos do gradiente necessário para que se processe o deslocamento de suas águas. Em decorrência da pressão da água, podem ocorrer inundações, rompimento de tubulações, gerando a esculturação de formas erosivas nas áreas drenadas pelos tributários do rio assoreado.



Caso os trabalhos de dragagem rebaixem o leito fluvial a ponto de ser ultrapassado o nível de base normal, tem-se nos tributários a ativação da vaga de erosão regressiva. Tal fenômeno, ao agir da foz para a nascente, busca equilibrar o gradiente do seu perfil longitudinal às novas condições do nível de base, representado pelo canal excessivamente desassoreado. Essa dinamização dos processos erosivos propiciam a desestabilização dos condutos da macrodrenagem causando abatimento das pistas de rolamento, contaminação de aquíferos, entre outros.

Diante da vital necessidade de proceder-se ao desassoreamento de canais e da escassez de séries históricas de dados vinculados a batimetria dos canais fluviais, sugere-se que, ao instalarem as obras acessórias ao longo das margens fluviais após o desassoreamento dos canais, tenha-se o cuidado de, nos setores de desembocadura dos tributários, minimizar o desnível altimétrico observado entre o ponto de desagüe e o talvegue. A implantação, nesse ponto, de rampas ou escadas para dissipação da energia de fluxo, minimizaria a ação da vaga de erosão regressiva ao longo desses canais secundários.

O processo de *retificação de canais fluviais*, adotado em larga escala no Brasil, promove o aumento do gradiente do canal e portanto intensifica a velocidade do escoamento do fluxo, com o objetivo, entre outras finalidades, é o de controle das cheias e de drenagem das terras alagadas.

Tal procedimento apresenta aspectos positivos se se tomar como referência o setor onde foi efetuada a retificação do canal. Entretanto, uma análise mais cuidadosa, demonstra que, no setor do canal fluvial retificado, há uma curta permanência do fluxo e que, em razão da velocidade com que ele se desloca determina um processo erosivo mais intenso.

Em conseqüência desses fatos, os setores posicionados à jusante do trecho retificado tornam-se extremamente vulneráveis às inundações. Convém ressaltar que a competência do fluxo vinculado a trechos retificados permite que o setor à jusante atue como um “nível de base local”, e favoreça a retenção dos resíduos sólidos transportados pelo fluxo. Tais resíduos intensificam os danos gerados pelas inundações pois ao



preencherem bueiros e sistemas de macrodrenagem promovem, no interior das residências, o refluxo de águas.

Considera-se, diante do exposto, que seja dada atenção à totalidade do canal e não apenas aos trechos retificados, normalmente associados a sítios urbanos. As catástrofes relacionadas a trecho não retificado, atingem áreas vinculadas a atividades rurais ou periurbanas, com prejuízos incalculáveis.

Nesse contexto propõe-se que, logo após a finalização do trecho retificado, o leito fluvial seja submetido a uma dragagem que possibilite um aumento de gradiente nos setores sujeitos a inundação, mantendo-se os cuidados relativos ao equilíbrio das margens e da foz dos tributários anteriormente mencionados. Associado a esse procedimento, que pode ser posto em prática na totalidade da área urbana e periurbana, poder-se-ia prover a parte superior dos bueiros de uma malha galvanizada capaz de reter os resíduos sólidos de forma que estes possam ser submetidos a uma manutenção periódica pelo serviço de limpeza pública. Considera-se que a instalação de tais malhas nas bocas-de-lobo não apenas impede a chegada dos resíduos à macrodrenagem, como também exige uma manutenção mais simples do que se forem utilizadas grades apenas nas saídas dos tributários, como usualmente propõe o IPT.

Alternativas vinculadas ao canal de drenagem têm sido consideradas, como por exemplo, a construção de depressões e soleiras no fundo do canal fluvial, para produzir uma estabilidade morfológica, e reduzir a velocidade do escoamento; ou ainda o revestimento de setores do canal com cimento deixando trechos de canal natural que favoreçam uma dinâmica biológica menos conflitante que a observada nos canais retificados, canalizados e concretados (Brookes, et al, 1983 apud CUNHA, 1995).

Quando se adotam as medidas estruturais para o controle de cheias urbanas é preciso considerar a geração de uma série de alterações fluviais. O rio é parte de um amplo sistema extremamente particulares e de características de fluxo e de associações de comunidades ao longo desse fluxo. Portanto, a construção de obras de engenharia no curso do rio provoca modificações significativas nesse ecossistema, e induz à formação de um novo modelo energético (TUNDISI & BARBOSA, 1981).

Embora haja necessidade de criar condições viáveis para a manutenção dos meios que sustentam as necessidades advindas do aumento da população, a opção por medidas que minimizem os impactos decorrentes da ocupação antrópica constitui-se um desafio para o Homem atual. Contudo, há um consenso de que as medidas estruturais para o controle da inundação devem ser levadas a cabo quando imprescindíveis, mediante a criteriosa análise sócio-ambiental.

#### ***4.2.4 Exemplos de Casos de Implantação de Medidas de Controle de Enchentes em Áreas Urbanas:***

A aplicação de soluções técnicas no controle de enchentes urbanas de caráter estrutural ou não estrutural envolve aspectos sócio-ambientais em níveis diferenciados, que dependem da medida a ser adotada, do seu raio de influência e, substancialmente, dos riscos para a população do período de retorno da vazão adotado em projeto.

PORTO (1995) define o período de retorno como o inverso da probabilidade de um determinado evento hidrológico ser igualado ou excedido em um ano qualquer; assim, o projeto de uma obra sobre um período de retorno de vazão estimado em  $T$  anos confere, automaticamente, o grau de proteção conferido à população, ou seja, o grau de risco aceitável para a comunidade. Contudo, convém ressaltar que a menor probabilidade de uma obra trazer riscos à população, via de regra, está relacionada a obras de custos elevados e com danosas interferências no meio ambiente. No entanto, a consideração de menor risco aliado a menor grau de degradação ambiental não deve ser atingido se houver escolha de períodos de retorno pequenos, considerando as conseqüências que. Invariavelmente, serão vivenciadas pela população.

O autor (op. cit.) chama atenção, ainda, para a diferença entre o conceito de tempo de retorno e o conceito de risco em obras hidráulicas. Adotando para risco a definição da probabilidade de uma determinada obra vir a falhar, pelo menos uma vez, durante a sua vida útil, o conceito de risco está aliado, na prática, ao conceito de tempo de retorno, entendendo que uma obra projetada para um período de retorno  $T$  expõe-se, anualmente, a uma probabilidade  $1/T$  de vir a falhar.

Na prática, tem-se adotado com critérios de projeto para diversos tipos de obras o período de retorno, considerando-se o tipo de obra (macro ou microdrenagem) e os tipos de ocupação destinados à área, sendo esse critério adotado em larga escala (Tabela 1)

<b>TIPO DE OBRA</b>	<b>TIPOS DE OCUPAÇÃO DA ÁREA</b>	<b>TEMPO DE RETORNO (ANOS)</b>
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	5
Microdrenagem	Área com Edifícios e Serviços ao Público	5
Microdrenagem	Aeroportos	2-5
Microdrenagem	Áreas Comerciais e Artérias de Tráfego	5-10
Macro-drenagem	Áreas Comerciais e Residenciais	50-100
Macro-drenagem	Áreas de Importância Específica	500

Tabela 1: Períodos de Retorno Adotados em Projetos para Diferentes Usos do Solo  
Fonte: Porto (1995).

A bibliografia pertinente ao tema permite salientar que, em muitos casos, o tempo de retorno é adotado em virtude das características levantadas no projeto, sem estar, necessariamente, inserido nos parâmetros contidos na tabela 1.

Para BARBOSA (1980), os riscos e incertezas inerentes ao sistema de recursos hídricos são abrangentes, envolvendo o processo de planejamento, desde os erros elementares de medidas e observações, até as complexas incertezas das previsões. A maior segurança dada a uma obra está no conhecimento objetivo e nas avaliações tangíveis, para permitir, no caso específico dos projetos de recursos hídricos, o estabelecimento de critérios de julgamentos realistas, postos à disposição dos administradores. O autor (op. cit.) considera, ainda, que não se pode desenvolver um projeto sem uma margem de risco, mas que é importante procurar conhecer e limitar os níveis de risco associados aos projetos.

A busca do aprimoramento de técnicas de projeto que garantam a minimização dos picos de cheia através de medidas que priorizem o aumento do tempo de concentração de água na bacia, permite, aos técnicos e planejadores a encontrar soluções mais confiáveis para evitar ocorrências de um evento, que extrapolem os limites estabelecidos em projeto, ou considerar a redução do índice de impermeabilização proposto para a área como fator determinante na análise de projeto.

Assim, tem-se considerado as técnicas pautadas pela avaliação realista dos problemas atuais de drenagem urbana, adotando-se em muitos casos medidas não estruturais de controle de enchentes, aliadas a medidas estruturais como: emprego de tanques de amortecimento, de bacias de detenção de sedimentos; o estabelecimento de limites de impermeabilização e de zonas de inundação gerenciadas; e mesmo os reservatórios de detenção e retenção; enfim, medidas conjugadas que, a depender da situação, podem ser adotadas com efeitos satisfatórios.

Vários experimentos têm sido elencados na bibliografia quanto à análise e/ou aplicação de medidas estruturais ou não estruturais na minimização dos efeitos das inundações em áreas urbanas, sendo que a aplicação delas alicerçam-se evidentemente sobre critérios pré-estabelecidos em projeto. Muitas dessas medidas, sobretudo as de caráter não estrutural, têm revelado eficácia no amortecimento do pico de vazão, influenciando sensivelmente na minimização dos impactos oriundos da intervenção antrópica.

Atualmente, as discussões quanto à viabilidade econômica e ambiental da implantação de medidas não estruturais como alternativa na contenção de enchentes tomam vulto em âmbito mundial, fato que pode ser comprovado pelo crescente número de Conferências e Workshops, cuja temática tem sido direcionada para discussões de estudos de caso que comprovem a possibilidade e aplicabilidade de tais medidas. Essas discussões têm relacionado o uso de técnicas que, invariavelmente, consideram a adoção de tecnologias modernas e que proporcionem uma análise quantitativa e substancialmente qualitativa dos estudos de previsões e de controle do fenômeno de cheias.

O uso crescente de sistemas computacionais capazes de formular simulações de cenários futuros de ocorrência de inundações constitui-se hoje um avanço na área do

planejamento, como ferramenta que possibilita a tomada de decisões preventivas no controle de cheias.

Países como a Argentina têm-se valido de técnicas computacionais avançadas, como as que usam softwares capazes de formular cenários de ocupação, considerando diferentes alternativas de extensão, volume e transporte da capacidade de drenagem. O software MOUSE considera ainda a estrutura das ruas, túneis e condutores, e, a partir de equações hidrodinâmicas, a relação entre tempo e espaço da possível ocorrência do fenômeno.

Trabalhos realizados com o uso do software MOUSE nas bacias hidrográficas dos rios Medrano, Maldonado e Vega, na região central da cidade de Buenos Aires pelo Instituto Nacional de Ciências e Técnicas da Argentina e descritos por LASARTE, HOPWOOD e CARVALHO (1998) apontam a viabilidade da formulação de situações futuras considerando a possibilidade da ocorrência do fenômeno. Para os autores (op. cit.) o uso do software tem sido de vital importância, não apenas no disciplinamento do uso do solo como também no ordenamento da adoção de medidas de contenção de cheias.

Os resultados obtidos com o uso de modelos computacionais têm-se revelado eficazes na medida em que consideram não apenas a direção do escoamento cinemático, mas substancialmente a análise espacial da área de influência.

Estudos dos Sistemas de Drenagem da Cidade de Dhakar, em Bangladesh, desenvolvidos pelo Centro de Modelagem de Águas Superficiais dessa cidade, consideram o uso de sistemas computacionais como ferramenta indispensável para a otimização de análise e proposição de alternativas de contenção de cheias pautadas pela formulação de novos cenários. A cidade de Dakar estando entre 0 a 200 metros de altitude é protegida das cheias pela construção *de diques e aterros* em grandes extensões, uma vez que sua drenagem se vê condicionada não apenas à proximidade do lençol freático, como também ao nível dos rios. No entanto, conforme ressalta LASARTE et alii (1998), em virtude da expansão urbana e do conseqüente avanço da problemática das enchentes, torna-se inevitável a formulação de novas alternativas para minimizar o quadro atual. Assim, o uso de sistemas computacionais tem sido considerável na elaboração dos

*mapas de zoneamento de áreas inundáveis* como prerrogativa básica ao ordenamento territorial.

CARMI (1998), em estudos realizados na cidade de Jericó, em Gaza, sobre a necessidade da adoção de medidas não estruturais na contenção de enchentes, chama a atenção para o fato que, embora a água nessa região seja um recurso limitado, em virtude de sua localização em uma área semi-árida, a cidade de Jericó enfrenta sérios problemas de drenagem urbana, resultantes da ocupação desordenada do setor oeste do seu território, observado nos últimos 30 anos.

O autor (op. cit.) salienta que a adoção de medidas estruturais se mostraram ineficientes. Os planos de contenção desenvolvidos por diferentes entidades foram contraditórios ao não considerarem, conjuntamente, os fatores ambientais e sociais. Não existem leis, no país, leis que inibam a ocupação de áreas de risco, e tampouco planejamento urbano, ou programas de prevenção de enchentes. Em vista do quadro catastrófico vivenciado cada ano pela população, CARMI (1998) considera de vital importância o *zoneamento de áreas sujeitas a inundação; a criação de instituições de coleta de dados hidrológicos e de desenvolvimento de planos de ação contra as enchentes, desenvolvimento de programas de esclarecimento público quanto à problemática de ocupação de áreas de risco e de lançamento de lixo nos corpos d'água bem como o treinamento de profissionais no serviço civil para o atendimento de situações problemáticas.*

No Japão, os estudos desenvolvidos por FUJITA (1984), sobre o Sistema de Drenagem Experimental adotado pelo Governo da Metrópole de Tóquio, tem se revelado extremamente eficiente.

A função básica do novo sistema é reter o maior tempo possível a água na bacia, adotando como parte das medidas o *uso de pavimentos permeáveis* preferencialmente em áreas de passeio, ruas estreitas com menos de 5 metros de largura e estacionamentos. Essas áreas contribuem para a maior infiltração da água que se dá a partir de um sistema de camadas de cascalho em caixas conectadas a trincheiras permeáveis de tubulação de concreto poroso, sendo que a *prevenção de um possível entupimento da camada permeável é feito com a instalação de um tipo de peneira na parte superior da caixa.*

No sistema proposto por FUJITA (1984), as trincheiras ou valas permeáveis são instaladas em ambos os lados da rua, paralelas à tubulação de drenagem principal que permite o escoamento do esgoto sanitário. O amortecimento do tempo de escoamento de água nos dutos é realizado por meio de desvios ou pelo aumento da dimensão dos tubos e diminuição de sua declividade, o que promove o *armazenamento em caixas com um dispositivo de restrição* ao escoamento de vazões maiores (Figura 7).

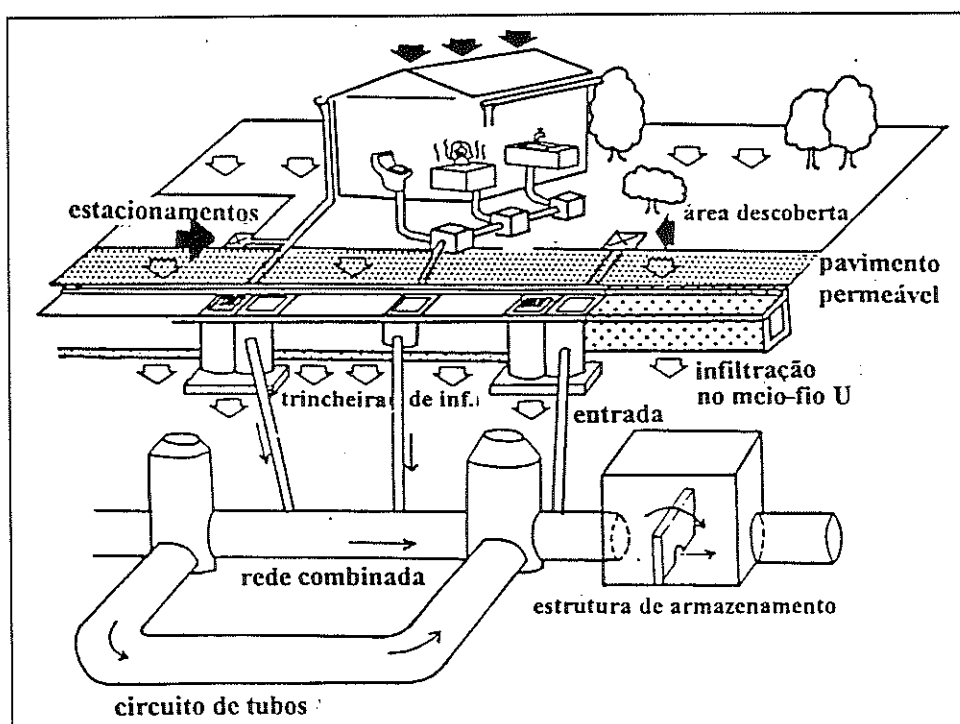


Figura 7: Aspectos Gerais do Sistema de Drenagem Experimental proposto por FUJITA .  
Fonte: FUJITA (1984).

Após a aplicação do sistema, o autor (op. cit.) esclarece que se observou uma redução significativa dos picos de vazão nas diversas áreas onde o sistema foi implementado. Em uma área de 61,6 km<sup>2</sup> observou-se uma redução de 60% do pico de vazão, que passou de 433 m<sup>3</sup>/s para 177 m<sup>3</sup>/s.

Os resultados satisfatórios da adoção do novo sistema tem levado vários distritos de Tóquio a incentivar seus moradores a adotarem o sistema em suas propriedades, ou a propor a união de várias propriedades na implantação do sistema, com diminuição sensível do custo de implantação.

Em âmbito nacional, o governo japonês tem-se valido de novas regulamentações de uso do solo, conferindo aos novos loteamentos residenciais maiores de 1000 m<sup>2</sup> a exigência de um projeto de medidas que minimizem o escoamento superficial direto.

Outra medida adotada no Japão, e que tem revelado resultados satisfatórios, são os *reservatórios subterrâneos, os chamados "off line"*, que se constituem em grandes túneis com capacidade de detenção de grandes volumes de água. Essa técnica tem sido analisada exaustivamente por KAKAMURA (1988).

As inundações, enfrentadas durante décadas pela China, especialmente nas áreas que compreendem as planícies densamente povoadas do rio Iang-Tsé, um dos maiores fluxos fluviais do mundo, têm sido cenário de pesquisas vinculadas a sistemas de drenagem urbana há varias décadas. PEREIRA (1980) chama a atenção para os vários mecanismos utilizados para conter as inundações em diversos trechos dessa bacia. Em seus trabalhos no Iang-Tsé, o autor (op. cit.) verificou que um dos procedimentos mais usados com resultados satisfatórios tem sido o do emprego de *diques* que asseguram a minimização das inundações em cerca de 126.000 km<sup>2</sup> de sua planície.

As *derivações* são construídas à montante dos trechos estrangulados pelos diques, além das *bacias de retenção*, para onde são desviados os volumes excedentes. Esses dispositivos entram em funcionamento quando as descargas atingem, nos pontos críticos, a capacidade máxima de vazão do rio, aduzindo, para as bacias de retenção, os volumes que propiciem a dinamização dos deflúvios de cheia a limites suportáveis pelos diques.

As *bacias de retenção*, que compreendem cerca de 10.000 km<sup>2</sup>, são, em sua maioria, planícies normalmente ocupadas e cultivadas, que obedecem a sistemas que permitem a sua evacuação antes de serem inundadas. O *sistema de previsão* de cheias possibilita a propagação em tempo hábil para a mobilização da população para locais seguros da informação do evento e de sua magnitude.

Um fator destacado por PEREIRA (1980) quanto à engenharia de algumas das bacias de retenção analisadas, é o observado na de Jinjiang, em cujo interior se encontram, 100 plataformas elevadas e 23 áreas protegidas por diques, os quais servem de refúgio à população, em épocas de cheias. Tais áreas compreendem verdadeiros



“alojamentos” destinados a abrigar, temporariamente, a população atingida pela enchente.

Outra medida adotada em larga escala nesse país tem sido a da construção das *barragens com múltiplas finalidades*. A combinação de diversas técnicas no controle de enchentes tem figurado em diversos estudos de caso com resultados satisfatórios, como característica singular dos modelos adotados para contenção do fenômeno de cheias.

Na maioria dos Estados Americanos, a restrição ao uso do solo, sobretudo em áreas inundáveis, é bastante veemente, e intimida o empreendedor em função das altas taxas e limitações impostas ao uso, o que leva-o a valer-se de técnicas cada vez mais conjugadas para permitir um uso adequado às normas pré-estabelecidas. Em cidades como Monterey, na Califórnia, adotam-se, como critério básico para aprovação de projetos, medidas que garantam que a urbanização proposta não ampliará os picos naturais de cheias, ou aqueles anteriormente atingidos. Assim, as áreas de contenção de água são incorporadas aos projetos paisagísticos e de recreação, constituindo-se em áreas de lazer, parques, lagos, etc (CANHOLI, 1995).

No Brasil, as técnicas adotadas na contenção de inundações, na maioria dos casos, têm considerado medidas estruturais, agindo na maioria das vezes, quando o problema já se encontra instalado. A prática de um planejamento consistente, que considere a legislação vigente com seriedade, tem sido um desafio imposto aos planejadores, sobretudo nas últimas décadas, quando a problemática ambiental se destaca nas tomadas de decisões frente às exigências da sociedade. Contudo, há no nosso país experiências bastante interessantes, que mostram os resultados da implantação de medidas conjugadas na contenção de inundações.

Há que se ressaltar o exemplo da cidade de Londrina, no Paraná, que adota, em seu planejamento urbano, a *preservação das áreas de fundo de vale*, constituindo-se verdadeiros cinturões verdes que contribuem de maneira efetiva para o controle de inundações.

A cidade de Curitiba, no Paraná, também criou os Setores Especiais de Preservação de Fundos de Vale, através da Lei Municipal nº 5.267/75, regulamentada pelo Decreto nº 400/76. Essa lei prevê o uso das áreas adjacentes aos cursos d'água e

aos fundos de vale, prioritariamente, como extensas áreas verdes destinadas à prática de lazer e recreação, o que contribui para a minimizar os picos de vazão. Além do aspecto urbanístico, o planejamento dessas áreas prevê a erradicação gradativa das favelas localizadas em fundos de vale e o emprego da mão de obra ociosa nas tarefas de manutenção das faixas de preservação, pela limpeza, plantio de árvores, fiscalização dos bosques existentes, conservação dos equipamentos, formação de áreas para produção hortifrutícola, etc.

A Prefeitura Municipal da Cidade de Curitiba vem desenvolvendo ao longo dos anos de 1997 e 1998 ações de controle de inundações em 58 pontos de ocorrência de inundações mapeados na cidade. A figura 8 mostra o mapeamento das áreas inundadas em 1983 e 1997 e, ainda, as áreas inundáveis, consideradas como áreas de risco à ocupação urbana (figura 8).

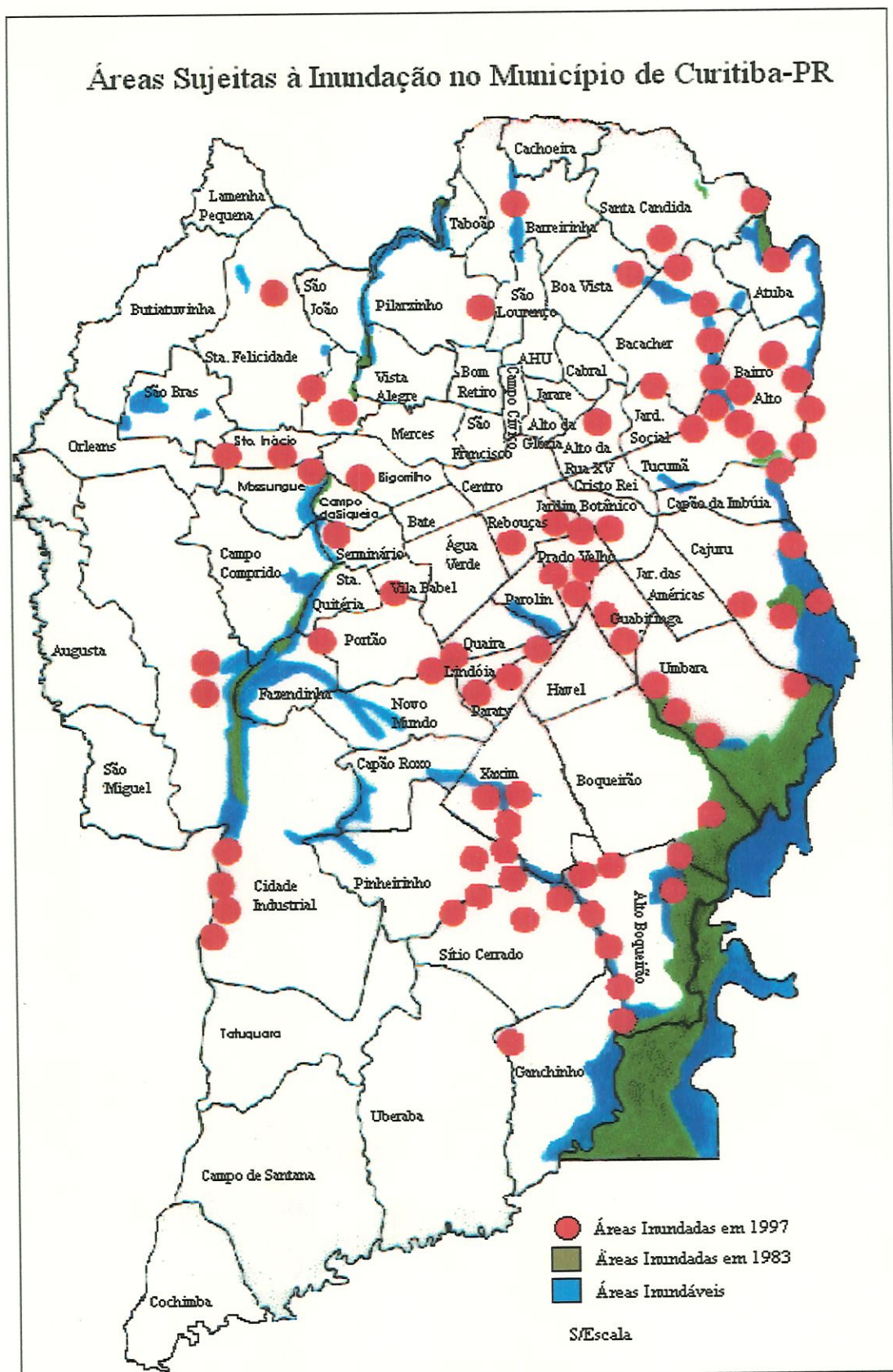


Figura 8: Áreas de Inundação no Município de Curitiba - PR  
 Fonte: Prefeitura Municipal de Curitiba/ Sec. Mun. de Saneamento.

Em Curitiba a exigência de medidas eficazes para o controle das inundações como as vivenciadas, sobretudo durante o verão de 1997, levou o poder público a considerar medidas pautadas por um estudo preliminar da *viabilidade técnica, econômica e ambiental* na tomada de decisões.

A primeira etapa foi *mapear e elencar os pontos críticos de inundações*, sobretudo na área urbana. A criteriosa análise das medidas adotadas levou a Prefeitura a propor a participação efetiva das Universidades, que poderiam em tempo hábil, fazer a previsão, com razoável antecedência, da magnitude e intensidade das precipitações e das áreas vulneráveis a inundações, para que sejam tomadas as devidas precauções.

O estudo hidrológico das bacias contribuirá, efetivamente, com o planejamento das medidas de contenção de enchentes a serem adotadas, com ênfase sobre a adoção das medidas não estruturais, que garantam na bacias um fluxo de drenagem menos impactante.

Outra medida adotada na mencionada cidade, com resultados satisfatórios, é o uso de áreas degradadas pela extração de areia como reservatórios de retenção de água, para propiciar a diminuição do pico de vazão e o aumento do tempo de concentração de água na bacia.

Como medidas preventivas dos impactos decorrentes das inundações, a Secretaria Municipal de Saneamento da Cidade de Curitiba vem desenvolvendo um material informativo de caráter preventivo e corretivo sobre as medidas emergências, que as comunidades residentes em áreas de risco devem tomar, na ocorrência de enchentes. Esse material é veiculado nas escolas, postos de saúde e demais órgãos públicos. Um exemplo do material distribuído é a cartilha informativa "*Gibi do Curitibinha e o Saneamento*", desenvolvido pela Secretaria Municipal de Educação e Secretaria Municipal de Saneamento, direcionada basicamente ao público infantil, que através de uma linguagem acessível, leva às crianças informações pertinentes ao saneamento hídrico, incluindo questões relativas às enchentes.

Os custos da implantação de medidas de controle às inundações, especialmente em áreas já construídas, representara um ônus significativo para o orçamento do Município, até o mês de novembro de 1997, quando se manteve contato com as

descrições, propostas e orçamentos das obras em andamento, bem como as já desenvolvidas pela Prefeitura da cidade, estas obras estavam orçadas em, mais ou menos US\$ 3 milhões.

A atenção voltada para as questões ambientais, especialmente nas últimas décadas, está evidentemente aliada ao caráter econômico e funcional da cidade. Hoje, Curitiba constitui-se uma das cidades turísticas mais importantes do setor sul do país, alojando cerca de 1.600.000 habitantes e tendo parte de sua economia voltada basicamente para setor turístico.

As Cidades de União da Vitória e Porto União, no Paraná, enfrentam, há anos, problemas críticos de drenagem urbana. As enchentes de 1983 e de 1992 foram as que provocaram maiores danos à população, conforme revelam os estudos realizados por VILLANUEVA e TUCCI (1998). Atualmente nessas cidades tem sido adotadas, entre outras medidas, a do uso *de diques e foz de areias* como paliativas no controle de enchentes. Contudo, os estudos nessas áreas revelaram a necessidade de uma legislação de uso do solo, como a proposta pelos autores (op. cit.) para *o zoneamento de áreas sujeitas a inundação com o estabelecimento de três zonas de controle sendo estas: preservação das áreas mais críticas* reservadas para proteção de parques e jardins; *proteção por reservatórios nas edificações* com possibilidade de impostos reduzidos, remoção de edificações; e *planejamento de uso do solo*, considerando um tempo de retorno de chuva de 5 anos para aprovação de novos loteamentos. Os autores (op. cit.) consideram que os planos devam considerar os aspectos econômicos, paisagísticos e de desenvolvimento urbano.

OSTROWSKY (1998) desenvolveu estudos na Bacia Hidrográfica do rio Pirajuçara, afluente do rio Pinheiros, na região metropolitana de São Paulo, que apresenta 70% da sua área urbanizada e com problemas crescentes de inundações. Os estudos realizados na área revelaram que a adoção **de medidas não estruturais** somadas às **medidas estruturais** já implementadas resultariam em melhores condições para minimização dos efeitos de cheias. Assim a *regulamentação do uso do solo em áreas sujeitas a enchentes* deve ser delimitadas segundo os pontos críticos de cheia. As medidas a serem adotadas nos setores, onde o rio ainda não está canalizado, devem

incluir: *a delimitação dos planos de inundação e imediata ocupação com parques, áreas de lazer, reservas naturais* para retenção das águas de cheias. Outros fatores a serem considerados são: o *sistema de alerta* como medida de emergência efetuada pela defesa civil; e a *conscientização da população* quanto à poluição do sistema de drenagem, que inclui uma política de educação ambiental.

Os estudos realizados por POMPEO, ROSA e OLIVETTI (1998), no Estado de Santa Catarina, na região do vale do Itajaí, revelaram a necessidade da ação integrada de políticas de drenagem urbana e controle de enchentes. Já foram realizados nessa área diversos estudos, cujos autores chamam a atenção para a importância da análise integrada, com intuito de estabelecer critérios para avaliação dos fatores físicos, humanos e técnicos, como prerrogativas para a elaboração de *legislações de uso do solo*.

BATISTA et alii (1997), ao considerarem a problemática das inundações na cidade de Belo Horizonte - MG, apontam para quatro ações que devem nortear os programas de controle de enchentes nesta cidade. Os autores, propõem a implantação de *programas de monitoramento hidro-sedimentológico e ambiental*, visando ao melhor conhecimento de estudos hidrológicos em meio urbano e treinamento do quadro técnico municipal; *sistema de coleta e tratamento de esgoto e lixo, manutenção adequada do sistema de drenagem urbana e monitoramento do sistema hidro-sedimentológico*; implantação de uma *legislação do uso e ocupação do solo*; implantação de *programas de educação ambiental* e de *programas contínuos de formação de diferentes áreas de gestão ambiental urbana*.

A região metropolitana de São Paulo, com cerca de 12 milhões de habitantes, é a maior área urbana da América do Sul, compreendendo cerca de 8050 km<sup>2</sup> de área urbanizada e um dos maiores centros econômicos da América Latina, é um exemplo de área com problemas ambientais vivenciados nos grandes centros. A problemática das enchentes na Grande São Paulo tem sido há vários anos, tema de discussões entre pesquisadores e planejadores, que concluem pela necessidade de uma maior reflexão sobre o modelo de uso e ocupação do solo adotado ao longo dos anos, sobretudo nas áreas sujeitas a inundações.

A ocupação desordenada das áreas de fundo de vale, a canalização dos córregos como medida de “planejamento” para a implantação de grandes avenidas, que se tornaram importantes vias de acesso, como as marginais dos Rios Tietê, Tamanduateí e Pinheiros, aliadas à crescente impermeabilização do solo propiciam a elevação dos níveis dos picos de cheia, que ocasionam freqüentes e intensas inundações.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, em pesquisas realizadas em 1997 na Grande São Paulo, relativas ao índice de impermeabilização na área urbana, constatou que 60% da área da capital está impermeabilizada, o que representa, aproximadamente, 900 milhões de metros quadrados em um total de 1,5 bilhões de m<sup>2</sup> do município; e também cerca de 350 km<sup>2</sup> de córregos já estão canalizados.

A ocupação indevida de vertentes, a remoção da cobertura vegetal e a ação das águas pluviais promovem o deslocamento de grandes volumes de sedimentos, que são depositados nos fundos dos vales, propiciando o assoreamento dos cursos fluviais. Este preenchimento é ampliado pelo intenso e contínuo lançamento de lixo, diretamente nos corpos hídricos. Tais fatos, ao alterarem o gradiente natural do rio, tornam o escoamento fluvial mais forte, propiciando que os picos de cheias sejam atingidos mais rapidamente.

As enchentes do verão de 1996 deixaram índices alarmantes de mortos, feridos e desabrigados na Grande São Paulo, sendo registrados pela empresa 45 mortos, 19 feridos e 849 desabrigados, e ainda dezenas de pessoas infectadas pelo vírus da leptospirose. Contudo, as soluções eficazes para a caótica situação das inundações vivenciadas pela população paulistana, a cada ano se torna mais difícil em virtude do crescente adensamento urbano, justamente nas áreas mais problemáticas.

Estudos realizados em 1997 pelo DAEE - Departamento de Água e Energia Elétrica de São Paulo, revelaram que as enchentes mais catastróficas que atingem diretamente um número considerável de pessoas, estão relacionadas a pequenos cursos d'água. Caso fosse adotada uma prática de manutenção periódica, com execução de serviços de limpeza, desobstrução e desassoreamento das calhas, a situação seria revertida.

Para o problema das inundações nas regiões dos grandes rios metropolitanos, várias são as alternativas sugeridas para a minimização dos efeitos delas como, por exemplo, a adoção de superfícies permeáveis e uso em residências particulares, estacionamentos e shopping centers de pequenos reservatórios de água, que muito iriam contribuir para a redução dos picos de vazão.

Outra alternativa a ser implementada pela Prefeitura Municipal de São Paulo é da concessão de bônus no pagamento do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) para os contribuintes que, ao construírem, conservem parte do solo livre de impermeabilização. O bônus concedido pela Prefeitura seria proporcional à área preservada, é uma alternativa proposta pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, como medida para incentivar o aumento da absorção natural, e promover o retardamento do tempo de escoamento superficial.

A *construção de pequenas barragens nos córregos* que deságuam nos rios principais, como o Tietê, fariam delas, verdadeiras grelhas, que impediriam a passagem para o rio principal, de parte dos sedimentos e do lixo transportados pelas águas dos córregos. Acredita-se que a implantação dessa medida faria diminuir o assoreamento dos canais principais, considerando-se que a limpeza e manutenção dos córregos é economicamente mais viável que o desassoreamento de grandes cursos d'água.

Os chamados piscinões ou tanques de contenção de águas pluviais, utilizados em larga escala no Japão, constituem um recurso para aumentar o tempo de concentração de água na bacia. O funcionamento hidráulico do sistema é relativamente simples: a água da chuva permanece acumulada no reservatório, sendo sua liberação realizada por meio de bombas hidráulicas, quando a vazão do canal principal atinge níveis considerados fora de risco de inundações. A água permanece retida na bacia por um tempo maior, reduzindo sensivelmente o deflúvio direto e os picos de cheia.

O Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) de São Paulo, propôs, em 1997, o projeto de construção de 46 tanques de contenção de cheias na bacia do rio Tamanduateí, na região do ABC (figura 9).





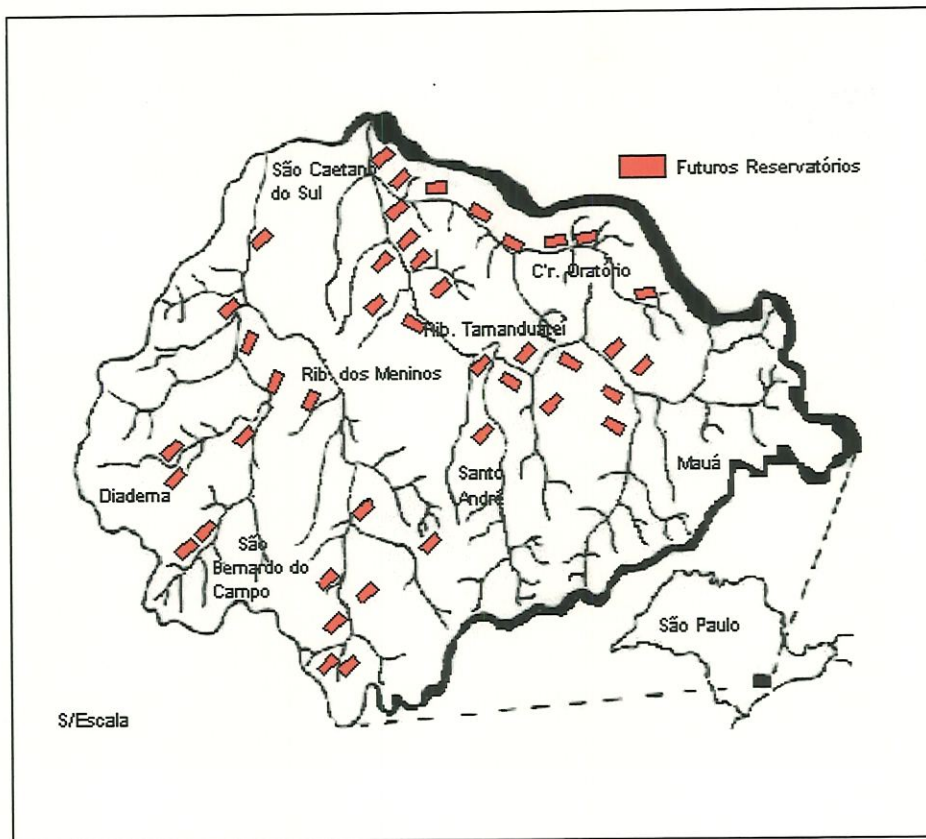


Figura 9: Proposta de Localização de Tanques de Contenção na Bacia do Rio Tamanduateí em São Paulo (SP).

Fonte: DAEE (1997)

Segundo o DAEE (op. cit.), os 46 reservatórios terão capacidade para armazenar 6 bilhões de litros de água de chuva, o que exigirá recursos estimados em US\$ 180 milhões para obras civis, sendo que 64 milhões de dólares norte americanos estão destinados ao pagamento das desapropriações.

Embora se considere a opção pela implantação dos reservatórios uma alternativa tecnicamente viável, entende-se que sua eficácia está vinculada a uma medida integradora. Deve haver o incentivo ao aumento de áreas permeáveis, a limpeza dos corpos d'água, a diminuição do lixo, enfim, toda a somatória de medidas mitigadoras de controle de inundações, que possibilitará melhores resultados na redução dos picos de vazão.

A Secretaria Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo propõe o *rebaixamento da calha do rio Tietê*, sendo que na primeira etapa serão escavados 14 km do leito do

rio, entre o Cebolão e as imediações da Barragem de Edgar de Sousa em Santana de Paranaíba. O custo da obra nesse trecho está orçado em 280 milhões de dólares norte americanos.

As grandes obras de contenção de cheia oneram invariavelmente o município, em virtude do deslocamento da população para outras áreas, ou dos transtornos causados ao tráfego, ao comércio, bem como a relocação das redes de energia elétrica e telefônica, adutoras de esgoto, o redimensionamento da rede coletora de águas pluviais. Enfim, os transtornos provenientes das obras de contenção de cheia de grande porte em regiões já ocupadas são imensuráveis.

Relacionando esses fatores, à problemática das inundações da Av. Pacaembu na Grande São Paulo, uma das avenidas de maior expressão em tráfego da metrópole paulistana, CANHOLI (1995) propôs a implantação de um *reservatório subterrâneo* em uma área de 15.000 m<sup>2</sup>, com uma profundidade de 5,60 m, para o amortecimento dos picos de enchentes na área da Praça Charles Müller, como uma medida não convencional em termos de drenagem urbana.

A partir de uma análise hidrológica e das características físicas da área, CANHOLI (1995) projetou um reservatório subterrâneo com potencial para armazenar o grande volume de água escoado da confluência de 3 grandes galerias provenientes do Estádio Municipal do Pacaembu, da Av. Arnaldo Azevedo e da Rua Itatiaia. Para a galeria da Av. Pacaembu haveria apenas as vazões compatíveis com sua capacidade. As características de projeto que incluem as etapas de calibração de um modelo de simulação do tipo chuva x vazão, assim como todas as outras, são descritas por CANHOLI (1995).

O volume de armazenamento necessário foi determinado a partir de estudos hidrológicos da capacidade de vazão das galerias existentes a jusante da Praça Charles Müller. A avaliação das condições estruturais das galerias já existentes mostrou que elas são suficientes, e não exigem obras de ampliação, o que significa considerável redução dos gastos previstos para a obra.

O volume de contenção de água necessário para manter-se a vazão de pico ( $T_r = 25$  anos) ao longo de toda a galeria foi atingido a partir da retenção de 74.000 m<sup>3</sup> no reservatório. Fora dos períodos de cheia, o reservatório permanece seco, o que facilita

sua manutenção periódica. Os custos da obra foram orçados em 8 milhões de dólares norte americanos, duas vezes menor do que os orçamentos feitos para obras de implantação de novas galerias que além dos custos financeiros propostos no projeto, acarretariam à população prejuízos e transtornos incalculáveis.

Para CANHOLI (op. cit.), a viabilidade ambiental e econômica aliada à confiabilidade e segurança oferecidas pela obra justificam sua eficiência técnica.

Os picos de vazão diminuíram sensivelmente após a implantação do reservatório, proposto por CANHOLI (1995). Um dos trechos mais críticos da área, onde se observava uma vazão, a jusante, da ordem de 49,52 m<sup>3</sup>/s, após a implantação do sistema foi reduzida para 13,96 m<sup>3</sup>/s, o que evidencia a eficiência da medida adotada.

A viabilidade econômica e ambiental das medidas não convencionais de drenagem urbana, mostram-se como um veio para análise nas decisões sobre alternativas de controle de inundações que considerem os fatores ambientais e econômicos, sobretudo em áreas com adensamento urbano considerável como a da cidade de São Paulo.

A dinâmica de ocupação do solo observada em âmbito mundial, nos últimos anos, permite prever uma tendência de crescimento da problemática das inundações urbanas, com conseqüências catastróficas, se o modelo de uso e ocupação do solo adotado pelo mundo contemporâneo persistir em considerar as normas de disciplinamento como "figurativas". Portanto, é necessário aprimorar, em larga escala, as medidas mitigadoras de controle de enchentes que, na prática, atuam sobre os efeitos, funcionando como paliativas nas situações mais graves.

É grande a responsabilidade do Homem, no que concerne aos efeitos das enchentes, intimamente relacionadas ao modelo de uso do solo adotado, ou seja, a medida em que são ocupadas áreas sujeitas à inundação, dinamizam-se fragilidades naturais para a ocorrência do fenômeno. Para BUTZKE (1995), embora seja evidente a gravidade do problema, há uma grande tendência para se tratarem as questões vinculadas às enchentes como um fenômeno independente da atuação do Homem. Esta é uma visão incorporada pela grande maioria da população que se vê como vítima de um fenômeno natural, excluindo-se por completo da co-responsabilidade e co-participação no desencadeamento do fenômeno.

Assim, as medidas mitigadoras de controle de enchentes, têm-se, ao longo dos anos, revelado, ineficientes quando atuam apenas sobre os efeitos, via de regra bastante pronunciados; e não sobre as causas que estão alicerçadas nas relações sócio-econômicas e ambientais.

A Bacia Hidrográfica como objeto de análise da dinâmica de uso e ocupação do espaço, aliado à problemática das enchentes, figura como elemento estratégico para a análise dos fatores ambientais e econômicos inerentes ao espaço total, e para tomada de decisões quanto a medidas a serem adotadas no combate e atenuação das inundações urbanas.

## **5. O PANORAMA AMBIENTAL E HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS :**

Antes de dirigir a atenção à Bacia do Córrego do Gregório, considerou-se interessante apresentar algumas considerações sobre o universo no qual se encontra inserido o Município de São Carlos - SP.

Tais considerações subsidiarão as reflexões sobre a área desta pesquisa, norteando as pertinentes discussões dos resultados da intervenção antrópica sobre os atributos físicos da paisagem, e, ainda, as proposições de medidas mitigadoras concernentes a processos de inundação na área estudada..

### **5.1 Quadro Ambiental do Município de São Carlos**

Estudos recentes realizados pela CETESB (1996) sobre a Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos no Estado de São Paulo, revelam que o município de São Carlos está inserido na região do Médio Tietê, sobre a unidade hidroestratigráfica denominada Aquífero Fissurado, cuja permeabilidade se dá por descontinuidades rúpteis.

A vulnerabilidade dos aquíferos entre outros fatores é de extrema importância para a definição de áreas mais susceptíveis à degradação por um evento de poluição.

O Aquífero Fissurado, conforme descrito pela CETESB (1996), é composto pelo Sistema Aquífero Cristalino e pelo Sistema Aquífero Serra Geral, formação geológica que aflora no município de São Carlos sobretudo nas áreas de fundo de vale dos principais cursos fluviais da região.

Por ser a Formação Serra Geral constituída por rochas vulcânicas em derrames basálticos, de acordo com a CETESB (1996), a circulação da água subterrânea se faz por meio de suas descontinuidades, dando um caráter heterogêneo ao aquífero, constatado na variação de vazões de poços, cujos valores estão entre 5 e 70 m<sup>3</sup>/h.

No setor nordeste e centro-leste do Estado, onde se localiza a região de São Carlos, o grupo de Aquíferos Fissurados englobam os diabásios sob a forma de intrusões magmáticas, atravessando diferentes seqüências sedimentares. Suas zonas produtoras restringem-se, principalmente, às faixas de contato com a rocha encaixada e a algumas descontinuidades rúpteis, apresentando baixas vazões. No entanto, o Sistema Aquífero Serra Geral pode armazenar e fornecer água de suas camadas intemperizadas, que recobrem a rocha sã, podendo, uma vez saturadas, atingir dezenas de metros e apresentar-se em boas unidades aquíferas (CETESB, 1996).

O município de São Carlos, está situado, ainda, sobre o Sistema Aquífero Bauru, que apresenta a maior extensão aflorante no Estado, com uma área de 117.000 km<sup>2</sup>, ocupando assim 47% da área do Estado de São Paulo.

O Aquífero Bauru é constituído entre outras formações, pela Formação Marília, que possui caráter granular, livre e semi-confinado, heterogêneo, contínuo e anisotrópico. Nessa Formação 65% da área possui índice baixo a alto de vulnerabilidade. Apenas nas porções com profundidade de nível de água superior a 100m (15% da área) apresenta índice baixo de vulnerabilidade; no restante da área (30%), o lençol freático encontra-se em profundidades inferiores a 20 m, exibindo índices de médio a baixo vulnerabilidade.

Considerando a vulnerabilidade das águas subterrâneas, a CETESB (1996) realizou estudos concernentes ao potencial de carga poluidora das águas subterrâneas do Estado de São Paulo.

O potencial de carga poluidora refere-se às atividades humanas que poderão gerar poluição e alterar a qualidade das águas subterrâneas, acima dos padrões de potabilidade definidos pelo código sanitário. O estudo levou em consideração a possível poluição por atividades industriais, dadas as altas concentrações de produtos químicos e a prática de disposição de efluentes, uma vez que estes apresentam-se como agentes de danos ambientais. Também as atividades de mineração, oferecem o maior risco de contaminação

das águas subterrâneas, a partir da remoção do solo e da camada não saturada, expondo o nível do freático, reduzindo a probabilidade de degradação por poluição no perfil geológico e aumentando a vulnerabilidade natural do aquífero.

Quanto às fontes de poluição dispersas, a CETESB (op. cit.) considerou o saneamento “in situ”, vinculado à forma de saneamento sem rede de esgoto, como o das fossas negras e sépticas. Nessas áreas, o principal problema encontrado é a proximidade entre a fossa e o corpo de captação de água potável. A profundidade inadequada da fossa, perto do nível d’água subterrâneo (freático) e o subdimensionamento da capacidade hidráulica da obra quanto ao volume estimado no projeto são outros problemas mencionados pela CETESB (1996).

As atividades agropecuárias também podem representar risco iminente de contaminação pelo uso de pesticidas e fertilizantes químicos.

A análise desses fatores concernentes ao município de São Carlos, inserido na Bacia do Médio Tietê, mostrou elevados teores de poluição, em decorrência da intensa atividade industrial desenvolvida na região. As principais atividades industriais identificadas no município são as dos tipos: mecânica, de curtume e de fundição. Das doze indústrias analisadas como potencialmente poluidoras, três delas utilizam-se de produtos perigosos e oito fazem a deposição dos resíduos no solo. Outro fator analisado no município foi a deposição de resíduos sólidos domiciliares em aterro sanitário controlado.

Quanto à qualidade das águas superficiais dos cursos fluviais do Estado de São Paulo, estudos realizados pela CETESB (1997) indicaram que a região do município de São Carlos, inserida na Bacia do Rio Jacaré-Guaçu, afluente principal do Médio Tietê, foi classificada como aceitável, embora os parâmetros de fósforo excedam os níveis permitidos por legislação, assim, como os de alguns valores de coliformes fecais, oxigênio dissolvido e pH, que estão em desacordo com os limites legais. Para a CETESB (op. cit.) tais ocorrências podem estar associadas à falta de tratamento dos esgotos domésticos lançados em suas águas.

## **5.2 Atributos Físico da Paisagem:**

De acordo com IPT (1981), a maior parte do estado de São Paulo situa-se na Bacia do Paraná, unidade geotectonicamente estabelecida sobre a Plataforma Sul-Americana.

Conforme ressalta o IPT (op. cit.), em virtude das inclinações homoclinais das camadas paleozóicas e mesozóicas em direção a região mais deprimida da bacia, e da resistência à erosão oferecida pelos derrames basálticos do Cretáceo, que alicerçam a borda da cuesta do Planalto Ocidental, escavou-se uma depressão entre esta e os terrenos elevados das rochas cristalinas marginais, fazendo aflorar nela as camadas paleozóicas e mesozóicas pré - basálticas, que constituem a Depressão Periférica Paulista.

O relevo de Cuestas Basálticas é caracterizado por ALMEIDA (1974), como uma faixa montanhosa localizada entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental, apresentando um relevo escarpado e grandes plataformas estruturais de relevo suavizado. A dinâmica de esculpturação das formas de relevo constatada nessa província geomorfológica está condicionada a fatores estruturais e à intensa erosão diferencial intercalados por camadas sedimentares e intrusões básicas tabuliformes, que deram origem aos vales profundamente entalhados com predomínio de interflúvios com áreas de 1 a 4km<sup>2</sup>, topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos e vales abertos a fechados.

Na área do reverso das Cuestas Basálticas da Depressão Periférica, nota-se a presença de setores de planaltos de conformação estrutural imposta pelo caimento regional das camadas sobre as quais ocorrem coberturas sincrônicas da escavação da Depressão Periférica, destacando-se os depósitos das serras do município de São Carlos, inserido na Bacia do rio Jacaré Guaçu, afluente principal do Médio Tietê, que se encontra posicionado no relevo de Cuestas Basálticas, entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental.



Essas características estruturais inserem a área do município de São Carlos na classificação das Unidades Morfoestruturais proposta por ROSS e MOROZ (1997), denominada de Planalto Residual de São Carlos.

Para os autores (op. cit.), nessa unidade predominam formas de relevo denudacionais, cujo modelo constitui-se basicamente por colinas de topos convexos e tabulares, com vales de entalhamento variando entre 20 a 80m e dimensões interfluviais médias, variando de 250 a 3.750m. Com predominância de altimetria entre 600 e 900m, apresenta vertentes com declividades que variam entre 2 e 20%, sendo superior a 30% nos setores mais dissecados do relevo. Apresenta ainda formas de dissecação média, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta, o que implica um nível de fragilidade potencial médio a baixo, para os terrenos pouco dissecados; e alto a muito alto para os terrenos muito dissecados com áreas sujeitas a fortes atividades erosivas.

VIEIRA e MAINGUÉ (1973) chamam a atenção para o fato de que nessa região teriam sido reconhecidos e classificados dois grandes grupos de formações geológicas: o Grupo São Bento, que inclui a Formação Serra Geral; e o Grupo Bauru, que inclui a Formação Marília, ambas presentes na região do município de São Carlos.

A Formação Serra Geral corresponde a um conjunto de derrames de basalto toleíticos, entre os quais se intercalam arenitos associados a corpos intrusivos, constituindo diques e sills. Afloram os derrames de basalto na parte superior das escarpas das cuestas basálticas e dos morros testemunhos isolados pela erosão. Os diques e o diabásio penetram nas rochas sedimentares da bacia, aflorando nos níveis de base mais próximos (IPT, 1981).

Segundo ZUQUETE (1981), na área do município de São Carlos, a Formação Serra Geral é representada por magmatitos básicos, ocorrendo em vertentes no setor E e W do município, em escarpas com inclinações superiores que 20%, sob a forma de rochas bastante fraturadas e/ou recobertas por solos residuais, onde se desenvolvem uma vegetação composta por arbustos e árvores de médio porte.

Em áreas planas como na região central do município, a Formação Serra Geral ocorre sob uma cobertura de sedimentos cenozóicos, sendo possível observar os

magmatitos básicos quase totalmente intemperizados. Na porção NW e NE apresenta inclinações menores, estando recoberta por solos residuais de espessura razoável.

A composição mineralógica da Formação Serra Geral é constituída por magnetitas, apatitas, quartzo e, raramente, olivinas. A textura é intergranular, fina ou muito fina, às vezes microlítica. Os diques e sills têm granulação mais grossa, são holocristalinos e freqüentemente apresentam textura ofítica (IPT, 1981).

No que concerne à constituição dos solos vinculados a essa Formação Geológica, destaca-se, no município de São Carlos, o Latossolo Vermelho Escuro-Eutrófico (AGUIAR, 1989).

Em seqüência de deposição, após os derrames de lavas que constituem a Formação Serra Geral, tem início a deposição de litologias vinculadas ao Grupo Bauru, que no município de São Carlos se fazem representar pela Formação Marília, a qual, segundo MEZZALIRA (1974), teria sua origem associada a ambientes deposicionais flúvio-lacustre.

Esta formação é descrita por SOARES e alii (1980) como uma unidade composta por arenitos com características que variam de grosseiros a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspato, minerais pesados e minerais instáveis, que ocorrem em bancos com espessura média de 1 e 2 metros, maciços ou com acabamentos incipientes, subparalelos e descontínuos, raramente apresentando estratificação cruzada de médio porte, com seixos concentrados nos estratos cruzados, e raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcários.

Em estudos realizados no município de São Carlos, em 1981 por ZUQUETE, este considera que a formação aflora, preferencialmente, no setor norte do município, recoberta por sedimentos cenozóicos e/ou solos residuais. Esses sedimentos possuem granulometria predominantemente arenosa, sendo encontrados nos depósitos do tipo aluvionares e coluvionares, seixos de quartzo, de quartzito as vezes limonitizados, caracterizando-se pela ausência de material cimentante.

LORANDI (1985) destaca o Latossolo Vermelho Amarelo como a formação pedológica predominante na região central do município, tendo sua formação originária associada aos sedimentos do Grupo Bauru.

Em partes dos setores do município mapeados e descritos por ZUQUETE (1981) como cobertura residual da Formação Botucatu, que ocorre no setor W do município em vertentes com inclinações acentuadas, os materiais possuem mais de 50% dos seus grãos que variam de areia fina a argila com baixa plasticidade e pouca espessura.

AGUIAR (1989) identifica, em setores ao sul do município, a presença de areias quartzosas as quais se apresentam como resultado do retrabalhamento do arenito Botucatu, em um relevo suavemente ondulado, com alta capacidade de drenagem e essencialmente quartzosos.

A Bacia do Córrego do Gregório, que vem sendo ocupada progressivamente pelo sítio urbano de São Carlos, sobretudo nos setores de baixo e médio cursos, área de estudo deste trabalho, encontra-se totalmente inserida nas características geomorfológicas e geológicas descritas anteriormente.

Os mapeamentos realizados por LORANDI (1985) no município de São Carlos apresentam a Formação Serra Geral ocupando parte da área de fundo de vale da bacia do Córrego do Gregório, e a da Formação Marília que recobre quase a totalidade da área de estudo (figura 10). A formação pedológica identificada nessa região é constituída pelo Latossolo Vermelho Escuro Eutrófico, Latossolo Vermelho Amarelo e pela ocorrência em alguns setores de Areias Quartzosas (figura 11).

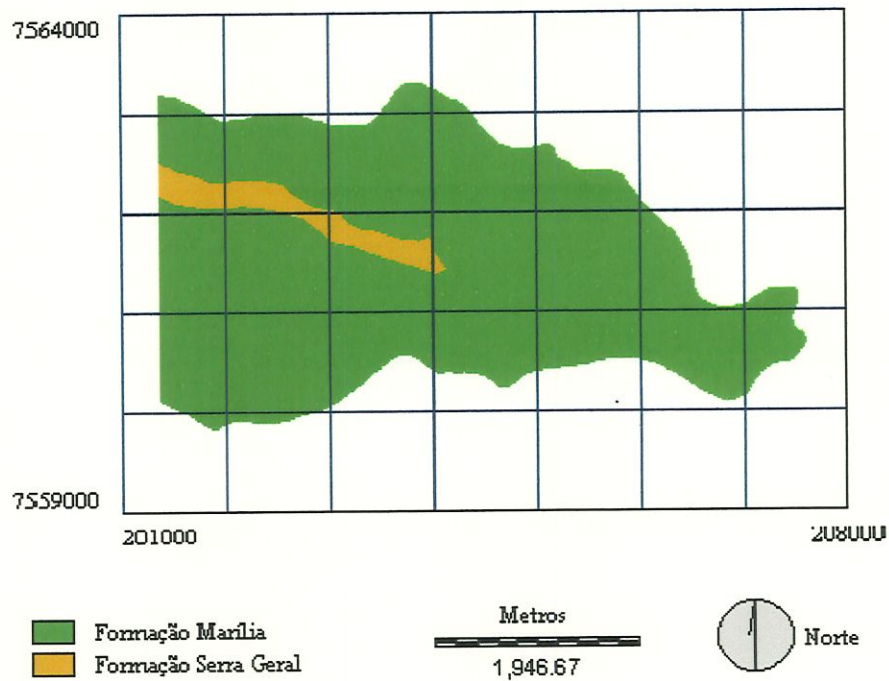


Figura 10: Feições Geológicas da Área de Estudo.  
 Fonte: LORANDI, R. (1985).

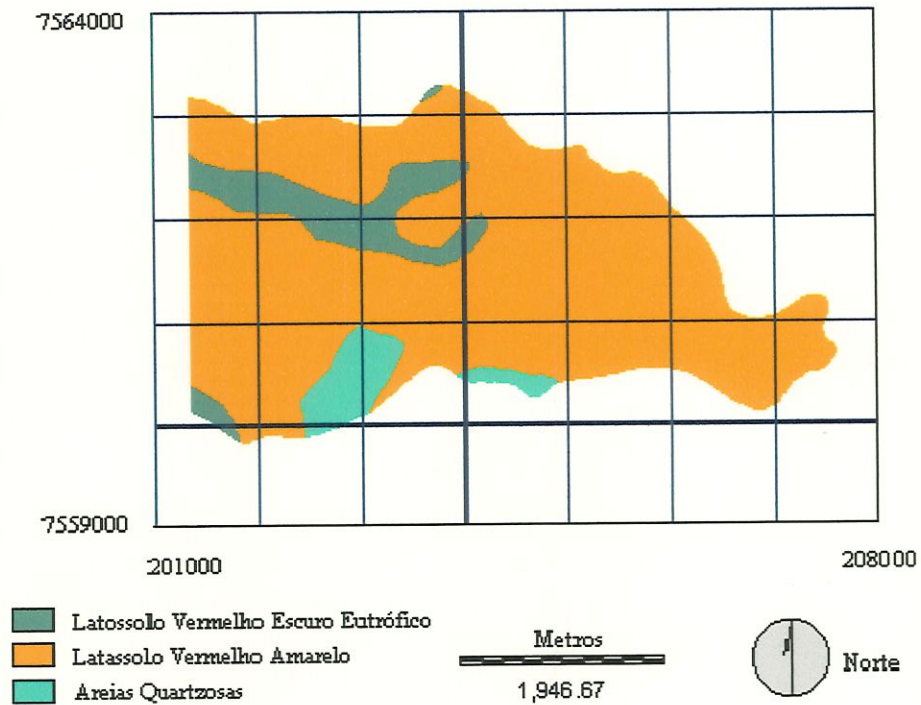


Figura 11: Feições Pedológicas da Área de Estudo.  
 Fonte: LORANDI, R. (1985).

BORTOLUCCI (1983), em sondagens realizadas na área da cidade de São Carlos, salienta que o contato basal da Formação Marília dá-se em discordância erosiva com a Formação Serra Geral em quase toda a região da cidade de São Carlos.

A estratigrafia da Formação Marília na região apresenta um conglomerado basal rico em seixos de basalto, arenito, argilito e quartzo, em matriz variável. Nessa área a Formação Marília está melhor representada pelo arenito médio bem granulado, grãos angulosos com cerca de 45% de areia e 35% de argila. A leste da cidade, próximo a Rodovia Washington Luiz, observa-se um arenito de textura fina a média argilosa muito semelhante às do sedimento cenozóico arenoso, descrita como areia fina argilosa.

A conformação geológico-geomorfológica da área de pesquisa propiciam uma paisagem altimetricamente representada entre cotas que variam de 800 m até maiores que 940 m (figura 12).

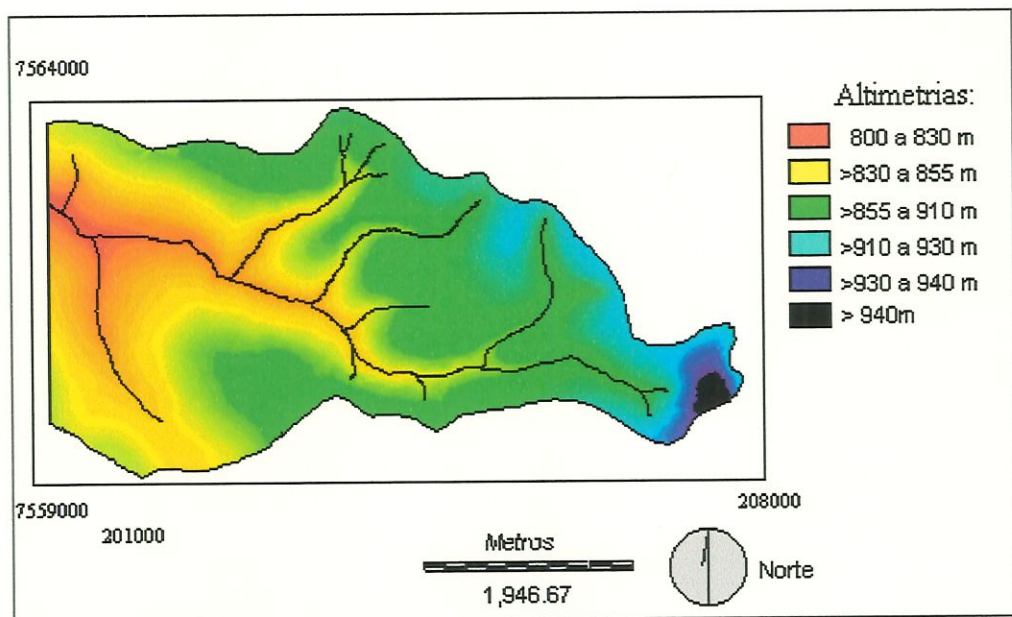


Figura 12: Representação das Categorias Altimétricas da Área de Estudo.  
Fonte: Carta Topográfica 1:10 000 do Município de São Carlos – IBGE (1971).

O Córrego do Gregório é o tributário principal do Ribeirão do Monjolinho, afluente do rio Jacaré-Guaçu, integrante direto do Médio Tietê.

### ***5.3 A Estruturação do Urbano no Município de São Carlos:***

O processo de estruturação do urbano no município de São Carlos segundo DEVESCOVI (1987) têm como fatores básicos de análise três etapas distintas de desenvolvimento:

A primeira refere-se à hegemonia cafeeira que se inicia em meados do século XIX, estendendo-se até 1920, com a formação do primeiro núcleo urbano no município. A atividade da cafeicultura foi a motivadora do processo de urbanização, à medida que exigiu, como fator primordial de sua expansão, a mão de obra que é acrescida pelo incentivo à imigração européia. O aumento do contingente populacional advindo do incentivo à diversificação das atividades e serviços, e conseqüente concentração espacial da produção e da população, favoreceu ou promoveu a hierarquização das cidades (DEVESCAVI, 1987).

A produção cafeeira promoveu, ainda, a organização de uma concentração populacional nos centros urbanos, criando um mercado próprio nas cidades e um significativo excedente de mão-de-obra, ligada à gerência de capitais e à ocupação de áreas periféricas pela população do setor primário de produção.

FALCOSKI (1988) chama a atenção para o fato de que a cidade de São Carlos inicia-se a partir da doação de terras por cafeicultores proprietários de grandes áreas. A partir dessas doações, surgiu, em 1856, a cidade de São Carlos, entre as ruas Episcopal, a av. São Carlos e a rua Conde do Pinhal, área próxima ao Córrego do Gregório, que deu início ao processo de formação e de expansão da malha urbana. O núcleo urbano foi elevado à categoria de município em 1880.

A expansão do núcleo urbano, deu-se de forma linear, com uma configuração urbana reticular-ortogonal (tabuleiro de xadrez), tendo como eixo de expansão a direção norte-sul, favorecida pela localização da Estação Ferroviária e a implantação do transporte por bondes elétricos em 1914, fatores indutores da localização nessas regiões

de moradias de operários. Esse setor da cidade passou a ser adensado por loteamentos sob um modelo de ocupação espontâneo. Até o início do século XX a cidade de São Carlos tinha sua população constituída principalmente pela burguesia agrária, comerciantes, profissionais liberais e pequenos proprietários rurais.

O período de 1920 a 1940, que marcou, segundo DEVESCOVI (1987), a segunda fase de desenvolvimento da cidade de São Carlos, mostra a transição entre a cafeicultura e a industrialização. Nesse período a cidade de São Carlos assistiu a um movimento populacional migratório das áreas rurais para as urbanas, em busca de melhores condições de trabalho, face a inserção da indústria e a crise na produção cafeeira.

Com a perda da importância da ferrovia em virtude da crise do café, e com o crescimento da indústria margeando as rodovias, a região passou a ser o veio indutor da expansão urbana, fazendo crescer a ocupação do setor sul da cidade e de áreas do setor norte, onde instalaram-se os primeiros bolsões industriais (FALCOSKI, 1988).

Essa fase de expansão desordenada do espaço urbano, foi marcada pela ausência da participação do poder público local no direcionamento de normas para o uso e ocupação do solo urbano, o que culminou nos processos de segregação espacial urbana, evidenciados pela formação de “zonas” residenciais de operários, localizadas sobretudo no setor sul da cidade, onde se formaram cortiços; e no setor oeste e leste, ladeando a zona central, fixou-se a população de alta renda.

A partir de 1940, a Federação passou a interferir, de maneira marcante, nas ações de ordenamento das atividades territoriais em âmbito nacional, com a inserção de mecanismos reguladores do processo de redirecionamento de ocupação do solo urbano e rural. Com o parcelamento da terra, houve então, a divisão de terras rurais e suburbanas, que deu subsídios para a efetivação do processo de periferização da expansão urbana e intensificação da segregação sócio-espacial. Esse período passou a ser entendido, segundo DEVESCOVI (1987), como o início da terceira etapa de desenvolvimento urbano de São Carlos.

O período de 1950 a 1970, com a entrada do capital estrangeiro no país e políticas de incentivo a indústria e desenvolvimento urbano, intensificou-se na

cidade de São Carlos, ao longo da av. Getúlio Vargas a ocupação por loteamentos clandestinos, em virtude da implantação de indústrias nessa região, dada sua proximidade da rodovia. Esse processo mostra a descontinuidade da expansão em relação à malha urbana pré existente (DEVESCOVI, op. cit.).

FALCOSKI (1988) salienta que, só a partir da década de 70, é que a Prefeitura Municipal promoveu à elaboração do Plano Diretor Municipal, buscando regularizar loteamentos clandestinos, dotando-os de melhoramentos urbanos e infra-estrutura básica.

Em 1979 alicerçados na Legislação Federal que dita sobre o parcelamento do solo urbano lei de n. 6766 de 19.12. 1979, a lei 6871 de 01.12.1971 sobre o zoneamento do uso do solo e a lei n. 6910 sobre execução e edificações, é realizado o zoneamento urbano do município de São Carlos. FALCOSKI (1997) considera que esse zoneamento apresenta um caráter insuficiente e inadequado dividindo aleatoriamente a cidade em três áreas de expansão urbana, fato que vem a agravar a relação desigual e diametralmente oposta entre centro-periferia. A primeira linha de expansão passa a ser delimitada na área central da cidade onde observa-se um processo acelerado de implantação de edifício, a segunda área é ocupada por loteamentos (área intersticial) e a terceira compreende área periféricas sendo ocupadas progressivamente por conjuntos residenciais públicos.

O autor (op. cit.) considera que o processo de expansão da malha urbana, no município de São Carlos, apresenta conseqüências visíveis no espaço urbano, tais como: a falta de espaços para recreação; zoneamento estanque e pouco diversificado; existência de áreas ociosas; praças e espaços públicos pouco valorizados, e, em muitos casos, mal localizados no tecido urbano; áreas residenciais com índices de ocupação inadequados, considerando, a densidade, os tipos, as dimensões e proporções de lotes ocupados e a maximização da expansão da área pavimentada pela ausência de critérios de favoreçam a ampliação de áreas permeáveis.

Para AGUIAR (1989), a expansão da cidade de São Carlos, se intensifica em direção ao setor leste do município, apesar do obstáculo representado pela Rodovia Washington Luiz, pois de acordo com os funcionários da Prefeitura Municipal já foram aprovados novos loteamentos para o mencionado setor.



## **6. ESTUDO DE CASO: BACIA DO CÓRREGO DO GREGÓRIO - SÃO CARLOS -SP.**

### **6.1 *Localização e Caracterização da Área de Estudo :***

A bacia do Córrego do Gregório com 19.000km<sup>2</sup> encontra-se totalmente posicionada no município de São Carlos, compreendendo o setor central da cidade e parte do rural. A área mais urbanizada da bacia corresponde ao setor oeste, apresentando os maiores índices de impermeabilização e os maiores problemas quanto aos freqüentes processos de inundações. O setor leste da bacia, onde se encontram posicionadas as cabeceiras do referido Córrego, apresenta um uso preferencialmente rural, embora figure como aquele de maior tendência para expansão urbana da cidade.

A área de estudo, neste trabalho, abrange um setor de 15.000 km<sup>2</sup> da bacia do Córrego do Gregório, que compreende ao alto e médio curso do córrego, situado a leste da avenida São Carlos, incluindo setores da área rural, e tendo como exutório a seção próxima ao mercado municipal (figura 13).

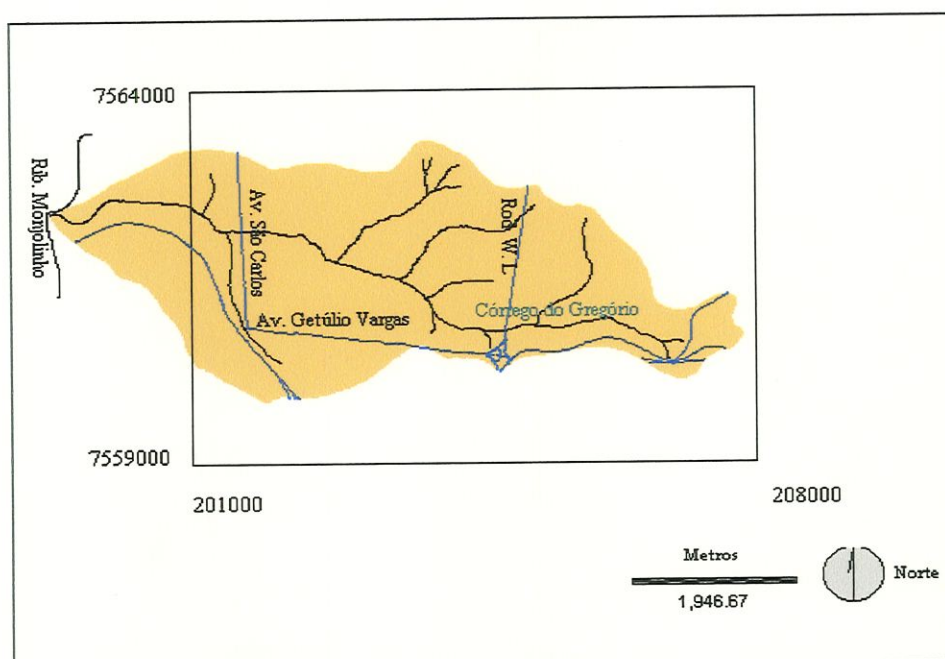


Figura 13: Localização da Área de Estudo

Trata-se de uma área posicionada, altimetricamente, entre 775 e 944 metros, e mostra crescente processo de urbanização, encontrando-se parcialmente impermeabilizada em função da pavimentação asfáltica e das edificações.

Esse setor da bacia apresenta problemas graves de inundações, dado o uso e ocupação do solo adotados, o que tem levado vários pesquisadores a estudar a hidrologia urbana da área como, MACHADO (1981), que desenvolveu um modelo hidrológico determinístico distribuído, aplicado a bacias urbanas para simulação de hidrogramas de cheia e eventos de chuva de alta intensidade e curta duração. O modelo foi calibrado e testado na bacia do Córrego do Gregório, no setor do mercado municipal, considerando dados hidrológicos e das condições de urbanização de 1980.

A aplicação do modelo na área da bacia do Gregório mostrou-se satisfatória, e capaz de simular o volume total, o deflúvio de pico, o tempo de deflúvio e forma do hidrograma.

Em 1991, BARBASSA aprimorou o modelo desenvolvido por MACHADO (1981), introduzindo a linguagem de programação possível de ser utilizada em PC, inserindo, ainda, modificações conceituais na geração do escoamento em sub-bacias (permeáveis e impermeáveis), que proporcionava uma variação espacial automática da precipitação, desenvolvendo um programa que calcula a propagação em canais e galerias através do desenvolvimento completo das equações de *Saint Venant*.

O modelo aprimorado por BARBASSA (1991) foi aplicado na cidade de São Carlos, incluindo a bacia do Córrego do Gregório, mostrando-se eficiente sobretudo no que concerne à resposta dos hidrogramas em áreas distintas consideradas permeáveis e impermeáveis.

Mais recentemente, QUEIROZ (1996) desenvolveu trabalhos na bacia do Córrego do Gregório, utilizando-se da aplicação do modelo hidrológico aprimorado por BARBASSA (1991), com a inserção do Sistema de Informação Geográfica na simulação de novos cenários, e considerando para a bacia a variável hidrológica e o percentual de área urbanizada atual e futura.

Os resultados concluíram que o Sistema de Informação Geográfica, unido a um modelo hidrológico de drenagem urbana, permite melhor avaliar as interferências da urbanização sobre a geração do escoamento superficial, mostrando-se mais adequado para aplicação em planejamento urbano do que a utilização apenas do modelo hidrológico.

QUEIROZ (1996) realizou as simulações, considerando variações no percentual de área permeável. Tais variáveis levaram em conta a espacialização de alguns parâmetros do modelo dependentes da ocupação e uso do solo. Nesse sentido a autora (op. cit.) conclui que os parâmetros mais sensíveis durante as simulações foram a porcentagem de área permeável, a rugosidade da superfície e os níveis de infiltração, considerados nas simulações constantes para toda a bacia.

Tendo em vista o quadro problemático de inundações na bacia do Córrego do Gregório, já diagnosticados por estudos como os referidos anteriormente, este trabalho, considerando os atributos físico da paisagem vem contribuir para a discussão das alterações impostas ao meio físico em decorrência da ocupação antrópica, como meio de

promover a proposição de medidas mitigadoras para contenção de enchentes na área de estudo.

### 6.2 Atributos da Paisagem e Efeitos da Ação Antrópica

A carta topográfica relativa à área de estudo (figura 14) permite a identificação de cursos formadores e afluentes vinculados ao Córrego do Gregório. Dentre aqueles que compõem suas nascentes principais tem-se o curso fluvial, cujas cabeceiras encontram-se nos terrenos do Sítio Santa Maria, e aqueles cujo fluxo inicial encontra-se a montante do Sítio Cachimbo (figura 14).

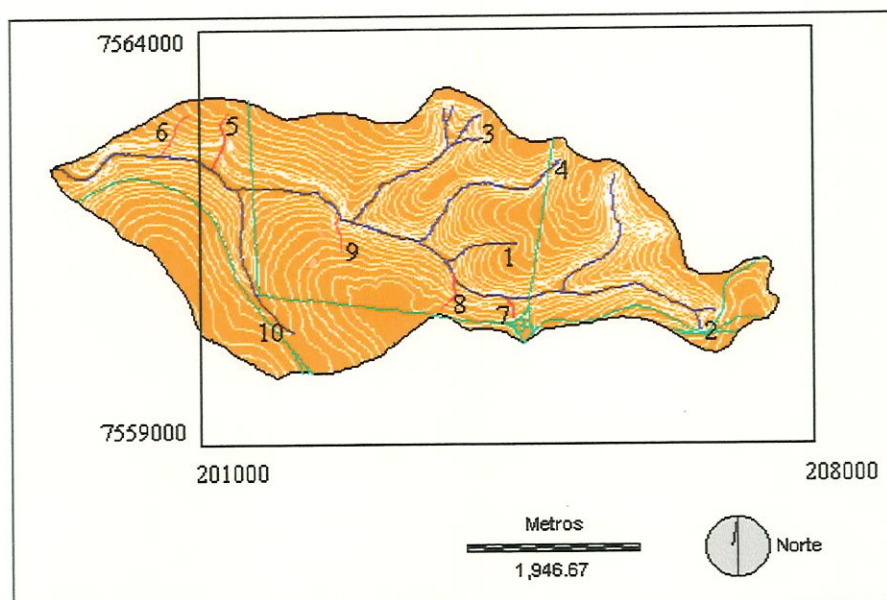


Figura 14: Representação digital da Carta Topográfica da Área de Estudo.

A partir daí o Córrego do Gregório recebe um primeiro afluente pela margem direita (figura 14), posicionado à direita da Emei Dr. João Batista Paim, sendo que o canal do médio e baixo curso desse afluente corresponde, grosso modo, à rua Tia Caruso<sup>1</sup>. Em seguida tem-se outro afluente, o Córrego Invernada<sup>2</sup>, cujas nascentes encontram-se posicionadas na mesma direção da rua José Cerri, ou seja, no sentido E-W (figura 14). Ainda no alto curso, o referido córrego muda de direção, passando a fluir de

NE - SW, estando, à sua margem direita, as ruas João Batista de Sale, Pastor Cyrus Bassett, Av. José Ferro, e a Rua Antonio Sacramento, onde, logo após, conflui com o Córrego do Gregório. O Córrego do Lazarini<sup>3</sup> tem suas nascentes posicionadas entre a rua do Parque, à esquerda, e o Hotel Fazenda São Carlos à direita (figura 14). Fora da área de estudo há dois afluentes que podem ser identificados pela forma côncava como se apresentam as curvas de nível nos setores a eles vinculados. Convém ressaltar que tal forma é indicativa da presença de setores de concentração de água.

O primeiro deles tem as nascentes situadas entre a av. São Carlos e a Rua Episcopal<sup>5</sup>, o médio curso posiciona-se no meio do quarteirão, entre as ruas Nove de Julho e José Bonifácio, e o seu baixo curso no entroncamento das ruas Aquidabã com a rua Major José Inácio. O segundo<sup>6</sup>, de menor extensão, tem as nascentes entre as ruas Capitão Adão Cabral e a Major Júlio Sales, confluindo com o Córrego do Gregório na altura do Asilo Maria Jacinto.

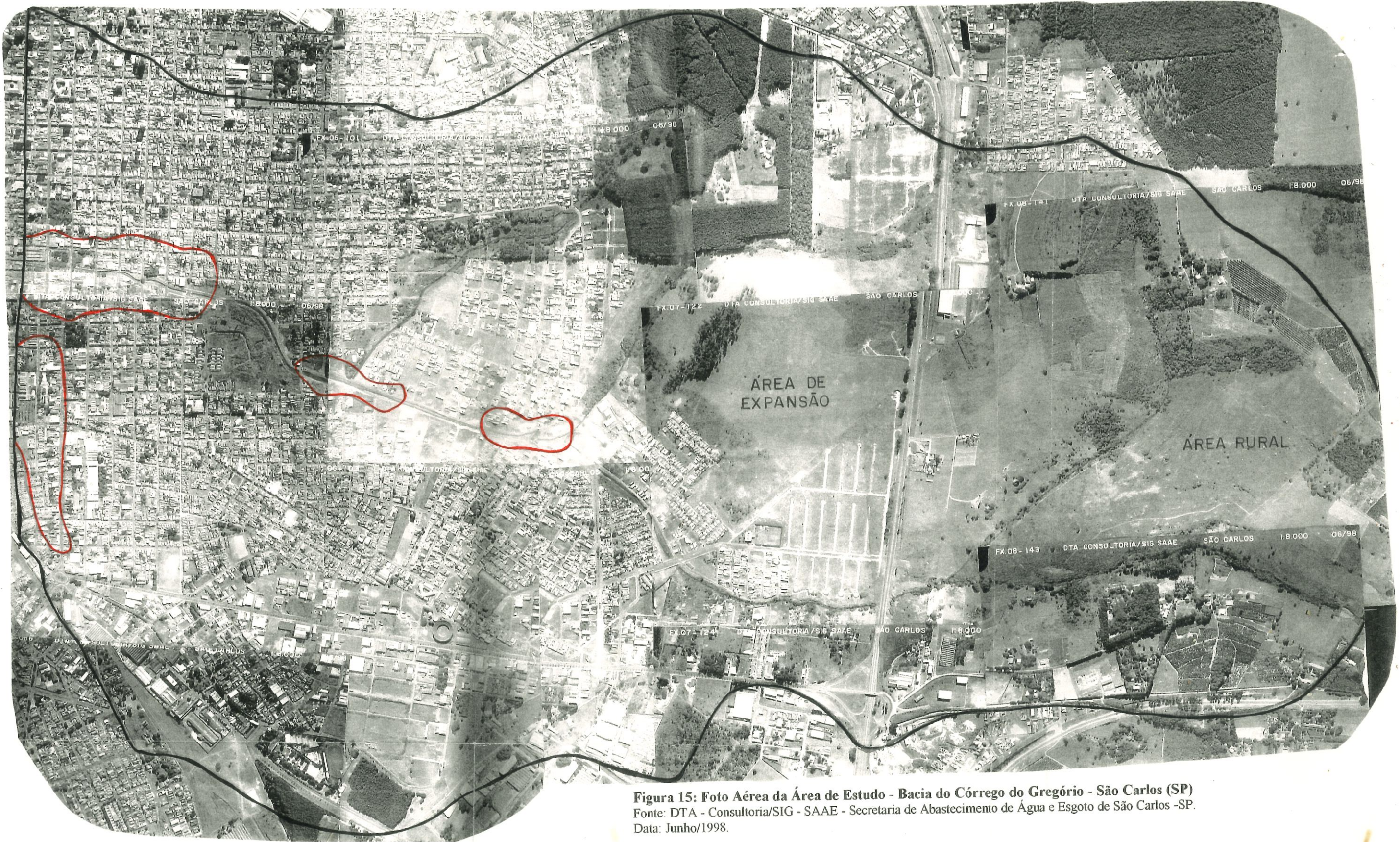
Na margem esquerda observa-se, após a confluência dos formadores do Córrego do Gregório, (figura 14), aproximadamente no lado esquerdo da Rodovia Washington Luiz, sentido Capital Interior, um pequeno setor com topografia indicativa de concentração de águas, cujas cabeceiras estariam um pouco a jusante da Av. Getúlio Vargas, tendo seu baixo curso posicionado ao lado direito da Av. Gregório Aversa (sentido via Washington Luiz -Centro)<sup>7</sup>.

Outra área concentradora de águas tem as cabeceiras na rua Pedro Bianck, atravessando a rua Germiniano Fher Junior<sup>8</sup>. Mais a jusante há evidências de outro curso fluvial, que se inicia na rua Eneas Camargo, entre as ruas Marcolino Lopes Barreto e Major Manoel Antonio Matos<sup>9</sup>. A confluência desses três cursos localiza em setores, cuja topografia indica a ocorrência de terraços e/ou várzeas fluviais.



O maior dos afluentes da margem direita encontra-se no sentido S-N, do lado direito da Av. São Carlos, estando suas cabeceiras em terrenos posicionados na empresa Sincon Ltda e a rua Coronel José Augusto, estendendo-se até, aproximadamente, a esquerda da rua Episcopal com confluência no cruzamento das ruas Germiniano e Episcopal<sup>10</sup>. Pela distribuição dos bueiros, acredita-se que a drenagem subterrânea encontra-se deslocada para a direita do curso original, coincidindo com a Av. São Carlos.

A análise da figura 15, permite afirmar que o processo de implantação da malha urbana de São Carlos provocou não apenas a alteração do curso fluvial principal do Córrego do Gregório, mas também a dos seus afluentes. Além disso, a Paisagem Natural da Bacia do Córrego do Gregório apresenta poucos afluentes, sendo 6 na margem direita e 4 na margem esquerda (figura 14).





**Figura 15: Foto Aérea da Área de Estudo - Bacia do Córrego do Gregório - São Carlos (SP)**  
Fonte: DTA - Consultoria/SIG - SAAE - Secretaria de Abastecimento de Água e Esgoto de São Carlos -SP.  
Data: Junho/1998.

-  : áreas de inundação
-  : limite da área de estudo.

Organização: Regina Célia de Oliveira

Orientação: Prof. Dr. Marcelo Pereira de Souza.

↑ N  
Escala: 1: 16.000



Figura 15: Foto Aérea da Área de Estudo – Bacia do Córrego do Gregório- São Carlos- SP.



Ao estabelecer-se a correlação entre as alterações dos cursos fluviais e as características litológicas e pedológicas (figuras 10 e 11) inerentes à área da bacia, conclui-se que as precipitações pluviométricas têm, naturalmente, facilidade de percolar as litologias areno-argilasas vinculadas à Formações Marília e às Areias Quartzosas originadas do retrabalhamento do arenito Botucatu.

Embora predominem nos topos e vertentes dos interflúvios as baixas classes de declividade (figura 16), nos fundos dos vales ocorrem declividades acentuadas. Essas características, aliadas a uma amplitude altimétrica superior a 200 metros (figura 12) fazem com que as águas atinjam rapidamente o nível impermeável representado pelas litologias vulcânicas relacionadas à Formação Serra Geral. A água vinculada ao fluxo superficial, somada ao fluvial, em função da retificação que se processou em setores ao longo do curso do Córrego do Gregório, propicia o deslocamento mais rápido da massa líquida.

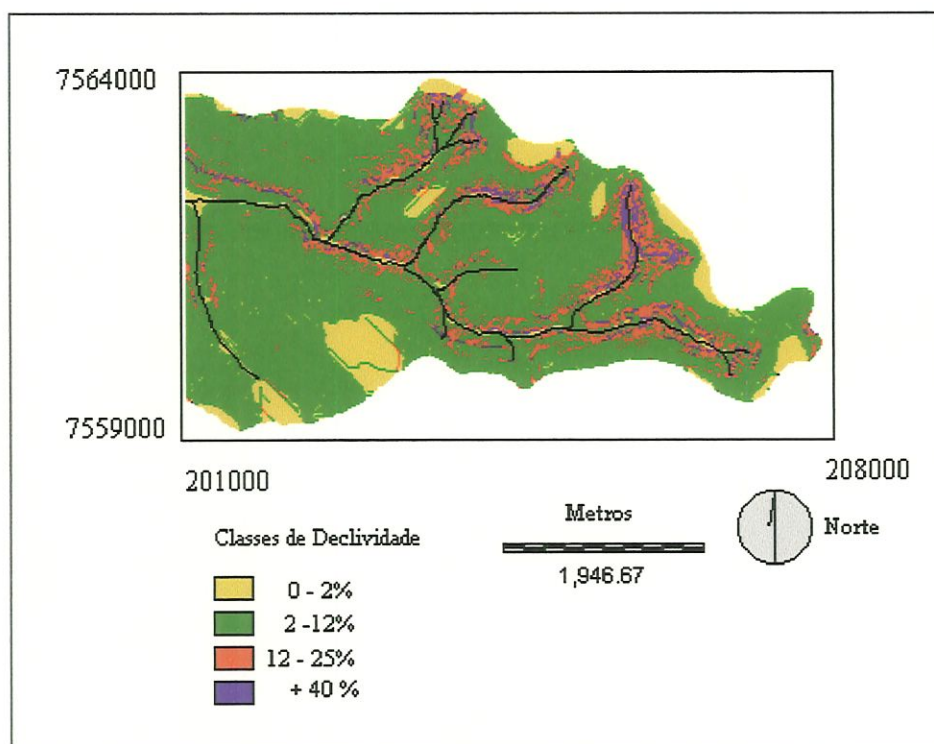


Figura 16: Intervalos de declividade da Área de Estudo

Em decorrência de tais características, além da facilidade com que se processa o escoamento subsuperficial no contexto das formações de textura areno a areno-argilosa, no contato destas com as litologias do basalto da Formação Serra Geral, estabelece-se um nível de fluxo subsuperficial mais dinâmico. Tais características, aliadas a um regime climático que alterna períodos secos e chuvosos (tab. 2), indicam a ocorrência de fatores favoráveis à instalação de formas de erosão linear acelerada ou vossorocas.

<b>MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS MENSAIS DO MUNIC. DE SÃO CARLOS - SP</b>	
<b>PERÍODO: 1981 – 1998.</b>	
<b>Meses</b>	<b>Média/mm</b>
Janeiro	266,4 mm *
Fevereiro	213,8 mm *
Março	182,5 mm *
Abril	97,4 mm
Maiο	79,4 mm
Junho	42,2 mm
Julho	28,5 mm
Agosto	30,5 mm
Setembro	67,9 mm
Outubro	134,3 mm *
Novembro	157,7 mm *
Dezembro	254,9 mm *

\* maiores índices pluviométricos.

Tabela 2: Médias Pluviométricas Mensais do Município de São Carlos -SP. (1981-1998).  
Fonte: SAAE - Secretaria de Abastecimento de Água e Esgoto - São Carlos (SP)

Convém ressaltar que predominam, na área, condições propícias para uma boa drenagem da água de subsuperfície que, ao promover o carreamento de sedimentos, põe em risco a estabilidade, quer de edifícios ou residências, quer de galerias que estejam sobre elas apoiadas.

A análise da figura 15 permite constatar áreas de ocorrência de inundações localizadas em setores, onde o Córrego do Gregório foi submetido a mudanças drásticas no seu curso.

Em 1996, QUEIROZ apresentou o mapa de Uso do Solo da Alta e Média Bacia do Córrego do Gregório (figura 17) sobre o qual traçou-se a rede de drenagem. De acordo com a autora (op. cit.), a Bacia do Córrego do Gregório encontra-se ocupada, preferencialmente, pela categoria uso urbano, que corresponde a mais da metade da área da bacia, mapeada como área residencial e comercial, industrial, de praças e jardins e, ainda, áreas não ocupadas (figura 17). Embora dentro dos limites de expansão urbana, a área a oeste da bacia recebe a denominação de área rural, ocupada preferencialmente por pequenas chácaras e sítios, com predominância de pastagens e novos loteamentos.

Para GONÇALVES (1986), setor rural da bacia é palco de ocorrência de sérios problemas de erosão laminar, recomendando-se para ele o uso contínuo de práticas intensivas de conservação, que não podem ser utilizadas continuamente com culturas anuais. O uso de pastagens seria mais apropriado, embora recomende a prática de culturas perenes, como as do café, da laranja e das leguminosas que proporcionam uma maior proteção ao solo.

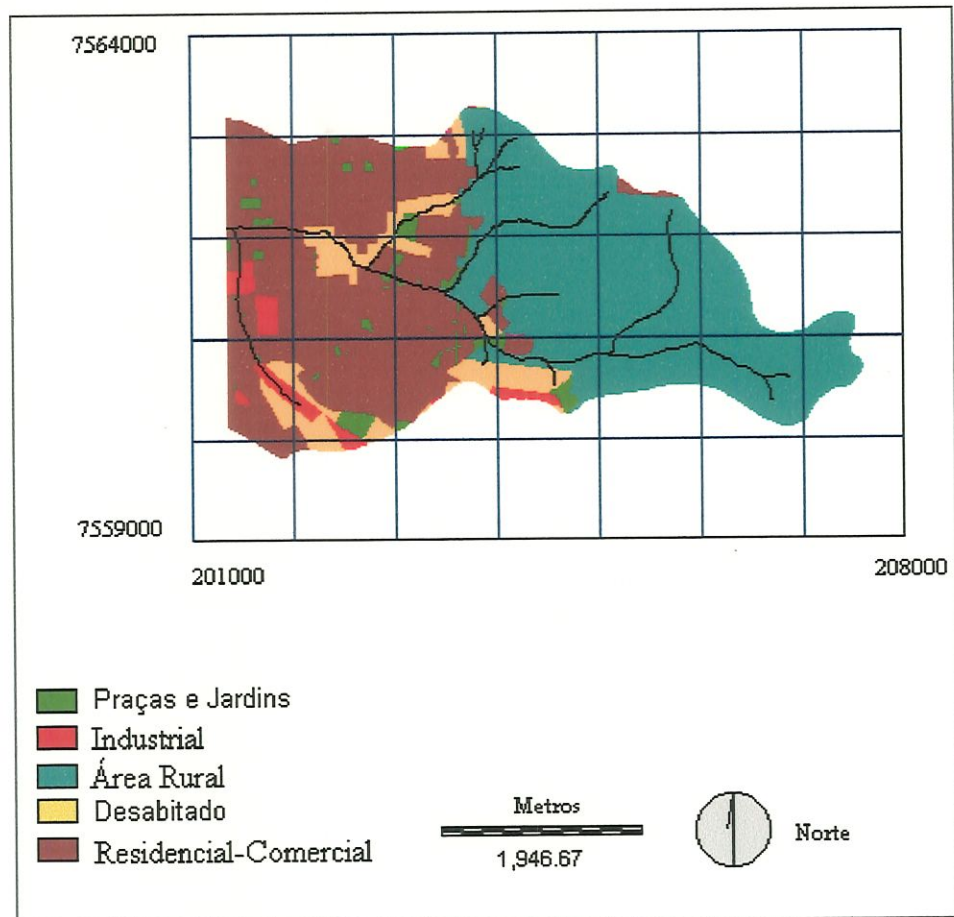


Figura 17: Categorias de Uso do Solo e rede de Drenagem da Área de Estudo.  
 Fonte: Adaptado de QUEIROZ, E. (1996).

A análise da figura 17 que corresponde ao mapa de uso do solo da área de pesquisa, elaborado por QUEIROZ (1996) evidencia tipos distintos de uso: parte da bacia ocupada pela urbanização apresentando progressivos índices de impermeabilização; outro setor apresenta um uso predominantemente rural. Para essa área da bacia tem-se discutido a progressiva aprovação de projetos de loteamentos de casas populares, o que permite aventar que, em pouco tempo, esse setor estará apresentando as mesmas características do setor urbanizado com sensível agravamento da problemática das enchentes.

Através de trabalhos de fotoleitura e observações decorrentes da realização de trabalhos de campo na área da pesquisa, constatou-se que 58,8% da área estudada



encontra-se ocupada pela urbanização, (gráfico 1). Somam-se a estes, 15,8% vinculados à zona de expansão urbana, em que já se observam loteamentos em fase inicial de implantação. Os outros 25,26% da área é ocupada pela atividade rural (figura 15).

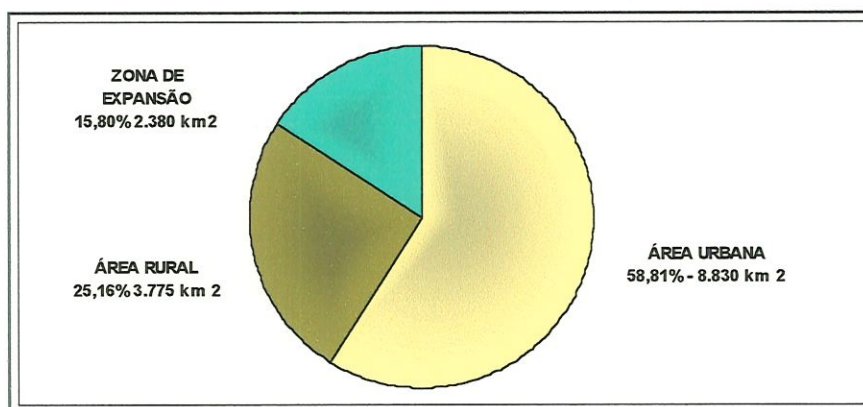


Gráfico 1: Distribuição Percentual do Uso e Ocupação do Solo da Área de Estudo.

Uma análise mais detalhada, mostra que o setor de expansão urbana, que compreende parte da área da bacia, apresenta 22,80% de áreas consideradas impermeabilizadas por estarem ligadas a loteamentos, construções, etc (gráfico 2). As áreas verdes ocupando 6,75% do total estão vinculadas à presença de silvicultura e mata ciliar, enquanto em 70,40% delas constata-se a ocupação por pasto degradado e atividades agrícolas (gráfico 2), representadas por uma mancha de cultivo de café.

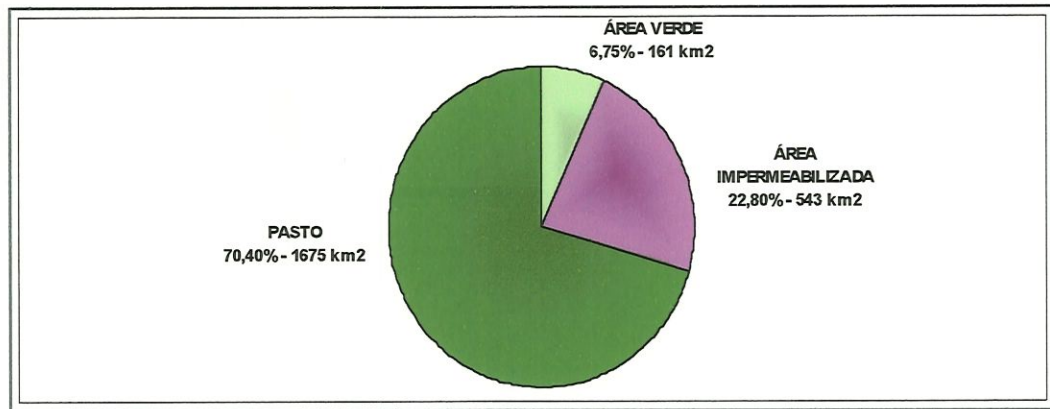


Gráfico2: Características Percentuais da Zona de Expansão Urbana da Área de Estudo.

Convém ressaltar que o fato de 70,40% da área serem ocupados por pastagens constitui-se, a priori, em aspecto positivo quanto à minimização do escoamento superficial. De acordo com MENDES (1993), as pastagens vão apresentar rugosidades, intrinsecamente vinculadas às características das gramíneas. Esses vegetais se caracterizam por produzir de 500 a 2000 hastes por m<sup>2</sup>, possibilitando o recobrimento quase total do solo. Cada tufo de hastes é sustentado por um sistema radicular abundante, composto de raízes finas, geralmente profundas e que se ramificam intensamente em subsuperfície prendendo as partículas de solo ali localizadas. De acordo com a autora (op. cit) as rugosidades atuam no terreno, superficial e subsuperficialmente como micro barragens, enfraquecendo a energia do fluxo e retardando o movimento da água de escoamento, o que favorece ao processo de infiltração.

Entretanto, dos estudos realizados na região de Araçatuba-SP, MENDES (1993) concluiu-se que a gramínea só é eficiente para conter o escoamento da água que se precipita sobre ela, mas não resiste aos *inputs* de matéria e energia de áreas circunvizinhas. A autora (op. cit.), esclarece que constatação similar foi efetuada pelo agrônomo Jorge Mazuchowski ao estudar a dinâmica dos processos erosivos em pastagens localizadas em áreas periurbanas do estado do Paraná.

Ao se estabelecer uma correlação entre a experiência relatada por MENDES (1993) e as áreas de pastagens observadas na bacia do Córrego do Gregório, constata-se

que a maior parte destas correspondem a pastos degradados, o que torna evidente pela ocorrência de espaçamentos entre os tufo de gramíneas (figura 15). Essa fragilidade é agravada pelo fato destes pastos encontrarem-se rodeados por setores urbanizados, ou já loteados; ou por pequenas áreas cultivadas, onde não se observa a utilização de técnicas conservacionistas. As características das áreas que compõem o entorno das pastagens evidenciam a ocorrência de grande *input* de energia delas oriundas, o que mostra o enfraquecimento da capacidade de as gramíneas reterem, eficientemente, o fluxo pluvial responsável pela erosão laminar.

No que concerne à ocupação urbana da área, constatou-se que, dos 8.830 km<sup>2</sup> vinculados a tal tipo de ocupação, 69,60% estão relacionados a áreas impermeáveis, em função de os terrenos encontrarem-se recobertos por edificações, ruas pavimentadas e/ou asfaltadas. Convém ressaltar que 90% dessas ruas estão revestidas por camada asfáltica, o que propicia uma maior impermeabilização da superfície e, portanto, a intensificação da dinâmica plúvio-erosiva, vinculada ao escoamento superficial (gráfico 1 e figura 15).

Os setores classificados como vazios correspondem a uma área de 18,80% (gráfico 2) estão loteados com diferenciados estágios de ocupação. Os mencionados setores vazios no contexto das áreas urbanizadas, resultam de desmatamentos e trabalhos de terraplanagem. Durante esses trabalhos, as máquinas removem a camada superficial do solo, normalmente a mais rica em húmus e/ou substâncias cimentantes, e deixam à mercê dos agentes intempéricos, aquelas partes do solo menos consolidadas. Nesses setores da área urbana, como já foi observado, há uma dinamização do escoamento superficial, cujo grau de conseqüências nefastas ao ambiente depende da intensidade e duração das chuvas. As precipitações pluviométricas com grande energia, ao encontrarem os solos desprotegidos da cobertura vegetal e/ou de substâncias cimentantes, vão acentuar a ação erosiva, podendo provocar o aparecimento de sulcos e ravinas provocando, conseqüentemente, um acentuado deslocamento de sedimentos para as galerias (macro - e microdrenagem) e fundo do vale (foto 1 e 2).





Foto 1: Assoreamento do trecho canalizado do Córrego do Gregório, onde pode ser identificado a granulometria fina do material depositado, indicando constituir-se em material mobilizado da própria bacia.

(Foto da Autora - 1999)





Foto 2: Assoreamento do trecho não canalizado do Córrego do Gregório, onde se observa sedimentos grasseiros indicando tratar-se de material alóctone.

(Foto da Autora - 1999)

A área com vegetação, ou seja, aquela ocupada por parques, jardins e arborização ao longo das pistas de rolamento, ocupa 11,50% da área urbana do setor estudado (gráfico 3).

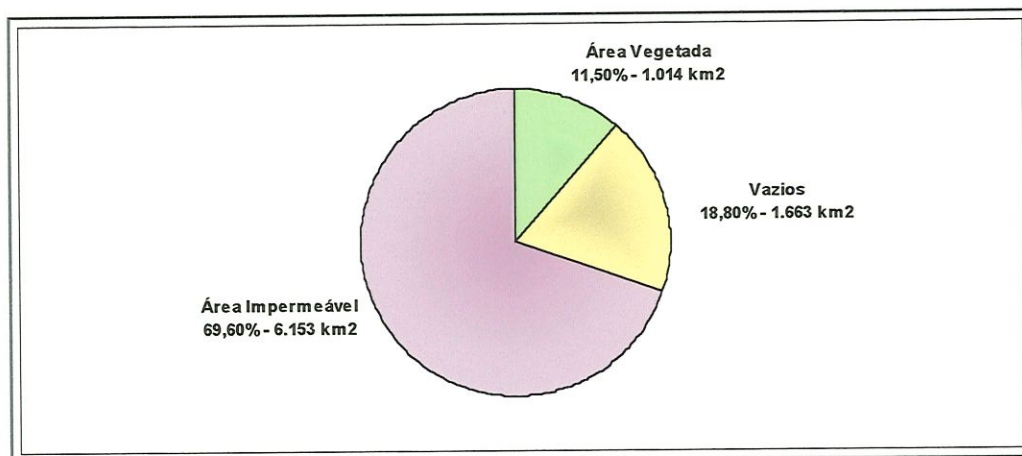


Gráfico 3: Características Percentuais da área urbana da Área de Estudo.

A análise da figura 15 permite a constatação de que são raros os bairros vinculados à bacia do Córrego do Gregório que não apresentam manchas características da presença de cobertura vegetal. O fato, que se relaciona, a rugosidade do terreno, constitui-se teoricamente, elemento minimizador dos processos de inundação na área da bacia. No entanto, estabelecendo-se uma correlação entre as manchas de áreas verdes e os pontos críticos de cheias na bacia do Córrego do Gregório (figura 18), constata-se que não há uma relação direta entre a diminuição de áreas verdes e a ocorrência dos setores de inundação observados.



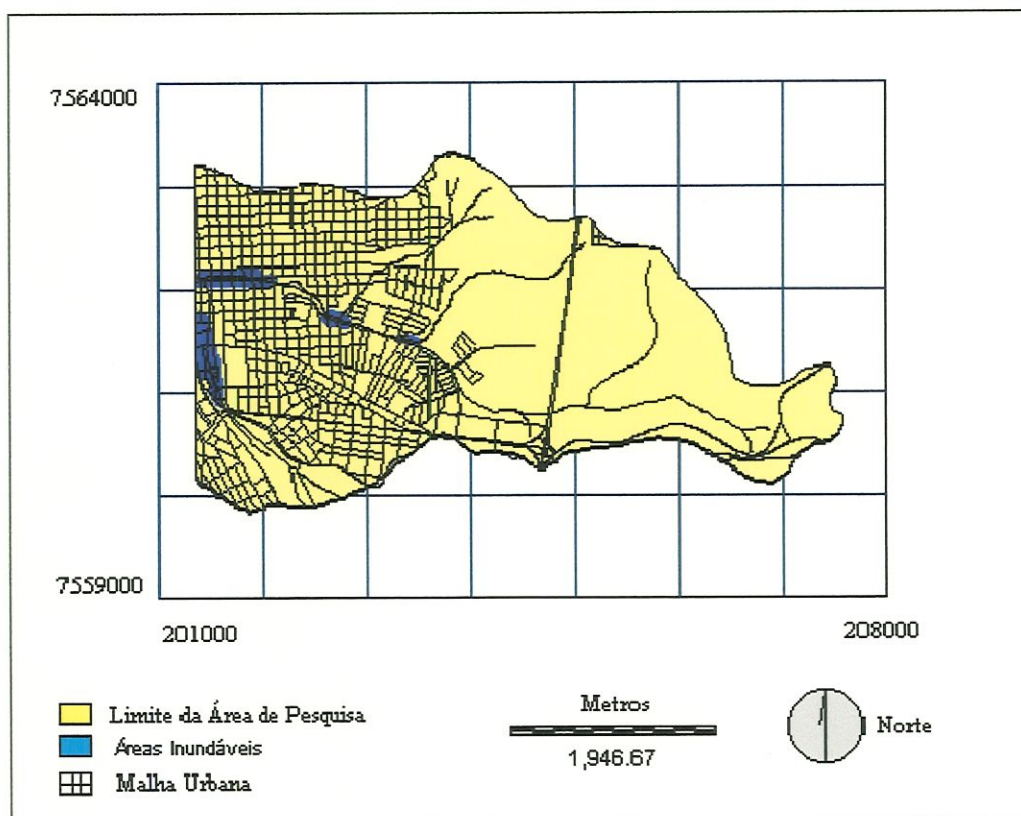


Figura 18: Áreas de ocorrência de inundações na Área de Estudo.

Outros aspectos a serem analisados, especialmente no setor urbanizado da bacia, são os efeitos dos escoamentos superficial e subsuperficial.

A água que escoar em superfície, á semelhança daquela que escoar em subsuperfície, também carrear sedimentos vinculados aos topos e vertentes dos interflúvios da Bacia do Córrego do Gregório. Ao chegar ao fundo do vale, o fluxo também retira sedimentos que sustentam a camada asfáltica que recobre as avenidas nele posicionadas, promovendo nelas rachaduras e abatimentos. Tais águas, ao entrarem em contato com o talude que margeia o canal do córrego, promovem abatimentos da sua superfície (foto 3), nitidamente identificáveis a partir das rupturas topográficas existentes nos locais (foto 4).





Foto 3: Abatimento do talude do Córrego do Gregório em seu setor não canalizado.  
(Foto da Autora - 1999).



Foto 4: Ruptura topográfica indicativa do abatimento de uma parte do talude em relação a outra.

(Foto da Autora - 1999)

A ação do escoamento subsuperficial, em conjunto com o escoamento superficial, força para jusante, ou seja, para o talvegue fluvial, os sedimentos que compõem os taludes, estabelecendo formas de erosão no contato da pista de rolamento com a parte superior dos referidos talude. Após a fase inicial, a forma erosiva evolui, estimulada pela resistência diferenciada imposta pelo asfalto e pelos sedimentos do escoamento pluvial (foto 5). A tendência à erosão, nos taludes, pode ser observada mesmo em setores do canal, onde já existem obras de contenção.





Foto 5: Forma erosiva decorrente da ação do escoamento pluvial e subsuperficial.  
(Foto da Autora - 1999).

A pressão exercida pelos sedimentos carreados pelas águas subsuperficiais provoca a deformação do talude fluvial, dando origem a superfícies convexas. A deformação se manifesta tanto em setores em que a parte inferior do talude é contida por gabiões, (foto 6) quanto em setores onde asfalto e/ou calçadas conectam-se diretamente com os arrimos, (foto 7).



Foto 6: Abaulamento de obras de contenção causado pela pressão de fluxos de sedimentos vinculados a dinâmica pluvial.  
(Foto da Autora - 1999).





Foto 7: Abaulamento de obras de contenção em trechos onde não se observa a exposição de sedimentos, indicando a ação predominante do escoamento subsuperficial. (Foto da Autora - 1999)

O deslocamento dos materiais que compõem os taludes está relacionado a dois aspectos que podem agir separada ou concomitantemente:

O primeiro vincula-se ao escoamento subsuperficial. Neste caso, se não houver nenhuma contenção exercida por arrimos, a pressão efetuada pelo fluxo do escoamento subsuperficial, ao atuar sobre os sedimentos do talude, pode desbarrancá-lo, (foto 8).





Foto 8 : Desbarrancamento do talude em setor não canalizado do Córrego do Gregório, por ação de processos de escoamento superficial e subsuperficial.

Fonte: Jornal A Tribuna (São Carlos) - Edição - 10/dez/1998

Este material desbarrancado, somado aos carregados pelo fluxo fluvial e pelos que chegam ao canal através da ação do escoamento pluvial superficial e/ou subsuperficial vai assorear o fundo do vale, (foto 9 e 10).





Foto 9: Aspecto do fluxo do canal do Córrego do Gregório, destacando-se, no lado direito um material de antigo assoreamento provocando o estreitamento do canal. (Foto da Autora - 1999).



Foto 10: Aspecto do assoreamento do canal do Córrego do Gregório por material utilizado em obras de contenção de erosão.  
( Foto da Autora - 1999)

O assoreamento, além estreitar o canal, provoca a redução da sua profundidade facilitando o extravasamento das águas que vão, a inundar trechos da área urbanizada (foto 11).



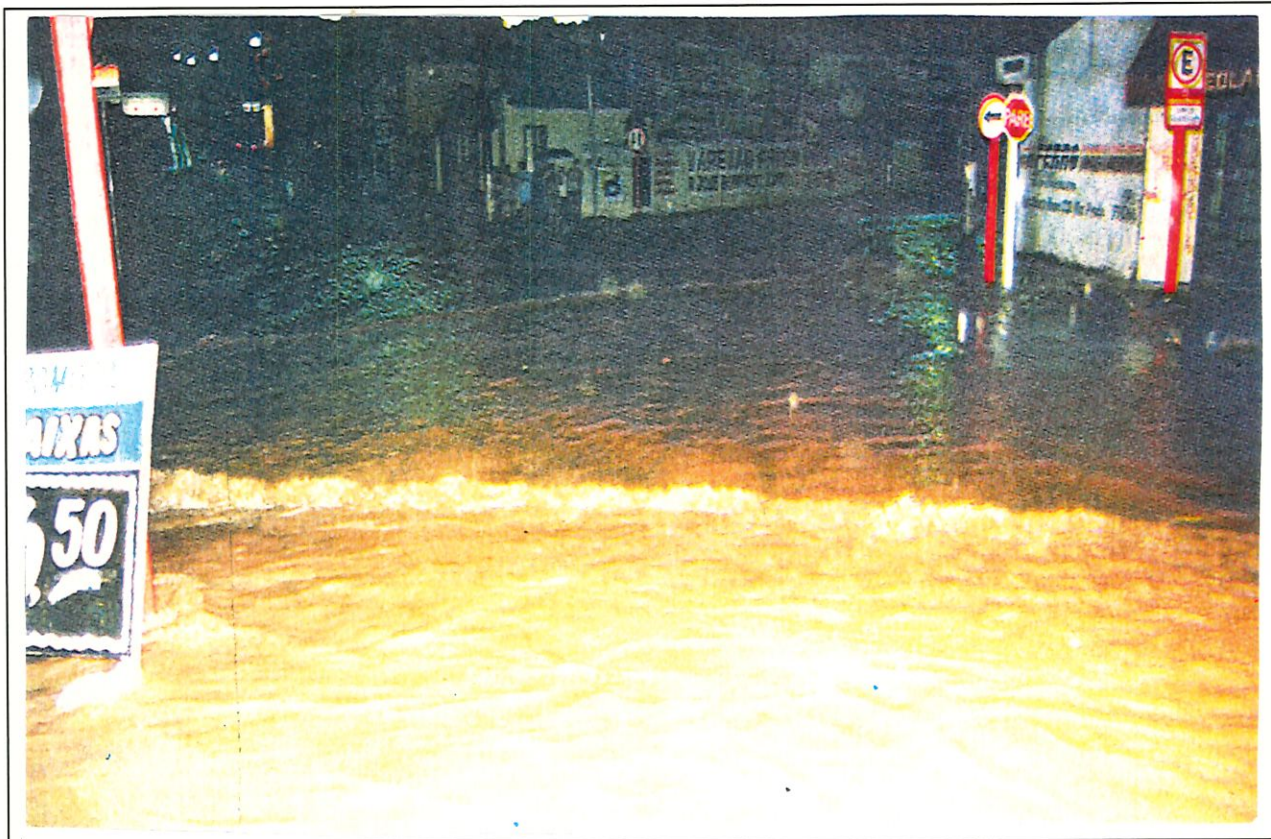


Foto 11: Trecho da rua central totalmente recoberta por águas decorrentes da inundação.  
Fonte: Fonte: Jornal A Tribuna (São Carlos) - Edição - 10/dez/1998

O segundo está vinculado à ação do fluxo fluvial em setores nos quais ocorrem maior descarga do escoamento subsuperficial. Apesar do baixo nível apresentado pelas águas do Córrego do Gregório durante o período das secas, a presença de lixo sobre a tubulação, apresentada na foto 12, dá idéia do nível alcançado pelo fluxo no período de cheias.



Foto 12: A presença de lixo sobre a tubulação como elemento indicativo do nível alcançado pelas enchentes.  
(Foto da Autora - 1999)

A ação conjunta de ambos (fluvial e pluvial, superficial e subsuperficial) termina por arrastar os sedimentos, deixando expostas as litologias mais resistentes, vinculadas aos basaltos da Formação Serra Geral, (foto 13).





Foto 13: Desbarrancamento do talude fluvial em área sem contenção, pela ação conjunta do escoamento pluvial e fluvial.  
(Foto da Autora - 1999).

Anualmente, as águas ultrapassam o nível das tubulações, espalhando-se pelas ruas circunvizinhas, provocando inundações, cujos danos se intensificam em função de os bueiros encontrarem-se destituídos de suas funções pela presença de lixo e entulho (foto 14).



Foto 14: Deficiências na coleta de lixo urbano impedem a funcionalidade dos bueiros.  
(Foto da Autora - 1999).

Apesar da implantação de medidas ao longo do córrego, como por exemplo a do uso de gabiões e muros de concreto para minimizar o deslocamento dos sedimentos dos taludes em direção ao curso fluvial, observam-se setores em que a técnica usada para a recomposição da morfologia dos taludes tem sido o simples preenchimento da área desbarrancada com material alóctone, heterométrico e granulométricamente grosseiro, (foto 15).





Foto 15: O inadequado preenchimento de áreas erodidas do talude do Córrego do Gregório. (Foto da Autora -1999).

Essa técnica não se tem mostrado eficaz, como é possível constatar pela ocorrência de setores do leito fluvial preenchidos por sedimentos de idênticas características às dos materiais alóctones, que foram, portanto, remobilizados de locais posicionados a montante da área assoreada, onde foi utilizado tais procedimentos para conter o desbarrancamento dos taludes, (foto 2). A ineficiência do procedimento adotado é plenamente justificada uma vez que a inconsistência e heterometria do material alóctone não impõem resistência ao fluxo fluvial, nem ao escoamento superficial e subsuperficial, pois é facilmente carregado pelas águas, acentuando o processo de diminuição da profundidade da lâmina d'água com conseqüente aumento da largura durante as cheias, o que propicia a manutenção de eventos de inundações no sítio urbano de São Carlos.



### **6.3 *Análise Correlativa dos Atributos da Paisagem como Instrumentos para a Proposição de Medidas Mitigadoras.***

Como foram apresentados nas figuras 15 e 18, são bem definidos os setores de ocorrência de enchentes na Bacia do Córrego do Gregório.

QUEIROZ (1996), em importante trabalho, que representou uma significativa contribuição para o planejamento urbano da Bacia do Córrego do Gregório, simulou cinco medidas de controle de enchentes, cujos os parâmetros adotados, bem como os resultados advindos delas, são representados sob a forma de hidrogramas.

Na primeira medida apresentada QUEIROZ (1996) propõe o aumento do índice de rugosidade, e conseqüente redução da velocidade do fluxo superficial e subsuperficial da água no solo, a partir da sugestão de que *seja considerado percentuais de áreas permeáveis em lotes de categoria residencial/comercial recobertas por gramíneas.*

Na medida dois a autora (op. cit.) busca propiciar o aumento do processo de infiltração ao propor a adoção de *pavimentos permeáveis em substituição a ruas pavimentadas e inclusão de áreas verdes em torno dos rios.*

Na terceira medida é *recomendada a preservação das características naturais dos canais sem que haja retificação e alteração de seu revestimento*, mantendo, assim, as condições de rugosidades naturais, sem impor maior velocidade ao fluxo.

Na medida quatro a autora (op. cit.) propõe *que seja aplicada a legislação ambiental, preservando-se uma faixa de no mínimo 30 metros de largura onde seja mantida a mata ciliar ao longo de todos os cursos fluviais.*

A implementação dessa última medida, propiciaria uma melhor sustentação das barrancas dos rios e a manutenção de ressurgência dos aquíferos. Convém alertar que os 30 metros recomendados pela legislação são considerados a partir do leito maior do fluxo fluvial (várzeas e terraços) e não a partir do leito normal, como freqüentemente é interpretado.

Na medida cinco QUEIROZ (1996) remete à legislação vigente, ao propor que *30% das áreas loteadas devam ser reservadas a espaços livres de uso público e que, dentre esses, 10% no mínimo, devam ser reservados para sistema de lazer.*

Nesse sentido, principalmente as áreas de lazer constituir-se-iam em áreas de aumento da rugosidade.

O estabelecimento de uma correlação entre as características naturais da bacia do Córrego do Gregório, seu estado atual de ocupação e as simulações efetuadas por QUEIROZ (1996), tornam-se necessárias algumas considerações:

Através da figura 15, que corresponde ao cenário apresentado pela área da bacia em 1998, constata-se que a maior parte da área encontra-se densamente urbanizada. A implantação de qualquer das medidas propostas por QUEIROZ (1996) envolve investimentos da administração municipal além de um intenso, bem planejado e implantado programa de educação ambiental junto a população para se manterem e/ou se implementarem em lotes residenciais e comerciais, um percentual significativo de recobrimento por vegetação de gramíneas. Um aspecto favorável desta alternativa é o incentivo fiscal àqueles que cumprirem tal proposição.

A recuperação e/ou implantação da vegetação ao longo dos cursos fluviais em áreas já ocupadas, envolveriam as mesmas questões mencionadas no item anterior. Como conscientizar a população e o poder público de que os fundos de vales; ao invés de constituírem-se em avenidas passem a ser ocupadas por áreas de lazer, instaladas em setores de mata de galeria? Como manter uma área verde de lazer ligada a um fluxo fluvial por vezes apresentando consideráveis níveis de poluição? Como recuperar os cursos afluentes se eles já não integram os elementos superficiais da paisagem, estando recobertos por ruas e/ou edificações comerciais e residenciais ?

A mesma dificuldade se impõe com relação à manutenção das características naturais dos canais. Tal medida exigiria a reconstrução das avenidas e ruas localizadas ao longo do Córrego do Gregório e seus dez afluentes.

A sugestão de se adotar pavimento permeável em substituição a pavimentos impermeáveis, é extremamente interessante, embora, com certeza, venha esbarrar nas necessidades de conforto e rapidez de deslocamento dos habitantes da cidade. Além disso

face as características litológicas e pedológicas da bacia, há que se ter em mente o equilíbrio na proporção de água vinculada ao processo de infiltração.

Considerando que a maior parte da área da bacia encontra-se ocupada e com índices consideráveis de impermeabilização, propõem-se que devam ser consideradas algumas medidas de âmbito geral tais como:

1. Estudo para toda a área da bacia de Zoneamento Ambiental, que contemple o Zoneamento de Áreas Inundáveis ou sujeitas à inundação, como fator deliberativo para a tomada de decisões frente   problemática das enchentes, como medida de disciplinamento de uso e ocupa o do solo em áreas ainda não ocupadas;

2. Desassoreamento periódico dos canais por dragagem e limpeza da macro- e microdrenagem e a adi o, na parte superior dos bueiros, de telas removíveis para reten o de materiais mais grosseiros;

3. Obras de fixa o de margens de córregos, seja por cobertura vegetal ou gabiões, considerando o fluxo de água de superfície e subsuperfície, prática que exige manuten o periódica;

4. Incentivo   preserva o de áreas verdes;

5. Planos de Educa o Ambiental firmados entre a Secretaria de Educa o e outras Secretarias como: as Secretarias de Saúde, Planejamento, Meio Ambiente e Defesa Civil da Prefeitura Municipal, com o intuito de tratar de questões como as da problemática do lixo lançado nas ruas e córregos da cidade; instru es sobre cuidados e medidas emergenciais a serem adotadas quando da ocorrência de enchentes. Esses planos devem prever palestras sobre temas específicos ou afins, folhetos e cartilhas explicativas, que atendam a toda a popula o.

6. Não ocupa o das áreas de Preserva o Permanente com vias marginais para veículos, mas com parques de uso público.

Amplia o da macrodrenagem como medida para promover a maior distribui o da carga de vazão lançada nos córregos receptores das águas pluviais..

Nos setores em que o Córrego do Gregório já se encontre retificado, promover o aumento da rugosidade no leito do canal através da adi o de pequenas barragens, provocando inunda es controladas e abatendo o pico de vazão das se es exut rias.

A implantação e/ou ampliação de áreas verdes nos topos dos interflúvios posicionados no perímetro da bacia e principalmente nas altas vertentes, como alternativa para aumentar a rugosidade na superfície. Há que se considerar, ainda, o plantio de árvores, com prioridade para os setores da cidade onde as ruas se encontrem posicionadas sobre curvas de nível côncavas, como meio de retardar a velocidade da água de escoamento superficial

Com base na análise da carta topográfica da bacia, considerando as características morfológicas e morfométricas do relevo bem como os padrões da rede de drenagem, e disponibilidade de áreas na bacia, propõem-se no contexto das medidas pontuais como alternativas indicativas:

A construção de pequenas barragens ao longo dos dois cursos formadores do Córrego do Gregório, sendo elas localizadas: no curso fluvial da margem direita da cabeceira, onde já existe uma represa<sup>1</sup>; e outra construção de uma pequena barragem na confluência de dois tributários da margem direita do Córrego do Gregório, que têm suas nascentes em terrenos posicionados no Sítio São Rafael e Sítio Cachimbo<sup>2</sup> (figura 19).

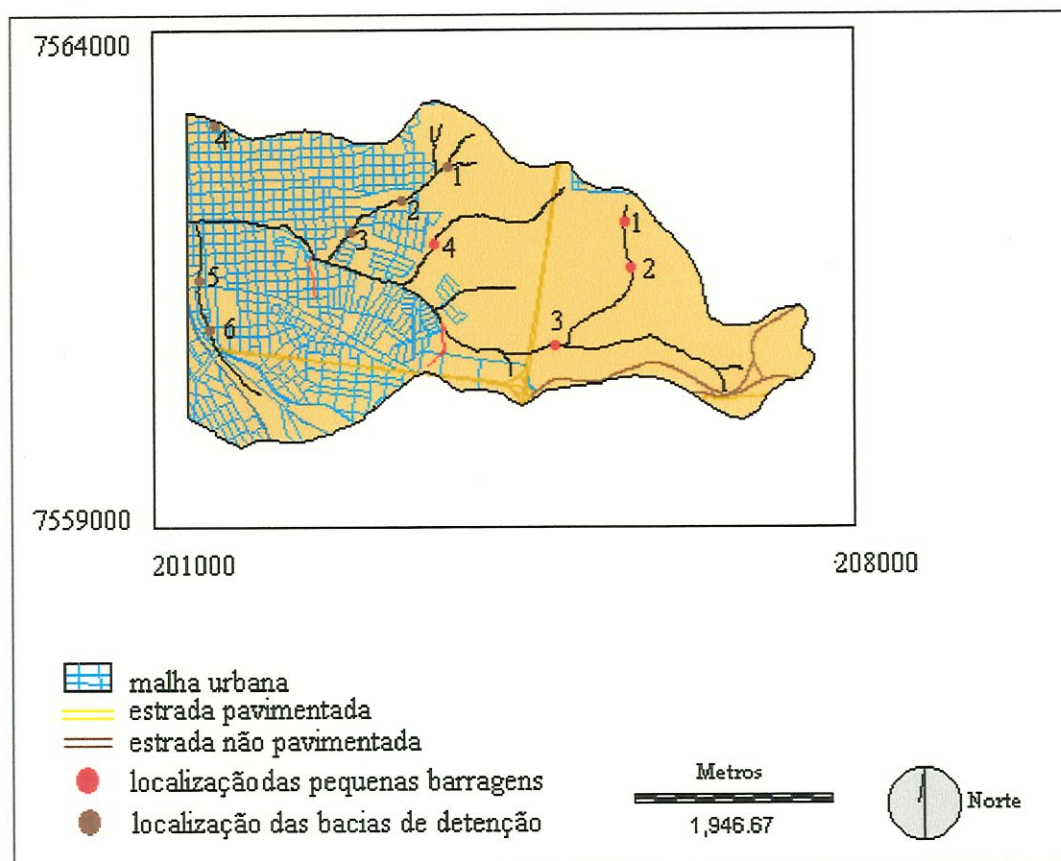


Figura 19: Localização das medidas de contenção de cheias propostas para a Área de Estudo.

Uma outra pequena barragem poderia ser localizada mais ou menos na altura do Sítio Retiro, do lado direito da Rodovia Washington Luiz, sentido Capital - Interior<sup>3</sup>; e outra posicionada na altura das avenidas. José Ferro e Pastor Cyros Basset<sup>4</sup> (figura 19).

Essas pequenas barragens visam a conter as águas do escoamento pluvial, contribuindo para a diminuição da vazão no corpo d'água principal, com conseqüente favorecimento de atividades agropecuárias.

No entorno das pequenas barragens recomenda-se a implantação de uma cobertura vegetal podendo-se constituir em importantes áreas de lazer para a população.

Outra alternativa que ganha respaldo das análises do amortecimento do tempo e velocidade de descarga do deflúvio proveniente das sub-bacias da área de pesquisa, compreende a implantação de bacias de detenção em setores específicos da área. Esse sistema, promove a reserva temporária do escoamento, por liberarem descargas

relativamente pequenas, retardando, assim, a chegada da água no corpo receptor, podendo também ter outros usos, como áreas de lazer.

Considerando a viabilidade do uso da bacia de detenção, recomenda-se a construção delas em pontos estratégicos da área de pesquisa, sendo, que ao longo do Córrego Lazarini, propõem-se três construções de bacias de detenção: uma na altura da rua Sete de Setembro<sup>1</sup>; outra no cruzamento da rua Josué M. Matos com a Frederico, na altura da rua José Cerri<sup>2</sup>, e uma terceira no cruzamento da rua Maria Botelho com a Bento Carlos<sup>3</sup> (figura 19).

Uma outra poderia ser construída na integração do rua Quinze de Novembro com a rua Alexandrina<sup>4</sup> (figura 19).

Na margem esquerda do Córrego do Gregório propõe-se a construção de uma bacia de detenção no cruzamento da av. São Carlos com a rua Júlio Favel<sup>5</sup> e outra entre a rua Belarmino de Souza e a Marculino de Souza Barretos<sup>6</sup> (figura 19).

Outras medidas poderão ser consideradas, como por exemplo:

Deve-se considerar um plano de disciplinamento de uso e ocupação do espaço coerente com as restrições oferecidas pelo meio, em setores da bacia onde o uso urbano ainda não se encontre consolidado.

A aprovação de loteamentos para esses setores deve se valer de normas que contemplem uma ocupação de características distintas das do setor da bacia já ocupado, como meio de não agravar ainda mais o problema das inundações. Para tanto, devem-se priorizar medidas que contemplem o aumento da rugosidade e o respeito à legislação.

Assim, a preservação das áreas de fundo de vale com vegetação, conforme normas estabelecidas pela legislação, poderá conter um projeto paisagístico, o qual deverá estar previsto nos planos de uso dessas áreas.

O aumento da rugosidade deve ser incentivado, podendo-se optar, por exemplo, pela diminuição de impostos por área permeável, seja com o uso de gramas espessas que promovam uma alta rugosidade, ou por pavimentos permeáveis que contribuam para detenção do volume da água na bacia, pelo emprego de técnicas que considerem as características do meio físico. A adoção de telhados e pavimentos com cobertura ondulada para obtenção de um maior nível de rugosidade; a construção bacias de

detenção, como pequenos reservatórios de águas pluviais instalados em prédios, condomínios e residências para promover o aumento da concentração de água na bacia, e retardo do pico de vazão deveriam, também, ser consideradas.

Essas alternativas priorizam a contenção de água na fonte e devem estar localizadas próximas aos locais onde os escoamentos são produzidos, para maior aproveitamento e condução do fluxo a jusante.

A área da bacia, como a do setor além Rodovia Washington Luiz, onde a urbanização ainda não se faz pronunciada, poderiam ser contemplados pelos parâmetros de planejamento, quando for feito o loteamento delas.

A não retinização do canal deve ser prioridade no planejamento de uso e ocupação do solo desse setor da bacia.

A implantação de superfícies permeáveis em áreas de estacionamento público e privado, praças e jardins, com extensão progressiva para outras áreas da bacia, o que contribuiria com o alívio do atual sistema de drenagem, a partir da redução da taxa de escoamento superficial e aumento do armazenamento temporário da água nas áreas de detenção superficial. O aumento da rugosidade superficial destas áreas pode ser incentivado, ainda, com a adoção de medidas que venham retardar o deflúvio superficial, pela implementação de coberturas onduladas ou do revestimento dos terrenos com cascalhos, procedimento que, a partir da retenção da água nas ondulações, promove uma considerável redução do tempo e do volume do deflúvio superficial na chegada à área de exutório. Essas medidas podem ser perfeitamente adotadas em áreas onde o adensamento urbano não se encontra totalmente consolidado.

Enfim, a eficácia nos planos de contenção de enchentes, sobretudo em área com adensamento urbano já bastante pronunciado, como verificado na área da bacia do Córrego do Gregório, está pautada pela conjugação de diversas medidas que, juntas, contribuirão para a diminuição do pico de vazão. Elas devem ser abrangentes, considerando que a viabilidade de implementação de várias alternativas devem ser respaldadas por uma política de uso e ocupação do solo que priorize os atributos naturais, tendo como objeto de análise em todas as fases do planejamento a educação para a preservação ambiental..

As medidas aqui mencionadas apresentam-se como alternativas viáveis de contenção de enchentes na área da bacia, considerando os atributos físicos e humanos da paisagem urbana.

Contudo, há de se ressaltar o caráter emergencial da adoção de tais medidas para a área da bacia, visto que os planos de loteamentos, com índices de impermeabilização consideráveis, em áreas ainda não ocupadas ganham respaldo legal, o que fatalmente contribuirá para o agravamento do quadro catastrófico de enchentes sobretudo na área objeto de análise deste trabalho.



## **7 - CONCLUSÕES:**

O modelo de uso e ocupação do solo em âmbito mundial, sobretudo nas últimas décadas, tem revelado a ineficiência do Homem na gerência do espaço como uma instância social, e não apenas como apoio às atividades humanas, o que contemplaria um planejamento integrado das relações físico-territoriais que regem a dinâmica estruturação da paisagem urbana.

A inabilidade na gerência do espaço promove cenários conflitantes no que concerne ao uso e ocupação do solo, e resulta em situações problemáticas, agravadas pela intensificação dos fenômenos naturais, potencializados pela ação antrópica.

Dentre os diversos cenários conflitantes da paisagem urbana, a ocupação desordenada do espaço, aliada a ausência de um planejamento que contemple as restrições oferecidas pelo meio natural, tem resultado em ocupação de áreas periodicamente atingidas por enchentes, que podem representar perdas materiais e humanas incalculáveis.

No Brasil, a adoção de medidas estruturais no controle de enchentes, adotadas frequentemente quando os problemas já se mostram bastante pronunciados, faz parte do cenário urbano, que, na grande maioria das vezes, não atende às expectativas de viabilidade econômica, sendo questionada também sua viabilidade técnica. Esse quadro revela a ausência de um planejamento que contemple os atributos básicos de uso e ocupação do solo, descritos exhaustivamente em planos de disciplinamento de uso do solo.

Há de se considerar que a maioria das Prefeituras Municipais brasileiras não dispõem de um orçamento voltado à adoção de medidas de alto custo, o que torna justificável a compatibilização de medidas não estruturais e estruturais integradas para minimizar os graves efeitos decorrentes das cheias.

A análise da problemática das enchentes na bacia do Córrego do Gregório torna clara a dificuldade da implementação de medidas estruturais para a solução definitiva da problemática das cheias.

Assim, a implantação de pequenas barragens e bacias de retenção em setores específicos da bacia, combinados com outras medidas, como o aumento da rugosidade do leito do canal, implantação de áreas verdes em setores já densamente ocupados, somadas às medidas propostas para os setores da bacia ainda não totalmente ocupados, podem contribuir muito para a minimização dos problemas de inundação na área de pesquisa.

Contudo a de se considerar que em virtude das características do meio físico da área de pesquisa, apresentadas nesse trabalho, e do quadro ambiental em que se insere a cidade de São Carlos no contexto municipal e regional, as medidas a serem tomadas devem valer-se de um caráter abrangente, priorizando ações que levem em conta a dinâmica processual dos agentes naturais na configuração da paisagem.

Considerando o grau de urbanização, observado hoje, na área de pesquisa, as medidas não estruturais são alternativas mais viáveis para a administração pública, do que as medidas estruturais, pois representam menor custo, além de causarem menor impacto na estrutura urbana já estabelecida.

Considerando a estrutura fundiária de parcelamento e de ocupação do solo na bacia do Gregório, onde o manancial principal e seus tributários nascem na zona rural, sob a influência do deflúvio decorrente da urbanização, as medidas devem prever a otimização da permeabilidade e rugosidade de tais áreas.

Cabe ressaltar que a viabilidade técnica de implantação dessas medidas deve valer-se de estudos criteriosos feitos por profissionais qualificados, que integrem uma equipe de profissionais multidisciplinares.

A necessidade de integração entre instituições como Prefeitura e Universidades, em virtude da disponibilidade de dados, muito agilizariam o processo de tomada de decisões para resolução dos problemas, como por exemplo o gerenciamento de águas pluviais, que resultariam em uma melhor qualidade de vida da população.

## **8: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- AB'SÁBER, A N. (1982) "Degradação da Natureza por Processos Antrópicos, na visão dos Geógrafos." In.: Revista Inter Fácies. Escritos e documentos- UNESP- São José do Rio Preto, n. 106.
- AGUIAR, R.L. (1989) "Mapeamento Geotécnico da área de expansão urbana - São Carlos- SP". São Carlos, 105. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo.
- ASSELIN, J.; VALENTIN, C. (1978) "Construction et mise au point d'un infiltromètre à asperson". Caheirs Orston . Série Hydrologie, Paris, v.15, n. 4, pp. 321-350.
- AZEVEDO, N. ; ALVAREZ,G. A (1982) "Manual de Hidráulica." 7ª Edição, Editora Edgard Blücher, vol. II, São Paulo.
- BARBASSA, A, P (1991) "Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial na cidade de São Carlos-SP". São Carlos, Tese (Doutorado). Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo.
- BARBOSA, V. (1980) "Riscos e incertezas no desenvolvimento de recursos hídricos". In.: Revista Saneamento e Informática da DNOS. Rio de Janeiro, ano 34, vol.54, n. 01-04, jan/dez., p. 22-27.
- BARREIRO, C.H. (1997) "Tópicos sobre observação de drenagem superficial de vias urbanas." São Paulo, 143p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

- BARTH, F.T. (1987) “Zoneamento de Áreas Inundáveis”. In.: BARTH, F.T. (1987) “Modelos para Gerenciamento de recursos hídricos”. São Paulo. Editora Nobel/ABRH, p.78-86.
- BATISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.O. et alli (1997) “Aspectos da Evolução da Urbanização e os Problemas de Inundações em Belo Horizonte”. In: Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle/ Organizado por Benedito Brega, Carlos Tucci e Marcos Tozzi. – Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. (ABRH Publicações, n.3).
- BERRIOS, M.R. (1991) “Os resíduos sólidos e as enchentes urbanas”. In.: Anais do 3. Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, vol. 1- Comunicações, Londrina-PR, pg. 608-622.
- BORTOLUCCI, A A (1983) “Caracterização Geológico Geotécnico da Região Urbana de São Carlos - SP, a partir de sondagens de simples reconhecimento”. São Carlos, Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo.
- BOUVIER, C. (1990) “Analyse et modélisation des écoulements en milieu urbain africain” Paris: Orston (Collection Études et Thèses).
- Braga, B.D.F. (1994) “Gerenciamento Urbano Integrado em Ambiente Tropical”. Seminário de Hidráulica Computacional Aplicada a Problemas de Drenagem Urbana. ABRH, São Paulo.
- BRASIL Constituição da República Federativa do Brasil (1988)
- CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO (1988).
- BUTZKE, I.C. (1995) “Ocupação de Áreas Inundáveis em Blumenau (SC)”. Rio Claro, Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista-Campus de Rio Claro.
- CANHOLI, A P. (1995) “Soluções Estruturais não convencionais em Drenagem Urbana”. São Paulo. Tese (Doutoramento) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- CARMI, N. (1998) “The need for non-structural flood control measures in the city of Jericó - West Bank”. In: International Workshop on Non Structural Flood Control in Urban Areas”. São Paulo/ Brazil/ Abril 1998, p. 259-270.

- CASETI, V. (1991) "Ambiente e Apropriação do Relevo". São Paulo: Contexto.
- CAVALHEIRO, F. (1991) "Urbanização e Alterações Ambientais". In. Análise Ambiental: Uma visão multidisciplinar. São Paulo: Editora Universidade Estadual Paulista: FAPESP:SRT: Fundunesp, p. 88-99.
- CETESB (1997) Relatório de Qualidade das Interiores do Estado de São Paulo, 2889 p.
- CETESB/DAEE (1986) "Drenagem Urbana". Manual de Projeto - São Paulo.
- CHRISTOFOLETTI, A (1980) "Geomorfologia". 2ª Edição. São Paulo, Edgard Blücher.
- CHRISTOFOLETTI, A (1981) "Geomorfologia Fluvial". São Paulo, Edgard Blücher, vol.1.
- CHRISTOFOLETTI, A.; PEREZ, A. F. (1975) "Estudos sobre a forma de Bacias Hidrográficas". In: Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, n. 5 (9-10) , p. 83-92.
- CORRÊA, R.L. (1989) "A Rede Urbana". São Paulo, Editora Ática/SA.
- CUNHA, S.B. (1995) "Geomorfologia Fluvial" In: GUERRA, A J.T.: CUNHA, S.B. (org.) "Geomorfologia: uma atualização de Bases de Conceitos". 2ª Edição, Editora - Bertrend Brasil, Rio de Janeiro, p. 211-223.
- CUNHA, B.S. (1985) "Impactos das Obras de Engenharia no Ambiente Fluvial". In: GUERRA, A J.T., CUNHA, B.S. (org) "Geomorfologia : uma atualização de Bases e Conceitos" 2ª Edição, Editora - Bertrend Brasil, Rio de Janeiro.
- CUNHA, S.B. da; GUERRA, A.J.T. (1996) "Relações entre Meio Ambiente e Geomorfologia" In: CUNHA, S.B. da; GUERRA, A J.T., et al "Geomorfologia e Meio Ambiente". Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 338-352.
- DAM, C.H.; VEN, F.H.M. (1984) "Infiltration in the Pavement" In: International Conference on Urban Storm Drainage". 3, Göteborg Proceedings Goterborg: chalmers University of Techonology, v. 3 and 4, p. 1019 - 1028.
- DAVIS, K. (1977) "A urbanização da Humanidade" In. Davis, K. et al "Cidades- a Urbanização da Humanidade". Rio de Janeiro: Zahar editores, p. 13-35.
- DEVESCOVI, R.C.B. (1987) "Urbanização e acumulação: um estudo sobre a cidade de São Carlos - SP". Dissertação de Mestrado apresentada a Escola de Arquitetura e Engenharia de São Paulo - EAESP/FGV.

- EMPLASA- Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo : Situação Atual e Diretrizes Metropolitanas de Drenagem (1985) - "O Problema das inundações na Grande São Paulo: Situação atual e Implantação de Diretrizes Metropolitanas de Drenagem".
- FALCOSKI, L.A.N. (1988) "Metodologia de Análise e Avaliação do Ambiente Construído: Desenho Urbano x Infra-estrutura". Dissertação de Mestrado, apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos - USP-SP, 325 p.
- FALCOSKI, L.A.N. (1997) "Dimensões Morfológicas e Desempenho: Instrumentos Urbanísticos de Planejamento e Desenho Urbano". Tese de Doutorado, apresentada a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo - USP - SP, 367 p.
- FILL,H.D. (1987) "Informações Hidrológicas". In: Modelos de Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo, Editora Nobel: ABRH, pp. 95-210.
- FOSTER, C.; RAPOPORT, A.; TRUCCO, E. (1957) "Some Unsolved Problems en the Theory of Non-Isolated Systems General Systems Yearbook".
- FUJITA, S. (1984) "Experimental Sewer System for Reduction of Storm Runoff". In: International Conference on Urban Storm Drainage. 3, Goteborge Proceeding, Göteborge Chalmers University of Technology. v. 3 and 4, p. 1211-1220.
- GARCIA,L. A; BRAGA, B.P.F.Jr. (1997) "Métodos Conjugados - Combinação dos Métodos Estatísticos e Determinísticos para a determinação de Valores Máximom de Variáveis Hidrológicas". In.: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo- Editora EPUSP , p. 1-20.
- GENZ, F. (1994) "Parâmetros para Previsão e Controle de cheias urbanas". Porto Alegre, 130 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GENZ,F. ; TUCCI, C.E.M. (1995) "Infiltração em Superfícies Urbanas". In: Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Recursos Hídricos, v.13, n.1, junho/1995, pp. 77-103.
- GONÇALVES,C.W.P. (1984) "Paixão da Terra: ensaios críticos de Ecologia e Geografia". Cópia Xerox, 76p .



- GONÇALVES, C.W.P. (1995) "Formação sócio espacial e questão ambiental no Brasil". In. GONÇALVES, C.W.P. (1995) Geografia e Meio Ambiente no Brasil. Editora Hucitec, Rio de Janeiro.
- GUERRA, A J.T. ; CUNHA, S.B. (1995) "Desequilíbrios da Paisagem" In: GUERRA, A J.T. ; CUNHA, S.B. (org.) "Geomorfologia e Meio Ambiente". Rio de Janeiro: Bertrend-Brasil, p. 352-365.
- GUERRA, A J.T.; CUNHA, S.B. (1995) "Geomorfologia e Meio Ambiente". Rio Janeiro, Editora : Bertrand Brasil.
- IPT (1991) "Manual de Ocupação de Encostas" Instituto de Pesquisas Tecnológicas: São Paulo: publicação n. 1831.
- LASARTE, A.E.; HOPWOOD, H.J.; CARVALHO, M.C.L. (1998) "Modelling Tools for Application in Flood Warning and Impact Assessment for Flood Control in Urban Areas". In: International Workshop on Non Structural Flood Control in Urban Areas". São Paulo/ Brazil/ Abril 1998, p.163 -176.
- LEAL, A C. (1995) "Meio Ambiente e Urbanização na Micro Bacia do Areia Branca-Campinas-São Paulo". Rio Claro, 153p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista - Campus de Rio Claro - SP.
- LOMBARDO, M. (1980) "Ilha de Calor na Metrópolis : O Exemplo de São Paulo". São Paulo. Editora Hucitec.
- LORANDI, R (1985) "Caracterização dos solos das áreas urbanas e suburbanas de São Carlos e suas aplicações". Piracicaba. Tese (Doutorado) - Escola de Agricultura Luiz de Queiroz.
- MACHADO, E.S. (1981) "Modelo Hidrológico Determinístico para Bacias Urbanas". São Carlos, 286p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo.
- MACHADO, L.M.C.P. (1995) "Meio Ambiente Urbano: Reflexões sobre o Cotidiano e o Individual". In. Sociedade & Natureza. Revista do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia-MG, ano 7, n. 13 e14, jan/dez, p.5-17.
- MACHADO, P.A L. (1995) "Direito Ambiental Brasileiro" 5ª Edição, São Paulo - SP, p. 257-273. Editora Malheiros.

- Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (1981), IPT, vol. 1.
- MARRERO, L (1969) "La Tierra y sus Recursos". Colección Geografía Visualizada. Editorial Mediterráneo, Caracas Venezuela, 394 p.
- MAZZALIRA, S (1974) "Contribuição do conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru". In: Boletim do Instituto de Geografia e Geologia - São Paulo, n.51, p. 1-163.
- MENDES, I. A. (1993) "A dinâmica Erosiva do Escoamento Pluvial na Bacia do Córrego Lafon-Araçatuba -SP". Tese de Doutorado, apresentada na Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - USP - SP.
- MOTTA, F.S.B. (1980) "Disciplinamento do uso do solo urbano visando a preservação do meio ambiente". São Paulo. Tese (Doutorado) - Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo.
- NAKAMURA, E. (1988) "Regulating Loads to Receiving Waters: Control Practices for combined sewer overflows in Japan". Urban Discharges and Receiver Water Quality Impacts - Seminar - IAWPRC/IAHR - Brighton - U.K.
- OKA, T. (1993) "Changes of rainfall infiltration and runoff process due to urbanization". In Hydrology of Warm Regions: proceedings walling-ford: IAHS (International Association of Hydrological Sciences) - Publication n. 216, p. 409-421.
- ORSINI, C. (1994) "Problemas de Poluição do Ar" In. A Questão Ambiental. 1. Edição, São Paulo, Editora Terragraph, p. 109-158.
- OSTROWSKY, M.S.B. (1998) "The adoption of non-structural measures for Flood Control in Pirajuçara Creek Basin". In: International Workshop on Non Structural Flood Control in Urban Areas". São Paulo/ Brazil/ Abril 1998, p.295 -304.
- PELLETIER, P. (1993) "L'Imposture Ecologiste" GIP RECLES- Maison de la Géographie, Montpellier- França.
- PEREIRA, P.P. (1980) "Controle de Enchentes na China" In: Revista Técnica e Informática do DNOS. Rio de Janeiro, ano 34, vol. 54, n. 01-04, jan/dez., p. 10-23.
- POMPEO, C.A.; Rosa F.Z da; OLIVETTI, M.P. (1998) "Urban Drainage Diagnosis in Santa Catarina State Brazil". In: International Workshop on Non Structural Flood Control in Urban Areas". São Paulo/ Brazil/ Abril 1998, p. 319 - 328.



- PORTO, M.F. A (1995) "Aspectos Quantitativos do Escoamento Superficial em áreas Urbanas". In.: TUCCI, C.E.M. et al (1995) "Drenagem Urbana" Porto Alegre: Editora ABRH da Universidade/ UFRGS.
- QUEIROZ, E.A. de (1996) "A utilização do Sistema de Informação geográfica no estudo da Dinâmica do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas : Aplicação na Bacia do Córrego do Gregório-São Carlos (SP)" São Carlos, 207p. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo.
- REBELATTO, D,A do N. (1992) "A Influência do processo de ocupação do solo na Bacia do rio Gregório, São Carlos (SP) sobre a incidência de enchentes nas áreas próximas ao mercado municipal". São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.
- ROSS, J.L.S. (1991) "Geomorfologia: Ambiente e Planejamento" São Paulo, Editora Contexto.
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. (1997) Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, vol. 1 e 2.
- SANTOS, M. (1993) "A Urbanização Brasileira". Editora Hucitec, São Paulo.
- SILVA, T. D. ; BUTZKE, I.C. (1995) "Enchentes: A solução não cai do céu". Blumenau: Fundação Água Viva.
- SILVA, C.C.A (1994) "Planejamento Ambiental". In: MAGALHÃES, L.E. (1994) "A Questão Ambiental". 1. Edição- São Paulo: Terragraph, p.331-345.
- SILVA, J. A ( 1997) "Direito Urbanístico Brasileiro" 2. Edição, Editora Malheiros, São Paulo- SP.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; et alli (1980) "Ensaio de Caracterização Estratigráfica do cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru". In: Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, 10 (3): p. 177 -185.
- TRICART, J.; KILIAN, J. (1982) "La Eco -Geografia y la ordenation del Medio Natural" Editora Anagrama, 288 p.
- TROPMAIR, H. (1991) "Rio Claro - áreas de risco: Nós e o Meio Ambiente". Rio Claro: Editora do Autor.
- TROPMAIR, H. (1989) "Biogeografia e o Meio Ambiente" 3. Edição. Editora do Autor

- TUCCI, C.E.M. (1993) "Enchentes Urbanas". In: Hidrologia Ciência e Aplicação". Org. TUCCI, C.E.M., Porto Alegre, Editora da Universidade: ABRH: EDUSP - Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4, p. 621 -652.
- TUCCI, C.E.M. (1995) "Inundações Urbanas". In.: TUCCI,C.E.M., PORTO,R.L.L.; BARROS,M.T.(org.). "Drenagem Urbana". Porto Alegre: Editora da Universidade-UFRGS, p.15-37.
- TUCCI, C.E.M. , et al (1995) "Drenagem Urbana". Porto Alegre-RS. Editora da UFRS-ABRH.
- TUCCI, C.E.M.; Villanueva, A.O.N. (1998) "Flood Protection of União da Vitória and Porto União - Brazil". In: International Workshop on Non Structural Flood Control in Urban Areas". São Paulo/ Brazil/ Abril 1998, p.383 - 390.
- TUNDISI, J.G.; BARBOSA, F. A R. (1981) "Impacto das Obras Hidráulicas nas Bacias Hidrográficas". In.: Revista Inter-Facies- Escritos e Documentos - UNESP, n.69, p. 1-25.
- VELASQUES, L.N.M. (1996) "Efeito da urbanização sobre o sistema hidrológico : aspectos da recarga no aquífero freático e escoamento superficial - Área piloto: Sub-bacias Sumaré e Pompéia, Município de São Paulo". São Paulo, 125p.Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- VIEIRA, A. J.; MAINGUÉ, E. (1973) "Geologia de Semi-detalhe do Centro e Nordeste do Paraná e Centro Sul de São Paulo, Ponta Grossa." Relatório Desul, 49 p.
- WILKEN, P.S. (1978) "Estudos das Bacias Contribuintes". In : Engenharia de Drenagem Superficial. CETESB- São Paulo, cap. 2, p. 73-97.
- ZAHN,C.E. (1983) "O Processo de Urbanização: Características e Evolução". In. Questões de Organização do Espaço Regional. São Paulo. Editora Nobel da Universidade de São Paulo.
- ZUQUETE, L.V. (1981) "Mapeamento Geotécnico Preliminar na Região de São Carlos - SP" Dissertação de Mestrado - apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos - SP, EESC- USP-SP.
- ZUQUETE,L. et ali (1995) "Considerações básicas sobre a elaboração de cartas de zoneamento de probabilidade ou possibilidade de ocorrer eventos perigosos e de

riscos associados.” In.: Revista Geociências, UNESP, São Paulo, n.5, v.14(2), julho/dez. 1995, p.9-40.