

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**UTILIZAÇÃO DE INDICADOR GEOMORFOLÓGICO**  
**PARA FIXAÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE DE**  
**CHEIAS EM ÁREAS URBANAS**  
**ESTUDO DE CASO: BRASÍLIA – DF**

**Paula Regina Balabram**

**Belo Horizonte**  
**2007**

**UTILIZAÇÃO DE INDICADOR GEOMORFOLÓGICO  
PARA FIXAÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE DE  
CHEIAS EM ÁREAS URBANAS  
ESTUDO DE CASO: BRASÍLIA – DF**

**Paula Regina Balabram**

**Paula Regina Balabram**

**UTILIZAÇÃO DE INDICADOR GEOMORFOLÓGICO  
PARA FIXAÇÃO DE MEDIDAS DE CONTROLE DE  
CHEIAS EM ÁREAS URBANAS  
ESTUDO DE CASO: BRASÍLIA – DF**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como pré-requisito parcial à obtenção do título de mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Mário Cicareli Pinheiro

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
Departamento de Engenharia Hidráulica e de Recursos Hídricos  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte  
2007

## DEDICATÓRIA

Ao meu querido pai e professor Vital Balabram por todo apoio e carinho.

Aos queridos Ricardo, Gabriel, Thiago, Letícia e Ivani pelo apoio e paciência.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me iluminou e não me permitiu desanimar em muitos momentos de dificuldades encontrados ao longo desta dissertação.

Ao meu querido pai que sempre me incentivou muito. O meu carinho e reconhecimento à minha família pelos momentos difíceis que tiveram que passar e souberam aceitar, em prol de um crescimento maior.

Em especial agradeço ao Prof. Mário Cicareli Pinheiro, pela fundamentação teórica fornecida e todo apoio para o término deste trabalho.

Agradeço também às várias pessoas e instituições que, de alguma forma, contribuíram para a elaboração deste trabalho, como:

Aos Professores Luiz Rafael Palmier, Márcia Maria Lara Pinto Coelho, Márcio Benedito Baptista, Mauro da Cunha Naghettini e Nilo de Oliveira Nascimento que além de excelentes professores sempre se disponibilizaram a ajudar.

Aos Professores e amigos da Universidade FUMEC que sempre me incentivaram, em especial à Profa. Ângela Maria Drumond Rohrmann pelo apoio nas apresentações, às Profas Elisabete de Andrade e Eliane Silva Ferreira pelo auxílio na revisão bibliográfica e à Profa. Maria Silva Fiúza, pela revisão lingüística.

Ao Prof. Renato Oliveira da Silva Junior, pela assistência na visita à Brasília. Aos Engenheiros Augusto César da Silva Maia e Viviane Azzolin de Carvalho Pires, Coordenadores do Monitoramento Hidrológico da CAESB e aos funcionários Edvaldo e Rômulo que me acompanharam às visitas técnicas ao Parque Nacional de Brasília.

Golder Associates Brasil Ltda, Potamos Engenharia e Hidrologia Ltda, CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, pela disponibilidade de dados.

Universidade FUMEC, pelo incentivo.

Pela atenção e carinho de todos os amigos.

## RESUMO

No presente trabalho foram analisados o aumento do escoamento superficial devido à ocupação urbana e seu impacto no curso de água. Através de técnicas compensatórias de drenagem urbana, procurou evitar ou reduzir esses impactos. Esta pesquisa consiste, portanto, em quantificar o excesso de vazão devido a urbanização e encontrar a área que deverá permanecer desocupada para utilização de técnicas compensatórias. Foi realizado um levantamento de informações com dados hidrológicos, características das bacias e desenvolvimento urbano, bem como estabeleceu-se relações das variáveis hidrológicas com os elementos de desenvolvimento urbano, na bacia do córrego Bananal que faz parte da bacia do Paranoá em Brasília, na região Centro Oeste do Brasil. Verificou-se que a drenagem deve considerar as características dos corpos receptores, da topografia e do índice de permeabilidade da área natural. Para o planejamento urbano, deverão ser disponibilizados 11% da área total ocupada para ser utilizada como bacia de retenção. Observou-se, também, que a utilização dos pavimentos permeáveis e/ou de micro-reservatórios podem auxiliar na redução do escoamento superficial, e conseqüentemente o impacto no curso de água. Esse estudo mostrou, ainda, que as características físicas naturais da bacia (tamanho, topografia, taxa de infiltração, tipo de solo) são importantes para definir o zoneamento necessário para evitar os impactos nos corpos de água receptores.

**Palavras chave:** drenagem urbana, planejamento urbano, aspectos hidrológicos e geomorfológicos.

## ABSTRACT

In this study were analyzed the increasing the flow surface due to occupation and its impact on urban water course. Through compensatory techniques of urban drainage, sought to avoid or reduce those impacts. This research is therefore to quantify the excess flow due to urbanization and find the area that should remain unoccupied for use of compensatory techniques. It was conducted a survey of information with hydrological data, characteristics of basins and urban development, and established itself relations of hydrological variables with the elements of urban development in the basin of the stream Bananal which is part of the basin Paranoá in Brasília, in the brazilian center west region. It was found that the drainage should consider the characteristics of the bodies receptors, the topography and the index of permeability of the natural area. For urban planning, should be available 11% of the total area occupied to be used as a detention basin. There was also that the use of permeable pavements and / or micro-reservoirs can help in reducing the flow surface, and therefore the impact on the course of water. This study showed further that the physical characteristics of the natural basin (size, topography, infiltration rate, type of soil) are important to set the necessary zoning to avoid impacts on the bodies of water receptors.

**Key words:** urban drainage, urban planning, hidrologycal and geomorphologycs aspects.

# SUMÁRIO

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS .....</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1      | OBJETIVO GERAL.....   | 4         |
| 2.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....  | 4         |
| <b>3</b> | <b>JUSTIFICATIVA .....</b>  | <b>5</b>  |
| 3.1      | CONTEXTO DO TRABALHO.....   | 7         |
| <b>4</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>  | <b>9</b>  |
| 4.1      | GEOMORFOLOGIA E MORFOLOGIA FLUVIAL.....   | 9         |
| 4.2      | DRENAGEM URBANA .....   | 17        |
| 4.3      | SISTEMAS ALTERNATIVOS OU COMPENSATÓRIOS DE DRENAGEM .....                               | 19        |
| 4.4      | PLANEJAMENTO URBANO.....  | 26        |
| <b>5</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>   | <b>33</b> |
| <b>6</b> | <b>ESTUDO DE CASO .....</b>   | <b>41</b> |
| 6.1      | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....  | 41        |
| 6.2      | GEOMORFOLOGIA E MORFOLOGIA FLUVIAL DA ÁREA EM ESTUDO.....                               | 45        |
| 6.3      | PLANO DIRETOR DE ORDENAMENTO FLUVIAL DO DISTRITO FEDERAL E PLANOS DIRETORES LOCAIS..... | 48        |
| 6.4      | CARACTERIZAÇÃO DA BACIA EM REGIME NATURAL.....  | 57        |
| 6.5      | OCUPAÇÃO E CONSEQÜÊNCIAS.....   | 63        |
| 6.6      | ANÁLISE DE SISTEMAS ALTERNATIVOS DE DRENAGEM URBANA/DIRETRIZES DE OCUPAÇÃO.....         | 70        |
| <b>7</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....</b>  | <b>75</b> |
| <b>8</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>78</b> |
|          | <b>APÊNDICE I.....</b>  | <b>83</b> |
|          | <b>ANEXO I.....</b>   | <b>86</b> |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CN – Curve Number (Curva índice)

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento

EPIA – Estrada Parque Indústria e Abastecimento

EVI – Extremo Valor Tipo I

FCTH - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica

FISRWG - [The Federal Interagency Stream Restoration Working Group](#)

HEC-HMS – Hydrologic Engineering Center - Hydrology Modelling System

IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PDDrU - Planos Diretores de Drenagem Urbana

PDL – Planos Diretores Locais

PDOT - Plano Diretor de Ordenamento Territorial

PGIRH/DF -Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal

SCS – Soil Conservation Service

ZEE – RIDE - Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1: Unidades do relevo brasileiro.....   | 3  |
| Figura 3.1: Aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização.....                                    | 5  |
| Figura 3.2: Foto de um processo erosivo em Sobradinho – Brasília-DF .....  | 6  |
| Figura 3.3: Foto da calha fluvial do córrego Ponte Queimada, bairro Buritis, Belo Horizonte - MG.....            | 6  |
| Figura 3.4: Imagem da morfologia da calha fluvial modificada devido à ocupação em Aparecida de Goiânia – GO..... | 7  |
| Figura 4.1: Ordenamento de canais de Horton modificado por Strahler.....   | 9  |
| Figura 4.2: Esquema de densidade de drenagem.....  | 12 |
| Figura 4.3: Balança de Lane.....   | 14 |
| Figura 4.4: Esquema da seção de margens plenas.....  | 15 |
| Figura 6.1: Área de estudo localizada na região Centro –Oeste do Brasil.....                                     | 41 |
| Figura 6.2: Três bacias brasileiras que compreendem o Distrito Federal.....                                      | 42 |
| Figura 6.3: Localização da sub-bacia do córrego Bananal inserido na sub-bacia do rio Paranoá em Brasília.....    | 43 |
| Figura 6.4: Bacia do Córrego Bananal.....  | 43 |
| Figura 6.5: Foto da vista do Parque Nacional de Brasília.....  | 45 |
| Figura 6.6: Zonas de ordenamento territorial propostas pelo PDOT.....  | 50 |
| Figura 6.7: Foto do Parque Nacional de Brasília (Zona de Conservação Ambiental).....                             | 50 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 6.8: Imagem da Zona Urbana de Dinamização – Taguatinga.....  | 51 |
| Figura 6.9: Imagem da Zona Urbana de Consolidação – Plano Piloto.....   | 52 |
| Figura 6.10: Foto de uma área interna Plano Piloto de Brasília.....   | 52 |
| Figura 6.11: Foto da estação fluviométrica 60477600 – EPIA.....   | 58 |
| Figura 6.12: Hietograma da chuva de 24 horas e tempo de retorno de 2 anos.....                                  | 60 |
| Figura 6.13: Hidrograma do Córrego Bananal.....   | 61 |
| Figura 6.14: Hidrogramas encontrados para vários tempos de retorno.....   | 62 |
| Figura 6.15: Relação entre o aumento da ocupação e o aumento da vazão.....                                      | 65 |
| Figura 6.16: Gráfico da relação entre vazão e a área transversal do curso de água – 2 anos...67                 |    |
| Figura 6.17: Gráfico da relação entre vazão e a área transversal do curso de água – 5 anos...68                 |    |
| Figura 6.18: Variação da área da seção transversal do curso de água.....  | 69 |
| Figura 6.19: Vista da região de Brazlândia com dispositivos de drenagem alternativos.....                       | 70 |
| Figura 6.20: Crescimento da área em relação ao aumento de vazão (áreas que deverão permanecer desocupadas)..... | 73 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 4.1: Lista de medidas de controle na fonte.....                                    | 21 |
| Tabela 4.2: Áreas contribuintes adequadas para as medidas de controle.....                | 23 |
| Tabela 6.1: Probabilidade empírica.....   | 58 |
| Tabela 6.2: Vazões máximas para alguns tempos de retorno.....                             | 59 |
| Tabela 6.3: Vazões máximas encontradas para curvas CN variadas.....                       | 61 |
| Tabela 6.4: Vazões máximas para CN = 47.....  | 62 |
| Tabela 6.5: Variação da curva CN com a ocupação.....                                      | 63 |
| Tabela 6.6: Vazões máximas após a ocupação gradativa da bacia.....                        | 64 |
| Tabela 6.7: Aumento da vazão em relação à vazão natural (m <sup>3</sup> /s).....          | 64 |
| Tabela 6.8: Aumento da vazão em relação à vazão natural (%).....                          | 64 |
| Tabela 6.9: Parâmetros geométricos e hidráulicos característicos do córrego Bananal.....  | 66 |
| Tabela 6.10: Variação das características geométricas do córrego com o aumento da vazão.. | 66 |
| Tabela 6.11: Aumento percentual da área em função do aumento da vazão.....                | 67 |
| Tabela 6.12: Áreas que devem permanecer desocupadas.....                                  | 72 |
| Tabela 6.13: Vazão máxima para a área da bacia com pavimentos permeáveis.....             | 74 |

# 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a partir da década de 1970, como consequência do aumento populacional e da migração, muitas cidades vêm passando por um crescimento demográfico: o perímetro urbano expande-se, e várias áreas rurais são incorporadas às periferias. Um dos aspectos do crescimento das cidades, que envolve qualidade de vida e custos altíssimos ao poder público, é a drenagem urbana e as inundações ocorridas nas áreas urbanizadas.

O processo de urbanização é o principal fator responsável pelos problemas relacionados às inundações nas cidades, aumentando a frequência e os níveis das cheias. Isto ocorre devido à impermeabilização crescente das bacias hidrográficas, e à ocupação inadequada dos vales próximos aos cursos de água. Esse desenvolvimento urbano cria a necessidade de implantação de um sistema de drenagem de águas pluviais junto às benfeitorias para evitar ou reduzir a exposição da população e das propriedades ao risco de inundações, minimizar os problemas de erosão e sedimentação, proteger a qualidade ambiental e o bem estar social.

O sistema tradicional ou clássico de drenagem urbana é formado por dois componentes distintos: o sistema inicial de drenagem, ou micro-drenagem e o sistema de macro-drenagem. O sistema de micro-drenagem é composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, rede de galerias de águas pluviais e, também, canais de pequenas dimensões. Já o sistema de macro-drenagem é composto por canais de maiores dimensões. Esse sistema tradicional de drenagem urbana visa, principalmente, o afastamento rápido das águas pluviais.

Ao se implantar o sistema de micro-drenagem, a vazão de cheias dos cursos de água aumenta, estabelecendo-se, assim, a necessidade de se implantar um sistema de macro-drenagem, representado, deste modo, as cidades que se desenvolvem ao longo dos cursos de água, ocupando os fundos de vale.

Esse problema é típico das urbanizações que se desenvolvem em bacias com alta densidade de drenagem, ou seja, associadas a relevos acidentados e vales encaixados, que implantam seus equipamentos urbanos nas planícies de inundação.

Em regiões planas, com condições geomorfológicas favoráveis à infiltração das águas pluviais, a ocupação ocorre em bacias que possuem baixa densidade de drenagem. Assim, a urbanização expande-se nessas áreas, com seu respectivo sistema de micro-drenagem. O

escoamento gerado nessa rede, que antes não existia, deverá ser lançado em algum ponto. Se ele for encaminhado para as bordas da urbanização (solução de menor custo) terá como conseqüência, a produção de erosões. Se for utilizado o sistema tradicional (solução mais onerosa), conduzindo a água pluvial através de emissários até o talvegue mais próximo, evita a erosão nas bordas dos platôs ou planaltos, porém, altera o equilíbrio morfológico dos cursos de água receptores, causando erosão na calha e deposição a jusante.

A partir dos anos 1970, especialmente na Europa e na América do Norte, uma outra abordagem para tratar a drenagem urbana foi sendo desenvolvida. Trata-se do conceito de técnicas alternativas ou compensatórias que buscam controlar a produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização e evitam sua transferência rápida para jusante. Assim, reduzem os impactos na macro-drenagem, adequando-se às capacidades das canalizações ou corpos de água existentes.

Essa capacidade, portanto, passa a ser uma restrição, ou seja, estabelece um limite para o aumento do escoamento. Dessa forma, adotando-se as medidas compensatórias que controlam os escoamentos na fonte, através da recuperação da capacidade de infiltração ou da detenção do escoamento adicional gerada pela superfície urbana, chega-se a uma solução para os problemas gerados nos cursos de água receptores devido ao excesso de escoamento produzido pela urbanização.

Portanto, a ocupação de áreas, principalmente as planas, desprovidas de rede de macro-drenagem, necessita de um controle urbanístico, ou seja, limitação da impermeabilização do terreno.

Esse estudo visa, assim, manter a descarga líquida que proporciona o equilíbrio fluvial (condição estável entre a descarga líquida, transporte de sedimentos e erosão) e, por conseguinte empregar algumas medidas compensatórias que permitam manter esse equilíbrio. Esse enfoque é mais indicado em áreas urbanas em desenvolvimento, visando disciplinar a ocupação, pois, essas medidas necessitam de áreas desocupadas para serem implantadas. Por fim, esse trabalho procura chegar a índices de áreas que deverão permanecer desocupadas após a urbanização para a utilização dessas medidas e dessa forma, reduzir o impacto no curso de água.

O foco principal desse trabalho é o estudo da drenagem em áreas planas, ou pouco acidentadas. No Brasil, esse tipo de relevo é encontrado em várias regiões (Figura 1.1): chapadas da bacia do Parnaíba, chapadas da bacia do Paraná, chapada dos Parecis, parte dos planaltos e serras de Goiás Minas, entre outras.

Para avaliar a metodologia desse estudo, utilizou-se a bacia do córrego Bananal, afluente do lago Paranoá, que se encontra dentro do Parque Nacional de Brasília.



Figura 1.1: Unidades do relevo brasileiro  
 Fonte: Adaptado de Ross, 1990 in Ross (2001)



## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. Objetivo Geral***

Esse trabalho tem por objetivo quantificar o aumento do escoamento superficial devido à ocupação urbana, observando-se o impacto que ela gera no curso de água e procura através das técnicas compensatórias de drenagem urbana chegar a índices de áreas desocupadas que deverão permanecer após a urbanização.

### ***2.2. Objetivos Específicos***

1. Fazer um levantamento de uma base de informações com dados hidrológicos e características da bacia.
2. Propor elementos que permitam estabelecer um plano de ocupação para regiões aplainadas, de maneira a reduzir o aumento de vazão que é lançado no curso de água, causado pela urbanização.

### 3. JUSTIFICATIVA E CONTEXTO DO TRABALHO

O desordenado crescimento populacional urbano tem sido considerado um dos grandes problemas mundiais, em especial no Brasil, onde a concentração urbana é da ordem de 80% da população total do país. Essa concentração tem sido realizada de forma pouco planejada e acelerada, provocando uma série de mudanças no ambiente (Martins e Souza, 2005).

Nos planejamentos de ocupação das áreas, em todo território brasileiro, não têm sido considerados alguns aspectos como: o aumento da frequência das inundações, a desconfiguração dos corpos de água receptores de esgotamento sanitário e pluvial e a deterioração da qualidade da água. Segundo Tucci (2000), à medida que a cidade se urbaniza, ocorre o aumento das vazões máximas (em até 7 vezes) devido à impermeabilização e canalização (Figura 3.1).

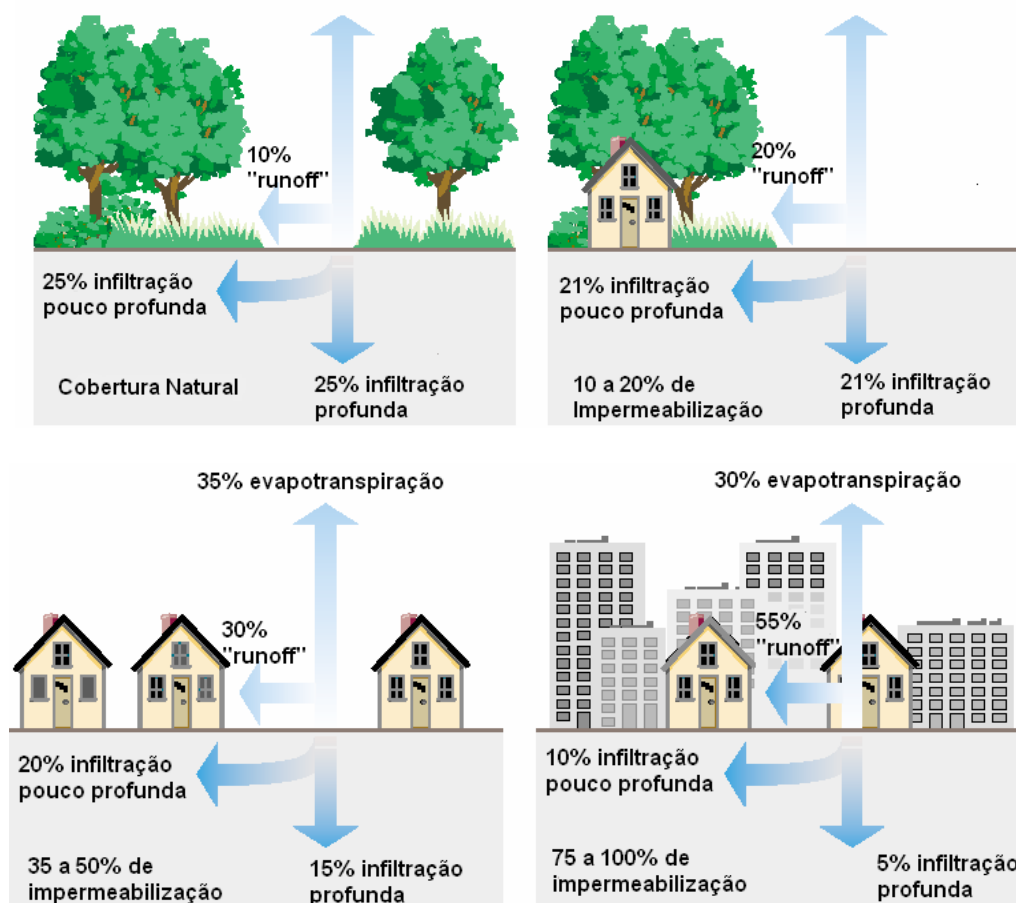


Figura 3.1: Aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização  
Fonte: FISRWG, 1998

Se o lançamento desse aumento de vazão ocorrer no terreno natural, acarretará problemas de erosão na bacia (Figura 3.2). Se essa vazão for lançada no curso de água, modificará a morfologia da calha fluvial (Figuras 3.3 e 3.4).



Figura 3.2: Foto de um processo erosivo em Sobradinho – Brasília-DF  
Fonte: LIMA, 2003 – Tese de Doutorado da Universidade de Brasília



Figura 3.3: Foto da calha fluvial do córrego Ponte Queimada, Bairro Buritis, Belo Horizonte - MG



Figura 3.4: Imagem da morfologia da calha fluvial modificada devido à ocupação em Aparecida de Goiânia - GO  
Fonte: Google Earth

Para solucionar essas questões, é necessário utilizar as medidas compensatórias, e, como mencionado, existe a necessidade de dispor de áreas desocupadas. Assim, essas medidas podem competir com a urbanização em si.

A implantação dessas medidas deve ser otimizada, necessitando, dessa forma, de se fixar critérios para o dimensionamento das estruturas de retenção e/ou retenção.

### **3.1 Contexto do trabalho**

O desenvolvimento dos centros urbanos e a conseqüente impermeabilização de suas áreas provocam o aumento do escoamento superficial e, portanto, a necessidade de se definir técnicas de drenagem compatíveis com a localidade. Já é de conhecimento de todos que as técnicas tradicionais ou clássicas que captam as águas pluviais através dos dispositivos como sarjetas, bocas-de-lobo e galerias entre outros, aceleram o escoamento e lançam as vazões aumentadas no curso de água mais próximo.

Quando o centro urbano se localiza em áreas planas, com alta capacidade de infiltração, surgem algumas dificuldades: os cursos de água são, geralmente, de dimensões pequenas, com baixas vazões, e se encontram a uma distância considerável dos pontos de coleta das

águas pluviais. Portanto, além de haver uma distância longa a ser percorrida pelas galerias de águas pluviais, a vazão, muito aumentada, lançada no curso de água pequeno provocará uma mudança brusca na sua morfologia.

Desta forma, o presente estudo trata de quantificar o aumento do escoamento superficial devido à ocupação urbana, observando-se o impacto que ela gera no curso de água e procura através das técnicas compensatórias de drenagem urbana chegar a índices de áreas desocupadas que deverão permanecer após a urbanização. Portanto, procura estabelecer áreas para a utilização de medidas que diminuam os impactos gerados pela ocupação nos cursos de água, ou seja, para manter o equilíbrio morfológico fluvial.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O objetivo desta seção é apresentar os conceitos utilizados nesta pesquisa e apresentar alguns trabalhos existentes para contextualizar o tema proposto. Esse capítulo aborda os temas principais que envolvem tal estudo: geomorfologia fluvial, drenagem urbana e planejamento urbano.

### ***4.1. Geomorfologia e Morfologia Fluvial***

O relevo de todas as partes do mundo apresenta saliências e depressões oriundas das eras geológicas passadas. Estas saliências e depressões conhecidas como acidentes de primeira ordem configuram as montanhas, planaltos, planícies e depressões. Além desses acidentes existem outros menores: as chapadas, as cuevas e as depressões periféricas.

Estes acidentes resultaram da ação de dois tipos de agentes ou fatores do relevo: de origem interna (vulcanismo, tectonismo) e de origem externa (água, temperatura, chuva, vento, geleiras, seres vivos).

No contexto das ciências que estudam o quadro natural do espaço geográfico, inclui-se a Geomorfologia, que “é uma ciência que tem por objetivo analisar as formas de relevo, buscando compreender as relações processuais pretéritas e atuais” (Cassetti, 1991).

Conforme descrito em Argento (1990), citado por Cunha (1996), os mapeamentos com base geomorfológica se constituem em essencial subsídio ao planejamento ambiental, contribuindo para a tomada de decisões no nível pedológico, planialtimétrico e uso potencial do solo; para a elucidação de problemas erosivos e deposicionais e para a definição de recomendações quanto à forma racional de ocupação do terreno, entre outros.

A água, segundo Netto in Guerra e Cunha (2005), constitui um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interligando fenômenos da atmosfera inferior e da litosfera, interferindo na vida vegetal, animal e humana, a partir da interação com os demais elementos do seu ambiente de drenagem. Nesse sentido, torna-se importante ressaltar o estudo da Geomorfologia Fluvial.

Cunha (1996) in Guerra e Cunha (2005) define a Geomorfologia Fluvial como sendo o estudo dos cursos de água (processos fluviais), as formas resultantes do escoamento das águas e das

bacias hidrográficas, as características geológicas, hidrológicas, climáticas e de ocupação do solo que condicionam o regime hidrológico. Nesse contexto, o conhecimento da fisiografia fluvial, isto é, os tipos de leito, de canal e de rede de drenagem bem como dos processos fluviais de erosão, transporte e deposição são de suma importância para a compreensão da Geomorfologia Fluvial e de todas as características geográficas de uma área: geologia, clima, vegetação, solo e ocupação humana.

Cunha (1996) coloca ainda, que nos últimos tempos as atividades humanas têm aumentado sua influência sobre a Geomorfologia Fluvial, induzindo ou modificando diretamente os canais fluviais como, por exemplo, obras de engenharia, extração de minérios, controle de vazão e remoção de vegetação. Esses tipos de mudanças fluviais acarretam transformações em todos os componentes da paisagem e por vezes acabam prejudicando o próprio homem.

O canal principal da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica equilibra o fluxo de água e sedimentos do sistema fluvial. O arranjo espacial em planta dos canais fluviais apresenta um conjunto de características geométricas que demonstra a forma como a rede de drenagem se organiza para facilitar e dar continuidade a esse fluxo. Essas características, segundo Singh (1992), estão relacionadas aos fatores físicos da bacia ou aos canais. As características físicas da bacia de drenagem abrangem área, forma e declividade. As características dos canais incluem ordem, comprimento, declividade, perfil e densidade de drenagem.

A área da bacia hidrográfica é dada pela superfície da projeção vertical da linha fechada dos divisores de água sobre um plano horizontal, sendo geralmente expressa em hectares (ha) ou quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>).

Segundo Singh (1992) a forma da bacia depende da interação entre os fatores geológicos e climáticos. A sua vertente será mais ou menos íngreme segundo essa interação. Muitos parâmetros têm sido propostos para definir quantitativamente a forma da bacia (Morisawa, 1958, citado por Singh, 1992), um deles é o fator de forma:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (4.1)$$

onde  $K_f$  é o fator de forma, A a área da bacia e L corresponde à maior extensão de escoamento, tanto ao escoamento superficial difuso, quanto ao escoamento concentrado no talvegue.

A ordem dos canais da rede de drenagem é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro de uma bacia. Utilizando um mapa da bacia onde fossem incluídos todos os canais e seguindo o critério introduzido por Horton, modificado por Strahler, os rios são classificados da seguinte forma (Villela e Mattos, 1975): são considerados de primeira ordem os pequenos canais que não tenham tributários, quando dois canais de primeira ordem se unem é formado um segmento de segunda ordem, a junção de dois rios de segunda ordem dá lugar à formação de um rio de terceira ordem e, assim, sucessivamente, o encontro de dois rios de ordem n forma um rio de ordem n+1 (Figura 4.1).

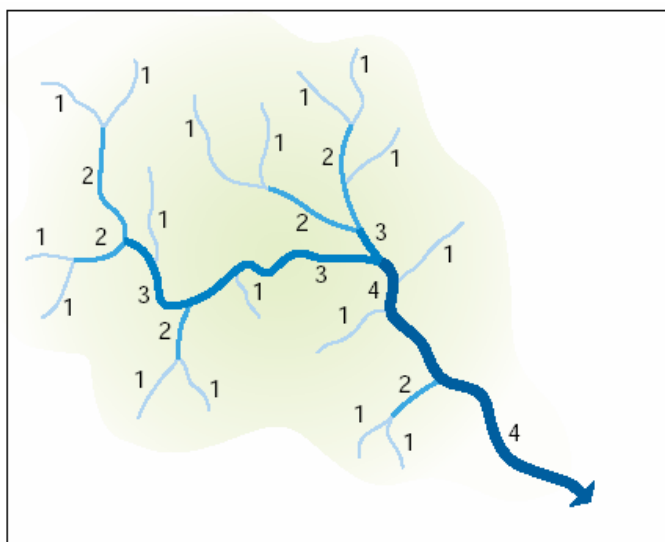


Figura 4.1: Ordenamento de canais de Horton modificado por Strahler  
Fonte: FISRWG, 1998

O comprimento do canal se refere, segundo Singh (1992), ao comprimento de cada ordem do canal. O comprimento médio do canal cresce em progressão geométrica em função do aumento da ordem do canal. Portanto, canais de primeira ordem são mais curtos que todos os outros canais. Essa relação é conhecida como lei de comprimento de canais de Horton.

A densidade de drenagem indica o grau de desenvolvimento desse sistema na bacia. Esse índice é expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos de água de uma bacia e a sua área total.



$$D_d = \frac{L}{A} \quad (4.2)$$

sendo  $D_d$  a densidade de drenagem, L o comprimento total dos cursos de água e A, a área de drenagem.

Segundo Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem varia de 0,5 km/km<sup>2</sup>, para bacias com baixa densidade de drenagem, a 3,5 km/km<sup>2</sup> ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas (Figura 4.2).

A relação entre densidade e capacidade de infiltração é inversamente proporcional. Dessa forma, bacias com maior capacidade de infiltração têm baixa densidade de drenagem.

De acordo com Nascimento (1991), a densidade de drenagem se encontra vinculada aos domínios litológicos. Segundo a autora, por exemplo, as áreas de rochas sedimentares paleomesozóicas da Bacia Sedimentar do Paraná, a porosidade permite maior percolação das águas e, conseqüentemente, redução da densidade de drenagem.

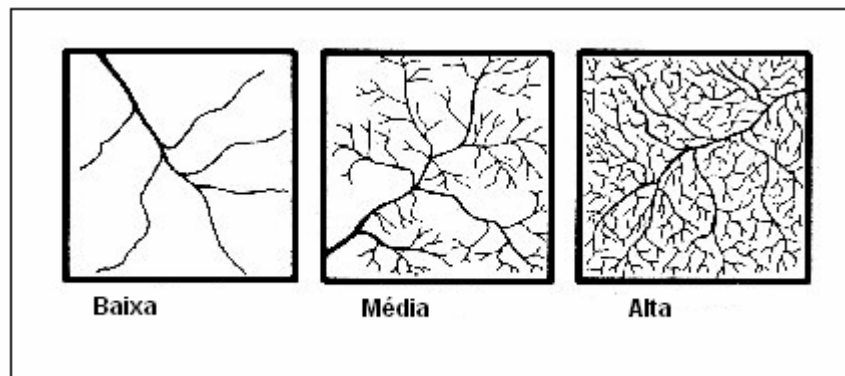


Figura 4.2: Esquema de densidade de drenagem

O escoamento nos canais fluviais apresenta diversas características dinâmicas que se tornam responsáveis pelas qualidades atribuídas aos processos fluviais. A dinâmica do escoamento, no que se refere à perspectiva geomorfológica, ganha significância na atuação exercida pela água sobre os sedimentos do leito fluvial, no transporte dos sedimentos, nos mecanismos deposicionais e na esculturação da topografia do leito (Christofolletti, 1981).

Silva et al. (2003) apresentam os seguintes fatores condicionantes para a conformação geométrica do curso de água em seu estado natural:

- ❑ A seqüência de vazões líquidas impostas pelo processo chuva-vazão na bacia hidrográfica;
- ❑ A seqüência de vazões sólidas provenientes da bacia e do próprio leito;
- ❑ A susceptibilidade de suas margens aos processos de erosão ou deposição de sedimentos.

A vazão sólida ou carga detrítica nos cursos de água é uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas. Segundo Christofolletti (1981), uma parcela da carga detrítica dos cursos de água é gerada pela ação erosiva que as águas exercem sobre as margens e fundo do leito. A maior parte, entretanto, é fornecida pela erosão das vertentes. Por essa razão, desde há muito tempo reconhece-se que o transporte dos sedimentos é governado pelos fatores hidrológicos que controlam as características e o regime dos cursos de água. Os fatores hidrológicos mais importantes são a quantidade e a distribuição das precipitações, a estrutura geológica, as condições topográficas e a cobertura vegetal influenciam a formação do material intemperizado na bacia hidrográfica e o carregamento desses materiais até os rios. O fluxo e o transporte de sedimentos constituem respostas aos processos e ao estado de equilíbrio atuantes no sistema fluvial.

A noção do equilíbrio fluvial ocorre quando existe uma condição estável entre a descarga líquida, o transporte de sedimentos, a erosão e deposição ao longo do perfil longitudinal do rio, de maneira que ele mantenha certa proporcionalidade do tamanho de sua calha desde sua nascente até a sua desembocadura (Gregory e Wally, 1976 e Cunha , 2002).

Esse estado de equilíbrio é alterado quando ocorre alguma modificação na área da bacia ou no curso de água. Estudos da morfologia do rio são feitos para conhecer as características morfológicas envolvidas e as respostas impostas por essas alterações, que podem ser avaliadas em termos genéricos com base na balança de Lane (Chang, 1988) (Figura 4.3).

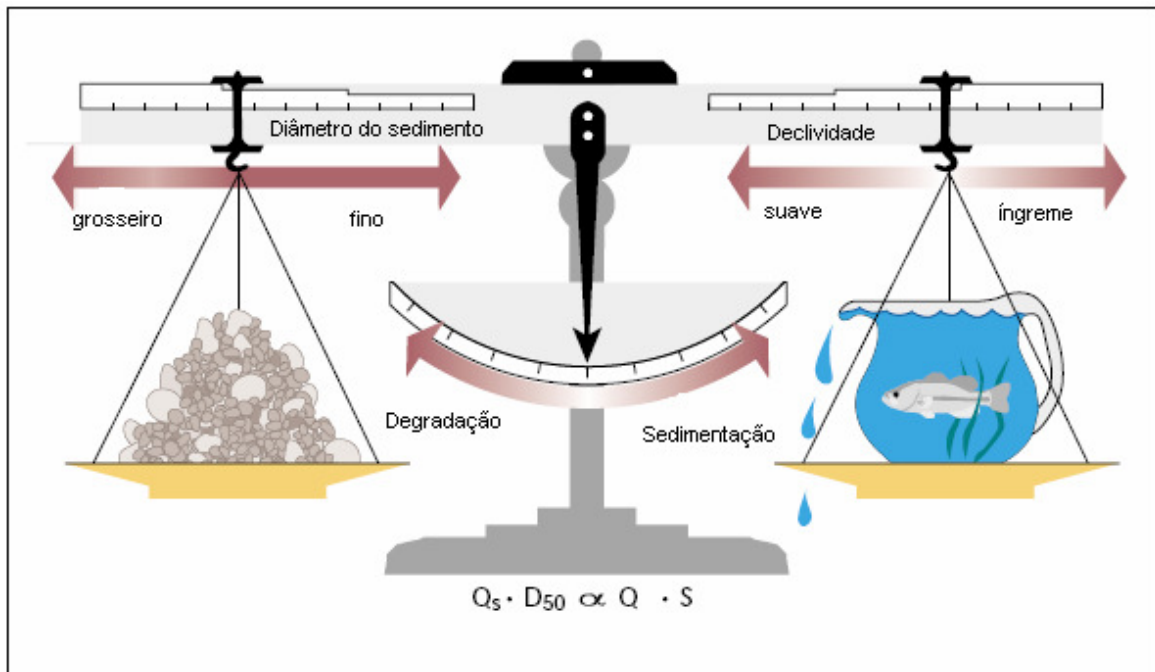


Figura 4.3: Balança de Lane  
Fonte: Chang (1988)

A balança de Lane traduz a seguinte proporcionalidade:

$$Q_s D \approx QS \quad (4.3)$$

Sendo:  $Q_s$  = vazão sólida,  $D$  = diâmetro do material do fundo ( $D_{50}$ ),  $Q$  = vazão líquida e  $S$  = a declividade do talvegue.

Se uma das variáveis se altera, a outra irá alterar para manter o equilíbrio. Assim, o aumento da vazão líquida devido à impermeabilização da bacia produzirá o aumento da vazão sólida do curso de água. Segundo Schumm (1969) citado por Chang (1988) esse aumento da vazão líquida ocorrerá seguindo a seguinte expressão:

$$Q^+ \approx B^+ y^+ F^+ \lambda^+ S^- \quad (4.4)$$

onde:  $Q^+$  = aumento de vazão líquida,  $B^+$  = aumento da largura,  $y^+$  = aumento da profundidade,  $F^+$  = aumento da relação largura-profundidade,  $\lambda^+$  = aumento do comprimento da onda da sinuosidade do curso de água e  $S^-$  = redução da declividade.

Portanto, a forma do canal está relacionada com as vazões fluindo através de determinada seção transversal. As dimensões desse canal são controladas pelo equilíbrio entre as forças

erosivas de entalhamento e o processo de deposição dos sedimentos no leito e em suas margens. Para ser efetivamente atuante, a vazão deve ter a força necessária para realizar o entalhamento, frequência e duração suficientes para manter a forma do canal.

Como a forma do canal está relacionada à vazão, aos sedimentos fornecidos pela bacia de drenagem e ao material rochoso componente das margens, é importante conhecer a descarga de margens plenas, que, de forma relativamente simples, é a vazão que preenche, na medida justa, o canal fluvial, e acima do qual ocorrerá transbordamento para a planície de inundação (Figura 4.4).

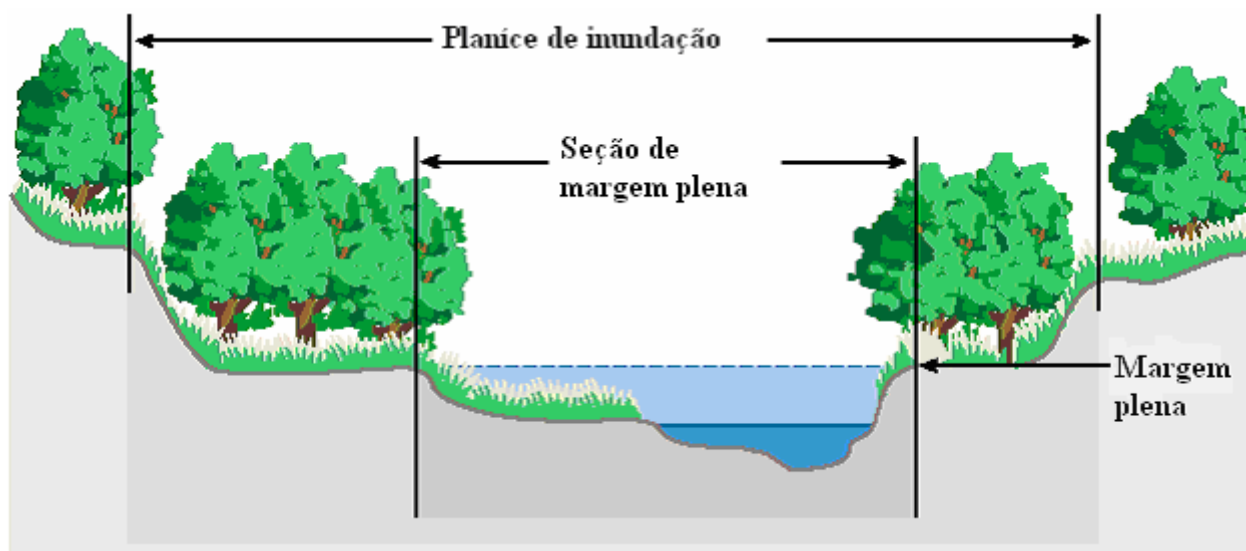


Figura 4.4: Esquema da seção de margens plenas.  
Fonte: FISRWG, 1998

Como já mencionado, o aumento do escoamento superficial devido à ocupação da área vai aumentar a vazão lançada no curso de água e, portanto, a carga detrítica do próprio corpo de água obtida pelo processo erosivo das margens e do leito.

Segundo Coelho (2006), o ajustamento morfológico do canal pode ocorrer em intervalos de tempo que variam de longo, médio e curto. A rapidez dessas transformações vai depender da dinâmica do funcionamento do canal, podendo levar desde alguns dias a várias décadas para serem ajustadas.

Dada a variabilidade dos fluxos, Wolman e Miller (1960; 1974), citado por Christofolletti (1981), consideram que os eventos de magnitude moderada e de ocorrência relativamente

freqüente controlam a forma do canal. Nessa categoria, os débitos de margens plenas surgem como os de maior poder efetivo na esculturação do modelado do canal.

No que se relaciona à freqüência de fluxos, considera-se os períodos de retorno, com base nas séries de máximas vazões anuais. Estima-se que os valores se situam entre 1 e 2 anos, embora valores mais elevados possam ocorrer. Porém, Christofolletti (1981) diz que a literatura geomorfológica procura considerar o valor de 1,58 como referência.

O interesse pelo reconhecimento das características dos canais fluviais tem crescido em todo o mundo, principalmente a partir de quando o homem, como agente modelador da paisagem, passou a interferir na dinâmica dos canais, em especial, com a intensificação do processo de urbanização (Suguio & Bigarella, 1990).

A importância dos canais fluviais não está somente em ser um dos agentes geomorfológicos mais expressivo no modelado da superfície terrestre, mas “como um condicionante ambiental da própria vida do homem” (Suguio & Bigarella, 1990). Desde os primórdios, as civilizações antigas prosperavam às margens dos rios, buscando conhecer sua dinâmica para fins de navegação e abastecimento de água.

As mudanças ocorrentes em uma bacia hidrográfica podem variar sob influência do processo de urbanização, estabelecendo novas condições de equilíbrio. Essas mudanças, como mencionado, registram-se de acordo com a escala temporal, podendo se dar ao longo do tempo geológico ou em um curto prazo (Wolman, 1967).

No caso dos rios urbanos que, cada vez mais, vêm sendo transformados, perdendo suas características naturais. As sucessivas obras de engenharia, como estabilização das margens ou retificação de canal, muitas vezes, sem um planejamento conjunto, modificam as seções transversais e o perfil longitudinal, alterando a eficiência do fluxo (Vieira, 1999).

Estudos geomorfológicos que envolvem o reconhecimento, a análise (quantitativa e qualitativa) e a avaliação dos canais podem fornecer informações importantes sobre a forma e os processos físicos atuantes no sistema fluvial (Thorne, 1996).

Os estudos da dinâmica fluvial são essenciais, não somente para compreensão da evolução das paisagens geográficas, mas também como meio para estabelecer o controle dos processos acelerados de erosão e sedimentação, resultantes da ocupação urbana. Portanto, existe a

necessidade da busca de indicadores geomorfológicos para a sustentabilidade ambiental que se traduz em dados qualitativos, mas, sobretudo quantitativos, para se detectar mudanças no sistema e se estabelecer os limites de equilíbrio dinâmico.

## **4.2. Drenagem Urbana**

Drenagem, segundo Neto (2006), é o termo empregado na designação das instalações destinadas a escoar o excesso de água, seja em rodovias, na zona rural ou na malha urbana, sendo que a análise dos impactos causados ao curso de água relativos à drenagem desta última é o objeto desse trabalho. A drenagem urbana não se restringe aos aspectos puramente técnicos impostos pelos limites restritos à engenharia, pois compreende o conjunto de todas as medidas a serem tomadas que visem à atenuação dos riscos e dos prejuízos decorrentes de inundações aos quais a sociedade está sujeita.

A drenagem, em princípio, era basicamente um complemento da irrigação, mas depois evoluiu para uma técnica com objetivos bem definidos, como recuperar grandes extensões de terrenos inundados, tais como charcos e pântanos, regular a umidade do solo em pequenas áreas de cultivo agrícola e desviar as águas do subsolo em terrenos destinados à construção.

Depois evoluiu para uma drenagem que passou a exigir projetos pormenorizados, compostos de dispositivos coletores, de transporte ou galerias e emissários, conforme sua função. Essa drenagem passou a ser um método eficaz para manter a salubridade de áreas urbanas ou a urbanizar, sujeitas a alagamentos e que pudessem converter-se em lodaçais e alagadiços.

A drenagem urbana, conhecida como sistema tradicional ou clássico de drenagem, conforme mencionado, é composta por dois sistemas distintos: o sistema inicial de drenagem, ou micro-drenagem e o sistema de macro-drenagem. Assim, as torrentes originadas pela precipitação direta sobre as vias públicas desembocam nas bocas de lobo situadas nas sarjetas. Estas torrentes (somadas à água da rede pública proveniente dos coletores localizados nos pátios e das calhas situadas nos topos das edificações) são escoadas pelas tubulações que alimentam os condutos secundários, a partir do qual atingem o fundo do vale, onde o escoamento ocorre, mesmo que não haja um curso de água perene (FCTH, 1999).

O sistema de drenagem é um melhoramento público, assim como redes de água, de esgotamento sanitário, de cabos elétricos e telefônicos, entre outros, que tem duas

peculiaridades: (a) o escoamento da água de chuva sempre ocorrerá, existindo um sistema de drenagem, ou não; e (b) a solicitação do sistema, não é permanente, isto é, somente durante e após a ocorrência de um evento de chuva.

O caminho percorrido pela água da chuva sobre uma superfície pode ser topograficamente bem definido. Após a implantação de uma cidade, o percurso das águas passa a ser determinado pelo traçado das ruas e acaba se comportando, tanto quantitativamente como qualitativamente, de maneira bem diferente de seu regime natural.

O desenvolvimento urbano está freqüentemente associado com a substituição de ambientes naturais ou seminaturais (solo, vegetação, recursos hídricos) por ambientes construídos e com o direcionamento das águas pluviais e dos esgotos para os corpos d'águas adjacentes aos canais de drenagem (Haughton e Hunter, 1994).

A retirada da cobertura vegetal, devido ao desenvolvimento urbano, potencializa a ocorrência de processos erosivos, os quais acarretarão maior transporte de sedimentos para os corpos d'água, gerando uma modificação na calha fluvial, maior custo no processo de tratamento das águas, assim como danos à vida aquática.

Até a atualidade, a prática de projetos de drenagem pluvial envolve o transporte para jusante de todo excesso de água gerado pela impermeabilização. Desta forma, à medida que o escoamento se desloca para jusante, é acrescido de novos aumentos de volume, resultando em acréscimos significativos na vazão máxima. Esse efeito, segundo Baptista e Nascimento (2001), leva à construção de novas obras de drenagem a jusante, com o aumento da seção transversal de canais naturais ou a substituição de condutos antigos por novos, de maiores dimensões, sendo obras de custos bastante elevados.

Portanto, à medida que a cidade se urbaniza ocorrem os seguintes impactos: aumento das vazões máximas devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos; deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial (Tucci e Collischonn, 2006). Entretanto esse estudo será dedicado apenas no aumento da vazão devido à ocupação urbana.

A produção de sedimentos é grande durante o desenvolvimento urbano, porém, após a completa ocupação da bacia, essa produção é reduzida, mas devido à impermeabilização do solo ocorre o aumento da vazão superficial lançada no corpo de água, provocando o entalhe da calha fluvial, portanto, aumentando os sedimentos gerados pelo próprio curso de água.

Segundo Pompêo (2006), a partir da década de 60, passou-se, em alguns países a questionar a drenagem urbana realizada de forma tradicional que, por intermédio de obras destinadas a retirar rapidamente as águas acumuladas em áreas importantes, transfere o problema para outras áreas. Nesse contexto, abrigam-se o projeto de grandes sistemas de galerias pluviais e as ações destinadas à “melhoria do fluxo” em rios e canais, concretizadas através de cortes de meandros, retificações e mudanças de declividade de fundo. Esta visão que ainda predomina em alguns meios técnicos, focaliza o controle do escoamento na própria calha do curso de água, dando pequena importância à geração do escoamento nas superfícies urbanizadas.

A partir da década de 1960, portanto, foram introduzidas outras formas de abordar a drenagem urbana. Foram introduzidas as denominadas medidas alternativas ou compensatórias que buscam compensar os efeitos da urbanização, atuando sobre os processos hidrológicos e visando o controle da produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização, evitando-se sua transferência rápida para jusante (Nascimento et al., 1997 e Baptista et al, 2005).

### **4.3. Sistemas Alternativos ou Compensatórios de Drenagem**

Segundo Netto (2004), a política que se baseia na canalização dos escoamentos, apenas transferindo para jusante as inundações faz com que a população tenha duas despesas: custo de sistema clássico de drenagem mais alto e maiores inundações. Portanto, esse autor apresenta os seguintes princípios modernos de controle da drenagem:

- ❑ *“ Novos desenvolvimentos não podem aumentar ou acelerar a vazão de pico das condições naturais (ou prévias aos novos loteamentos);*
- ❑ *considerar o conjunto da bacia hidrográfica para controle da drenagem urbana;*
- ❑ *buscar evitar a transferência dos impactos para jusante;*



- *valorizar as medidas não estruturais (educação tem papel fundamental);*
- *implementar medidas de regulamentação;*
- *implementar instrumentos econômicos.”*

Portanto, a tendência moderna na área de drenagem urbana é a utilização de dispositivos ou medidas de controle dos escoamentos na fonte. Essas medidas, conhecidas como técnicas alternativas de drenagem buscam controlar os escoamentos através da recuperação da capacidade de infiltração ou da detenção do escoamento adicional gerada pela superfície urbana. Essas tecnologias, segundo Castro (2002), podem assumir múltiplas formas como trincheiras, fossas, valas, pavimentos permeáveis, poços, telhados armazenadores, bacias de detenção secas ou com água, *etc.*

Baptista et al (2005) denominam as técnicas alternativas ou compensatórias como dispositivos que buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental.

Os referidos autores definem bacia de detenção como estrutura de acumulação temporária e/ou de infiltração de águas pluviais utilizada para atender a três funções principais: a) o amortecimento da cheia gerada em contexto urbano como forma de controle de inundações; b) a eventual redução de volumes de escoamento superficial, nos casos de bacias de infiltração; c) a redução da poluição difusa de origem pluvial em contexto urbano.

Esses autores citam ainda, que as bacias de detenção têm por função principal o controle de inundações, sendo a redução de cargas poluentes de origem pluvial um objetivo complementar. Por essa razão, o armazenamento de águas de escoamento provenientes de um evento faz-se por tempo relativamente curto. Um órgão de esvaziamento instalado no fundo da bacia (descarga de fundo) permanece em operação durante todo o evento. Bacias de detenção armazenam, sobretudo, os escoamentos que produzem as vazões mais elevadas de um evento.

Castro (2002) apresentou algumas vantagens e desvantagens de determinadas técnicas alternativas de drenagem. Para as bacias de detenção, por exemplo, cujo princípio é o rearranjo temporal da vazão, as principais vantagens são: efeito paisagístico, criação de área de lazer, possibilidade de depuração das águas, ganho financeiro com redução das dimensões

das tubulações a jusante e possibilidade de utilização dos volumes armazenados para outros fins. As principais desvantagens, segundo o referido autor, são: ocupação de grandes áreas e risco de proliferação de insetos e doenças veiculadas por eles nas áreas próximas à da bacia.

A Tabela 4.1 apresenta uma lista das medidas de controle na fonte, sua principal característica, função e efeito.

Tabela 4.1: Lista de medidas de controle na fonte

| Obra                      | Característica Principal  | Função  | Efeito   |
|---------------------------|---|---|--|
| Pavimento Poroso          | Pavimento com camada de base porosa como reservatório.              | Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir. | Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas. |
| Trincheira de infiltração | Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso | Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe.       | Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em áreas adjacentes.                           |
| Vala de infiltração       | Depressões lineares em terreno permeável                            | Infiltração no solo ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais.                                 | Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha.                               |
| Poço de infiltração       | Reservatório vertical e pontual escavado no solo                    | Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe.                  | Retardo e/ou redução do escoamento gerado em área contribuinte ao poço.                          |
| Micro-reservatório        | Reservatório de pequenas dimensões tipo “caixa d’água” residencial  | Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas.                                  | Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas                            |
| Telhado reservatório      | Telhado com função de reservatório                                  | Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação.   | Retardo do escoamento pluvial da própria edificação  |

|                            |   |  |   |
|----------------------------|---|--|---|
| Bacia de detenção          | Reservatório vazio (seco)                           | Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte | Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte         |
| Bacia de retenção          | Reservatório com água permanente                    | Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte | Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte         |
| Bacia subterrânea          | Reservatório coberto, abaixo do nível do solo.      | Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte.                         | Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte         |
| Condutos de armazenamentos | Condutos e dispositivos com função de armazenamento | Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial                                | Amortecimento do escoamento afluente à macro-drenagem           |
| Faixas gramadas            | Faixas de terrenos marginais a corpos de água       | Área de escape para enchentes  | Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais |

Fonte: Silveira, 2002

O sistema alternativo de drenagem urbana ou dispositivos de controle na fonte tem como objetivo, promover a redução e a retenção do escoamento pluvial de forma a desonerar os sistemas tradicionais de esgotamento pluvial ou mesmo evitar ampliações destes sistemas, ampliações estas que são muitas vezes, inviáveis e de vida útil curta face ao desenvolvimento urbano.

Seguindo as recomendações de Schueler (1987) e Azzout et al. (1994) citado por Silveira (2002), há vários fatores que condicionam a escolha da obra de controle de escoamento: área controlada, capacidade de infiltração do solo, freático alto, aquífero em risco, declividade alta, ausência de exutório, consumo de espaço, fundações e redes próximas, restrição de urbanização, afluência poluída, afluência com alta taxa de sedimentos, riscos sanitários e sedimentológicos por má operação, esforços e tráfegos intensos, flexibilidade de projeto, limites dimensionais da medida de controle.

A área controlada é a área de contribuição para os dispositivos de controle. A medida de controle utilizada dependerá da área de contribuição.

Pode-se observar na Tabela 4.2, que em áreas maiores, as medidas de controle mais recomendadas são as bacias de detenção e retenção.

Tabela 4.2: Áreas contribuintes adequadas para as medidas de controle.

| Medidas de Controle        | Áreas de Contribuição (ha) |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
|----------------------------|----------------------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
|                            | 0                          | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 20 | 40 |
| Pavimento poroso           | ■                          | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | □  | □  | □  | □  |
| Trincheira de infiltração  | ■                          | ■ | ■ | □ | □ | □  | □  | □  | □  | □  |
| Vala de infiltração        | ■                          | ■ | ■ | □ | □ | □  | □  | □  | □  | □  |
| Poço de infiltração        | ■                          | ■ | ■ | □ | □ | □  | □  | □  | □  | □  |
| Micro-reservatório         | ■                          | □ | □ | □ | □ | □  | □  | □  | □  | □  |
| Telhado reservatório       | ■                          | □ | □ | □ | □ | □  | □  | □  | □  | □  |
| Bacia de detenção          | □                          | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| Bacia de retenção          | □                          | □ | □ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  | ■  | ■  |
| Bacia subterrânea          | ■                          | ■ | ■ | ■ | □ | □  | □  | □  | □  | □  |
| Conduitos de armazenamento | ■                          | ■ | □ | □ | □ | □  | □  | □  | □  | □  |
| Faixa gramada              | ■                          | ■ | ■ | □ | □ | □  | □  | □  | □  | □  |

Fonte: Silveira (2002)

- Viabilidade de implantação
- Viabilidade depende de condição específica
- Inviável, a princípio.

As medidas de controle que têm como função apenas o armazenamento e não a infiltração da água, necessitam de um local de destino para sua descarga. Há locais, entretanto, onde não há uma rede pluvial ou um córrego próximo para receber a água. Há outros locais em que, por questões ambientais, não é permitido o despejo no meio natural. Assim, a ausência de exutório é altamente limitante à utilização de medidas de controle de armazenamento. As medidas de controle de infiltração, a princípio, não têm maiores problemas quanto a isso, mas é preciso prever o que fazer no caso de chuvas maiores que as de projeto.

A ocupação em regiões planas com alta taxa de infiltração e baixa densidade de drenagem, foco desse trabalho, tem essa condicionante, pois, não há um córrego próximo para receber a água pluvial, necessitando, portanto de medidas de controle de infiltração.

O pavimento permeável, segundo Araújo et al. (2001), é capaz de reduzir volumes de escoamento superficial e vazões de pico em níveis iguais ou até inferiores aos observados antes da urbanização.

Os pavimentos permeáveis, segundo Araújo (1999), são classificados em três tipos: pavimento de asfalto poroso, de concreto poroso e de blocos de concreto perfurado

preenchido com areia ou grama. Os pavimentos porosos têm a camada de revestimento executada de forma similar aos pavimentos convencionais, mas com a retirada da fração de areia fina da mistura dos agregados do pavimento.

As restrições para o uso de pavimentos permeáveis são: alto nível da camada impermeável do solo, baixa permeabilidade do solo e lençol freático com o nível elevado. Nestas situações, este dispositivo poderá ser usado como reservatório de detenção, devendo-se prever a instalação de uma superfície impermeável entre o solo e o reservatório de pedras e um sistema de drenagem com tubos perfurados (Araújo, 1999).

Com base em estudos experimentais realizados por Araújo (1999), foi comparada hidrologicamente a utilização de pavimentos de diferentes permeabilidades na redução do escoamento superficial, em módulos de  $1,0 \text{ m}^2$ , tais como solo compactado, pavimento de concreto, paralelepípedos de granito, blocos de concreto pré-moldados intertravados, blocos de concreto com elementos vazados e concreto poroso. Os resultados obtidos neste experimento foram que os coeficientes de escoamento das superfícies permeáveis variaram de 0,5% para pavimento de blocos vazados, 3% para concreto poroso, entre 60% e 80% para solo compactado, de 70% a 80% para paralelepípedo de granito e blocos intertravados e 85% a 95% para pavimento de concreto.

Outro dispositivo já citado, o micro-reservatório de detenção, que é uma estrutura construída abaixo do nível do solo de edificações para armazenamento temporário de água de chuva, tem como funções principais: controle distribuído do escoamento das águas pluviais na bacia hidrográfica, minimização dos efeitos da impermeabilização do solo, recuperação da capacidade de amortecimento da bacia, entre outras.

Em simulações sobre o uso de micro-reservatório em lotes de  $300 \text{ m}^2$  a  $600 \text{ m}^2$ , com períodos de retorno de 2 a 5 anos, onde os volumes escoados eram de 39% a 109% superiores aos de condições de pré-urbanização, Cruz et al (1998), com a utilização de micro-reservatório de  $2,5 \text{ m}^3$  e com ocupação de 1% da área total do lote, obtiveram resultados em volumes iguais aos de pré-urbanização. Onde, por exemplo, em condições de impermeabilização de 100% e tempo de retorno de 5 anos, com lotes de  $300 \text{ m}^2$ , se obteve um volume de detenção de  $1,25 \text{ m}^3$  e para lote com  $600 \text{ m}^2$ , o volume foi de  $2,20 \text{ m}^3$ .

As regiões metropolitanas deixaram de crescer em seu núcleo, mas se expandem na periferia, apresentando, na rede de drenagem pluvial, segundo Tucci (2005), dois problemas: (a) além do transporte do esgoto que não é coletado pela rede de esgoto sanitário, também transporta a contaminação do escoamento pluvial; (b) A construção excessiva de canais e condutos apenas transfere as inundações de um local para outro dentro da cidade, a custos insustentáveis para o município.

Como mencionado, os fundamentos da drenagem urbana moderna estão basicamente em não transferir os impactos à jusante, evitando a ampliação das cheias naturais, recuperar os corpos hídricos, buscando o reequilíbrio dos ciclos naturais (hidrológicos, biológicos e ecológicos) e considerar a bacia hidrográfica como unidade espacial de ação.

A execução de obras de drenagem das áreas urbanas e adjacentes faz parte de um conjunto de obras de infra-estrutura necessárias à garantia da integridade física das propriedades urbanas para evitar a perda de bens e vidas humanas.

Nas fases de concepção e projeto de sistemas de drenagem, as variáveis hidrológicas de projeto chuva ou vazão, são utilizadas como entrada dos sistemas em análise de forma a avaliar se os mesmos são adequados para atender aos objetivos pretendidos com sua implantação. Além dos aspectos puramente hidrológicos, diversos outros aspectos devem ser integrados na análise: as implicações tecnológicas, econômicas, ambientais, culturais, sociais, legais, estéticas, de segurança pública e de saúde pública, relacionadas com as condições de funcionamento do sistema. “O que se procura obter, em última análise, é um equilíbrio entre a segurança no atendimento dos objetivos hidrológicos fixados, a satisfação dos diversos aspectos intervenientes e os custos de implantação dos sistemas” (Baptista e Nascimento, 2000).

Para gerenciamento adequado da drenagem urbana são indispensáveis o conhecimento da área, o seu monitoramento, o planejamento de ações visando minimização dos impactos e principalmente da participação e motivação da população envolvida.

Após o desenvolvimento das técnicas alternativas dos sistemas de drenagem, a concepção desses sistemas se tornou complexa. Devido a essa complexidade, Moura (2004) desenvolveu uma metodologia de auxílio à decisão baseada em análise multicritério, integrando indicadores de desempenho e de custo. Os indicadores de desempenho foram propostos por

Castro (2002) e a referida autora agregou um indicador financeiro. Em ambos os estudos a conclusão foi que os projetos que utilizaram técnicas alternativas de drenagem se mostraram mais bem classificados.

Em áreas com topografia aplainadas, o escoamento superficial é reduzido e a maior parte da água precipitada se destina à recarga dos aquíferos. Por esse motivo, a densidade de drenagem é baixa. A ocupação dessa área reduz essa recarga e aumenta o escoamento superficial o que provoca uma grande mudança no sistema natural de drenagem. Utilizando-se o sistema clássico de drenagem nessas áreas, os canais deverão percorrer grandes extensões e os corpos de água receberão vazões muito aumentadas, significando um grande impacto em todo o sistema de drenagem da área. Portanto, é necessário um planejamento adequado da ocupação dessas áreas considerando a drenagem urbana.

No presente estudo, considerou-se um indicador para definir a vazão máxima que poderá chegar no curso de água após a urbanização. Existem muitas definições para o termo indicador, nesse caso ele foi definido como sendo uma variável, um parâmetro ou uma medida que fornece informações sobre o estado de um fenômeno (Mc Queen e Noak, 1988 apud Castro 2006).

Esse indicador, portanto, é a vazão dominante (vazão de margens plenas) que deve ser mantida após a ocupação para se manter o equilíbrio fluvial.

#### **4.4. Planejamento Urbano**

Conforme Baptista et al. (2005), as técnicas compensatórias são geralmente implantadas superficialmente, desempenhando também outras funções. Isso implica em uma concepção de forma integrada com o projeto urbanístico. Assim, é necessário tratar a questão das águas pluviais e de seu manejo ao mesmo tempo em que se elabora o projeto de ordenamento urbano.

O planejamento territorial urbano tem sido usado como uma forma de ordenar o crescimento das cidades, de modo a minimizar os problemas decorrentes da urbanização (Mota, 1981).

Dessa forma, a organização do uso do solo urbano constitui uma importante ferramenta no processo de ordenação. Os usos preponderantes, compatíveis ou indesejáveis para as áreas de

uma cidade podem resultar em uma adequada distribuição de atividades, evitando-se assim, os efeitos negativos sobre o ambiente de vida de seus habitantes.

Segundo Epstein (1974), citado por Mota (1981):

*“ O planejamento urbano consiste na organização do espaço, das atividades e funções de uma cidade, levando em consideração a realidade existente e suas implicações no desenvolvimento futuro, não só do ponto de vista físico, como também social e econômico, para obter o bem-estar progressivo desta localidade.”*

O Planejamento Urbano visa, portanto, a ordenação do espaço físico e a garantia de um meio ambiente que proporcione uma qualidade de vida indispensável a seus habitantes. Esse planejamento possibilita, também, que as atividades se desenvolvam de formas não conflitantes. Mas vale dizer que não cabe a ele o “fornecimento” dos insumos que vão suprir as necessidades humanas. Além disto, o Planejamento Urbano possibilita as interações dessas atividades no espaço, através da locação dos sistemas de infra-estrutura, como o viário e a própria gestão das atividades e sua interação no espaço.

Diferencia-se, aqui os conceitos: Planejamento Urbano, Urbanismo e Urbanização. O Planejamento Urbano propõe uma normatização para o espaço urbano, ou seja, cria diretrizes, o Urbanismo é a totalidade da disciplina, o campo de atuação dos diversos agentes no espaço da cidade, ou seja, é a ciência que estuda o espaço urbano e a cidade e, a Urbanização é o processo de crescimento, de ampliação das redes de infra-estrutura e do aumento da população.

Segundo Tucci e Bertoni (2003), a urbanização “explosiva” do mundo contemporâneo e todos os problemas relacionados a ela é uma das temáticas mais importantes da atualidade.

O processo de urbanização observado nos países em desenvolvimento apresenta grande concentração populacional com deficiências nos sistemas de transporte, de abastecimento e saneamento, problemas de contaminação do ar e da água e inundações. Estas condições ambientais inadequadas reduzem as condições de saúde e, portanto, afetam a qualidade de vida da população. Este aumento dos impactos ambientais negativos limitam o adequado desenvolvimento (Tucci e Bertoni, 2003).



No Brasil, nos anos 1930, começa no sul do País, a elaboração de planos diretores municipais, que têm como finalidade orientar a ação do poder público e da iniciativa privada na construção dos espaços urbano e rural na oferta de serviços públicos essenciais, visando assegurar melhores condições de vida para a população. Nos anos 1970, criou-se a Lei de Uso e Ocupação do solo, como por exemplo, a de Belo Horizonte que é baseada nos preceitos modernistas, de funcionalidade e setorização. Assim, existem áreas de comércio, áreas de residências, áreas de indústria, dentre outras. Nos anos 1990, começa a “flexibilização dos usos”, podendo essa forma de ocupação coexistir no mesmo espaço, desde que compatíveis, ou seja, que um não atrapalhe o outro.

Durante o processo da formulação da Constituição de 1988, houve uma articulação nacional - o Movimento Nacional pela Reforma Urbana que propiciou o deslocamento dos movimentos reivindicatórios e de lutas localizadas que prevaleceram nos anos 1970 para uma pauta que articulou um conjunto amplo de setores sociais. Segundo Feldman (2004), estes setores tiveram papel destacado na elaboração de uma Emenda Popular de Reforma Urbana, na aprovação do capítulo da Política Urbana da Constituição de 1988, na elaboração das propostas de constituições estaduais, nas leis orgânicas e planos diretores municipais elaborados pelas administrações municipais pós-eleições de 1989.

Paralelamente ao processo de politização da questão urbana, tem-se um processo de ecologização da questão urbana. Se a politização é introduzida na pauta dos debates sobre as cidades através de um movimento de amplitude nacional, a ecologização é fruto de um movimento planetário, que se inicia nos anos 1960 nos Estados Unidos e Europa. Em 1972, no Congresso de Estocolmo é formulado o primeiro plano de ação global sobre o meio ambiente. No final dos anos 1980, um novo patamar se estabelece, com a abertura das entidades ambientalistas para a problemática do desenvolvimento sustentável. Dá-se, portanto, a vinculação da questão ecológica à questão econômica, o que, até meados da década de 1980 não era reconhecido pelos ambientalistas. A questão ambiental foi um dos aspectos que maior atenção recebeu dos parlamentares no processo de elaboração da Constituição de 1988. Assim como a política urbana, incorpora-se na Carta Constitucional, pela primeira vez, no Brasil, o direito ambiental (Feldman, 2004).

A Constituição brasileira de 1988 trouxe do ponto de vista jurídico o dever de promulgação do Plano Diretor aos Municípios cuja cidade tivesse mais de vinte mil habitantes (art. 182, §

1º). Porém, não assinalou o prazo para realização daquela exigência, tornando difícil caracterizar as situações de violação ao preceito. Além disso, não previu claramente a sanção aplicável aos inadimplentes. Prevaleceu a impressão de que a obrigatoriedade da edição do instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana era norma imperfeita. O fato é que se uma parte dos Municípios ao longo da década de 1990 procurou observar a determinação constitucional, outros permaneceram inertes, sem que se conheça qualquer punição em decorrência disso.

Com o advento da Lei Federal nº 10.257/01, Estatuto da Cidade, deu-se maior efetividade à obrigação prevista desde a Carta Constitucional. Isto porque contemplou finalmente o prazo máximo para elaboração do Plano Diretor para os Municípios com mais de vinte mil habitantes em suas cidades e também para aqueles inseridos em região metropolitana: cinco anos, contados a partir do início da vigência do Estatuto da Cidade, período que se encerrou em 10 de outubro de 2006.

O Estatuto da Cidade estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental. Em seu inciso IV, Artigo 2º cita que a política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante a seguinte diretriz: planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente.

O Plano Diretor, portanto, é a lei magna do município e, entre outras, estabelece diretrizes para a ocupação da cidade. Ele deve identificar e analisar as características físicas, as atividades predominantes e as vocações da cidade, os problemas e as potencialidades. É um conjunto de regras básicas que determinam o que pode e o que não pode ser feito em cada parte de cidade. O Plano Diretor deve ser discutido e aprovado pela Câmara de Vereadores e sancionado pelo prefeito. O resultado, formalizado como Lei Municipal, é a expressão do pacto firmado entre a sociedade e os poderes Executivo e Legislativo.

Segundo Tucci (2002), todo Plano Diretor deve conter em seu bojo um Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU), pois o rápido crescimento das cidades brasileiras observado nas últimas décadas tem gerado grandes problemas em praticamente todos os aspectos da infra-estrutura urbana e em

particular, no que se refere à drenagem das águas pluviais. O sistema clássico, baseado na rápida evacuação das águas para longe dos centros de geração do escoamento, mostra-se insuficiente, além de apresentar altos custos. Para resolver este problema, novas soluções têm sido pensadas e estudadas, procurando favorecer o controle na fonte. Os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU) tentam traduzir esses conceitos compensatórios buscando sua implementação nos centros urbanos.

O desenvolvimento do PDDrU, segundo Goldenfum e Tucci (2002), inclui medidas estruturais e não-estruturais.

As principais medidas não-estruturais envolvem legislação e regulamentação sobre o aumento da vazão devido à urbanização e a ocupação da área de risco de áreas ribeirinhas, além da gestão dos serviços urbanos relacionados com as águas pluviais.

As estruturais são constituídas por medidas físicas de engenharia destinadas a desviar, deter reduzir ou escoar com maior rapidez e menores níveis as águas do escoamento superficial direto, evitando-se assim os danos e interrupções das atividades causadas pelas inundações (FCTH, 1999).

Goldenfum e Tucci (2002) citam que o PDDrU deve obter os seguintes produtos:

- ❑ *“Legislação e/ou Regulamentação que compõem as medidas não-estruturais;*
- ❑ *Proposta de gestão da drenagem urbana dentro da estrutura municipal de administração;*
- ❑ *Mecanismo financeiro e econômico para viabilizar as diferentes medidas;*
- ❑ *Plano de controle das bacias hidrográficas urbanas: os estudos necessários de controle estrutural de cada sub-bacia da cidade;*
- ❑ *O Plano de Ações que é o conjunto de medidas escalonadas no tempo de acordo com a viabilidade financeira;*
- ❑ *Manual de Drenagem: o manual de drenagem deve dar bases ao Plano e todos os elementos necessários ao preparo dos projetos na cidade.”*

Segundo Marques (2006) o plano diretor de drenagem deve apresentar ao menos os seguintes requisitos básicos: planejamento, diretrizes para o manual de drenagem, melhorias importantes e proposição de aparato legal específico.

Portanto, o desenvolvimento urbano tem produzido um impacto significativo na drenagem urbana, sobretudo no aumento da frequência e magnitude das inundações e na deterioração ambiental. Os mecanismos de ação ordenada que buscam equilibrar esse desenvolvimento com as condições ambientais das cidades são os Planos Diretores de Drenagem Urbana. A política desses Planos usa critérios e princípios básicos de controle, de estratégias e de interfaces com outros planos, por exemplo de esgotos sanitários, resíduos sólidos e de desenvolvimento (Tucci, 2002).

Segundo Baptista et al (2005), os instrumentos de planejamento municipal que podem repercutir de forma mais efetiva sobre o emprego das técnicas compensatórias de drenagem pluvial são o plano diretor, os planos setoriais, aí incluído o de gestão de águas pluviais, a regulamentação do parcelamento do solo e o zoneamento ambiental.

Conforme mencionado, o zoneamento diz respeito ao tipo de uso, segundo Sarno (2004), citado por Baptista (2005), é um instrumento legal de regulação do uso do solo por meio de partições espaciais às quais se conferem possibilidades ou proibições.

Ao controlar o uso do solo e a densidade de ocupação, o zoneamento permite: i) proteger áreas ambientais sensíveis, como as áreas úmidas; ii) restringir o desenvolvimento em áreas de risco; iii) restringir a ocupação de áreas de interesse para a gestão de águas pluviais (Baptista et al., 2005).

A nova lei de diretrizes nacionais para o saneamento básico, a Lei 11.445 de janeiro de 2007, estabelece no capítulo I, artigo 2º, inciso IV que os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base na disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado. O artigo 3º, inciso I, define saneamento básico como conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais de:

*“a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;*

*b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;*

*c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;*

*d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.”*

Portanto, a legislação de saneamento básico define a necessidade da implantação da infraestrutura de drenagem de águas pluviais, considerando todas as suas formas. Assim, assegura a saúde pública e a segurança da vida e do patrimônio público e privado. Essa Lei cita ainda que esse serviço terá a sustentabilidade econômico-financeira assegurada, sempre que possível, mediante remuneração pela cobrança desse serviço (Capítulo VI, artigo 29, inciso III).

Dessa forma, a ocupação de áreas planas, com características geomorfológicas que facilitam a infiltração e com baixa densidade de drenagem, necessitam áreas desocupadas para utilização de medidas compensatórias de drenagem urbana. Precisa-se, portanto, de um instrumento legal que regule essa ocupação, ou seja, o planejamento urbano.

## 5. METODOLOGIA

O objetivo desta seção é apresentar as etapas, ordenadamente dispostas, que foram executadas e permitiram o desenvolvimento desse estudo.

Por meio de consulta à bibliografia foram estudados os temas de geomorfologia e morfologia fluvial, drenagem urbana e planejamento urbano para contextualizar a pesquisa.

Para encontrar os resultados requeridos nesse estudo foram aplicados os seguintes passos em uma área plana. Analisaram-se algumas bacias hidrográficas existentes na região, visando, principalmente bacias sem ocupação, com baixa densidade de drenagem e com medições para se ter dados do curso de água em seu estado natural. Nesse estudo, ocupou-se (impermeabilizou-se) hipoteticamente uma dada bacia escolhida para analisar o aumento do escoamento superficial e conseqüente impacto no curso de água. De posse desse conhecimento, calculou-se a área que deveria permanecer desocupada para utilização de dispositivos compensatórios de drenagem urbana.

Utilizou-se o método empírico por simulação matemática, para montagem do cenário em estudo.

Para se conhecer as características físicas da bacia consideraram-se alguns dados como área e formação geomorfológica: fator de forma (Equação. 4.1), densidade de drenagem (Equação 4.2), declividade equivalente e tempo de concentração através das equações 5.1 e 5.2, a seguir:

$$I_e = \left[ \frac{\sum L_i I_i^{1/2}}{L} \right]^2 \quad (5.1)$$

onde:  $I_e$  = declividade equivalente (m/m) e  $L_i$  = comprimento referente ao sub-trecho de declividade  $I_i$  (m) e  $L$  = maior extensão de escoamento (m).

$$t_c = 0,0195 L^{0,77} \left( \frac{F}{L} \right)^{-0,385} \quad (5.2)$$

onde:  $t_c$  = tempo de concentração (min),  $L$  = distância máxima do percurso de água (m) e  $F$  = diferença de altitude do ponto mais afastado da bacia e o exutório (m).

Considerou-se uma seção de referência no curso de água (seção do posto fluviométrico) como o local onde foi fixada a restrição, ou seja, seção onde deverá ser mantido o equilíbrio morfológico. Conforme mencionado, Lane representou esse equilíbrio em uma balança, mostrando que a vazão líquida e a vazão sólida em uma seção fluvial estão diretamente relacionadas. Para manter o equilíbrio, deve-se manter a descarga líquida que alcança essa seção. Portanto, esse estudo atuou exclusivamente na restrição da vazão líquida dominante.

A vazão dominante na seção de referência foi definida através do cálculo de vazão de margens plenas obtida por Williams (1978) e citada por Chang (1988) para tempo de retorno de 2 e 5 anos (Equação 5.3), pois as vazões mais frequentes são as que definem a morfologia do canal. Conforme mencionado no capítulo 4, essa vazão é considerada como representativa das condições morfogenéticas relativas ao canal fluvial.

$$Q = 4A_f^{1,21} S^{0,28} \quad (5.3)$$

Sendo  $Q$ , a vazão de margens plenas ( $m^3/s$ ),  $A_f$ , a área da seção transversal ( $m^2$ ) e  $S$ , a declividade (m/m).

As vazões máximas que ocorrem no córrego foram encontradas através de método direto. Estudaram-se as máximas vazões do talvegue, através da análise de frequência do escoamento no curso de água, sendo utilizados dados do posto fluviométrico. Segundo Chow et al (1988) a análise de frequência tem por objetivo relacionar a magnitude dos eventos extremos à sua frequência de ocorrência através do uso da distribuição de probabilidade. A função de distribuição de probabilidade do Extremo Valor Tipo I (EVI) é:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right] \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (5.4)$$

onde:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s}{\pi} \quad (5.5)$$

$$u = \bar{x} - 0,5772\alpha \quad (5.6)$$

sendo  $s$  o desvio padrão e  $\bar{x}$  a média das variáveis  $x$ .

Para determinar o valor máximo da vazão  $x_T$  para determinado tempo de retorno  $T$ , calculou-se  $y_T$ , dado por:

$$y_T = -\ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right] \quad (5.7)$$

Assim,

$$x_T = u + \alpha y_T \quad (5.8)$$

Os tempos de retorno utilizados foram 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Dessa forma, a análise de frequência foi utilizada para se conhecer as vazões máximas que ocorrem no córrego para cada tempo de retorno.

Para estabelecer relações entre os parâmetros hidrológicos e os elementos de desenvolvimento urbano, foram obtidas informações sobre o plano diretor da região.

Em seguida, para poder analisar a urbanização hipotética da bacia, foi aplicado o método indireto, modelo chuva-vazão (modelo HEC-HMS – Hydrology Modelling System, versão 2.2.2, desenvolvido pelo U. S. Army Corps of Engineers), para definir vazões congruentes às encontradas pela análise de frequência. Assim, através desse modelo analisou-se o aumento da impermeabilização da bacia e conseqüente acréscimo do escoamento superficial.

Para o cálculo das vazões através de simulação utilizando o modelo HEC-HMS, foram adotados os dados existentes. Inicialmente, tomou-se a chuva de tempo de retorno de 2 anos e duração de 24 horas e depois as chuvas de 5, 10, 25 50 e 100 anos. A altura da chuva resultante foi subdividida em blocos com uma duração  $\Delta t = 30$  min, compondo um hietograma segundo a distribuição de Huff (Chow et al., 1988).

A duração de 24h de chuva foi obtida através da verificação da duração crítica.



A partir do hietograma de chuva total, foi calculada a chuva efetiva para o escoamento superficial, empregando o método indireto do SCS – Soil Conservation Service, para uma curva índice CN.

A capacidade de abstração (intercepção, infiltração, armazenamento superficial e evapotranspiração) de uma bacia depende das suas características (como tipo do solo, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo). A diferença entre a chuva total e as abstrações, é a chuva efetiva ou *runoff*.

O método da curva índice do Soil e Conservation Service (SCS), segundo Ponce (1989) é um método de abstração de chuva largamente usado. Neste método, o deflúvio é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração submetido a uma curva índice ou CN. A CN varia de 1 a 100, em função das propriedades da bacia: tipo de solo, uso e ocupação do solo, condições da superfície do solo e condição da umidade antecedente. Em superfícies impermeáveis CN = 100, e sobre superfícies sem impermeabilização, CN < 100. Para bacias sem medições, estimativas da curva índice são dadas em tabelas fornecidas pelo SCS.

Para determinação do hidrograma resultante foi considerado o método de Clark que considera a capacidade de armazenamento do sistema de drenagem, supondo a existência de um reservatório concentrado na saída da bacia hidrográfica, ou seja, é fundamentado no conceito de armazenamento (Ramos, 1998).

Segundo Ponce (1989), o método de Clark tem a vantagem que as características da bacia (forma, comprimento do curso de água, rugosidade entre outros) são refletidas no histograma tempo-área e, portanto, na forma do hidrograma unitário.

Para utilização do método de Clark é necessário conhecer o tempo de concentração  $t_c$  da bacia e seu coeficiente de armazenamento K. Nesse trabalho foi utilizada a seguinte expressão para o coeficiente de armazenamento:

$$\frac{K}{t_c + K} = 0,65 \quad (5.9)$$

Após encontrar os hidrogramas da bacia do córrego Bananal em seu estado natural analisou-se o crescimento urbano modificando-se as características da bacia. Considerou-se a impermeabilização gradativa da bacia, utilizando CN = 98 para áreas impermeabilizadas e

através da média ponderada foram sendo encontradas as curvas CN que melhor representava a sua ocupação gradual.

Quando os materiais rochosos das margens e do leito possuem fraca coesão, sendo facilmente removidos pela ação morfogenética fluvial, em qualquer estágio, a largura poderá aumentar muito mais rapidamente que a profundidade e o aumento da velocidade será lento. Ao contrário em canais compostos por materiais coesivos, a largura varia muito pouco em função do aumento da vazão e os ajustamentos maiores são observados na profundidade e na velocidade (Christofolletti,1981).

Conforme mencionado no capítulo 4, item 4.1, a forma do canal está relacionada às vazões de margens plenas, assim, utilizou-se a equação 5.3 para encontrar a variação da área da seção transversal do curso de água devido ao acréscimo de vazão.

Portanto, após encontrar essas áreas, analisou-se o volume de sedimentos gerado pela erosão das margens e do fundo, para demonstrar o impacto que uma ocupação gera no curso de água. Em consequência dessa erosão tem-se o aumento da vazão sólida e o assoreamento a jusante desses sedimentos.

As mudanças ocorridas na vazão de um curso de água, devido à ocupação, implicam em alterações e ajustamentos em diversas variáveis, principalmente na largura, profundidade e velocidade. Para minimizar esses impactos foram propostas algumas medidas compensatórias que têm como função reter o excesso de água pluvial gerado pela urbanização.

Utilizando os resultados obtidos, foram analisados os seguintes dispositivos de controle: bacia de retenção, pavimentos permeáveis e micro-reservatórios em lotes de 300 m<sup>2</sup> e 600 m<sup>2</sup>.

Para a bacia de retenção foi encontrada a área que deverá permanecer sem ocupação para utilização desse dispositivo. Foi considerada uma bacia com 1,5 m de profundidade e 24 horas de tempo de retenção.

Para os pavimentos permeáveis, foi considerado que 20% da área total estivesse ocupada por ruas com revestimento de pavimento de blocos vazados, que segundo Araújo (1999), possui um coeficiente de escoamento de 0,5%.

Para a utilização dos micro-reservatórios, foram feitas simulações utilizando o modelo HEC HMS para as áreas de 300 m<sup>2</sup> e 600 m<sup>2</sup>, observando o índice de impermeabilidade permitido pelo Plano Diretor Local.

Finalmente, os resultados foram reunidos e interpretados para chegar às considerações finais.

### **5.1 Aplicação da metodologia**

Para tal estudo foram analisadas algumas bacias pertencentes ao Distrito Federal que se encontra na região centro-oeste do Brasil. Essa é uma região que possui áreas planas com baixa densidade de drenagem.

Através desse levantamento optou-se pela bacia do córrego Bananal, afluente do Lago Paranoá, que se situa em uma área preservada (Parque Nacional de Brasília), portanto, natural. Assim, definiu-se a bacia hidrográfica como unidade de análise.

Os dados das características física da bacia, como área e formação geomorfológica, foram fornecidos pelo PGIRH/DF (Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal - Golder/Fahma, 2005).

Para encontrar a área da seção transversal do curso de água, foram utilizados os dados geométricos da seção, disponibilizados pela CAESB (posto fluviométrico 60477600 – EPIA, em anexo) e foi utilizada a declividade equivalente. Esse posto, segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA) se encontra nas coordenadas: latitude -15:43:41 e longitude -47:54:36, na confluência do córrego do Acampamento com o córrego Bananal.

Para o cálculo das vazões através de simulação utilizando o modelo HEC-HMS – Hydrology Modelling System, versão 2.2.2, desenvolvido pelo U. S. Army Corps of Engineers, foram adotados os dados publicados pelo DNOS (Departamento Nacional de Obras de Saneamento) em 1957 para o posto pluviométrico de Formosa-GO. Inicialmente, tomou-se a chuva de tempo de retorno de 2 anos e duração de 24 horas (97,2 mm) e depois as chuvas de 5, 10, 25 50 e 100 anos, conforme demonstrado a seguir. A altura da chuva resultante foi subdividida em blocos com uma duração  $\Delta t = 30$  min, compondo um hietograma segundo a distribuição de Huff (Chow et al., 1988).

Em seguida, considerou-se, também, as chuvas de tempo de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, 115,9 mm, 131,5 mm, 154,6 mm, 174,1 mm e 195,8 mm, respectivamente (DNOS), e utilizou-se o mesmo processo realizado para a chuva de 2 anos de tempo de retorno para chegar nos hietogramas e em seguida na chuva efetiva.

A partir do hietograma de chuva total, foi calculada a chuva efetiva para o escoamento superficial, empregando o método indireto do SCS – Soil Conservation Service, para uma curva índice CN.

Como a área da bacia é natural, com relevo aplainado e formação predominantemente argilo-arenosa, considerou-se CN variando de 41 a 49 para observar a curva que melhor representaria a bacia em seu estado natural. Analisando os hidrogramas resultantes dessas curvas e comparando-se com as vazões encontradas pela análise de frequência, obteve-se a curva CN que melhor representou a bacia sem ocupação para os tempos de retorno de 2 e 5 anos.

Leite et al (1992), em uma pesquisa feita sobre as propriedades físico-hídricas da vegetação nativa do Parque Nacional de Brasília, concluíram que a taxa de infiltração medida em condições naturais é superior às intensidades mais frequentes no Distrito Federal.

Baseado nos dados disponibilizados pela CAESB, as vazões mínimas históricas se encontram em torno de 1 m<sup>3</sup>/s, que foi adotado como escoamento de base.

Assim, para o cálculo do hidrograma de vazão foi aplicado o modelo HEC-HMS – Hydrology Modelling System, versão 2.2.2, desenvolvido pelo U. S. Army Corps of Engineers, com os seguintes dados:

- Área da bacia = 112 km<sup>2</sup>
- CN = 47
- Método de Clark
  - Tempo de concentração = 4 horas
  - Coeficiente de armazenamento K = 7,3 horas
- Escoamento de base de 1 m<sup>3</sup>/s

Considerou-se a taxa de permeabilidade de 10% definida pelo Plano Diretor Local (PDL) da Região Administrativa de Planaltina e da Região Administrativa do Gama. O PDL considera taxa de permeabilidade a área que deverá permanecer desocupada. Observou-se, também, a Resolução CONAMA 303 de 2002, Art. 3º, que constitui Área de Preservação Permanente, a faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima de trinta metros para o curso de água com menos de dez metros de largura. Portanto, a área da bacia que poderia ser ocupada seria de 110,7 km<sup>2</sup>, ou seja, 98,9% da área total. Porém, observou-se, também, que a área estudada se trata de uma região de veredas, portanto, segundo essa mesma legislação, deverá ser preservada a faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de cinquenta metros, a partir do limite do espaço brejoso e urbanização, considerou-se uma ocupação de 90% da área total.

Portanto, após encontrar o aumento de vazão, devido a ocupação, analisou-se o volume de sedimentos gerado pela erosão das margens e do fundo, para demonstrar o impacto que uma ocupação gera no curso de água. Em consequência dessa erosão tem-se o aumento da vazão sólida e o assoreamento a jusante desses sedimentos.

Para minimizar esses impactos foram propostas as seguintes medidas compensatórias que têm como função reter o excesso de água pluvial gerado pela urbanização: bacia de detenção, pavimentos permeáveis e micro-reservatórios em lotes de 300 m<sup>2</sup> e 600 m<sup>2</sup>. Os resultados obtidos se encontra no capítulo 6 desse estudo.

## 6. Estudo do Caso

Para avaliar a metodologia proposta nesse trabalho, foi realizado um estudo de caso em uma bacia do Distrito Federal.

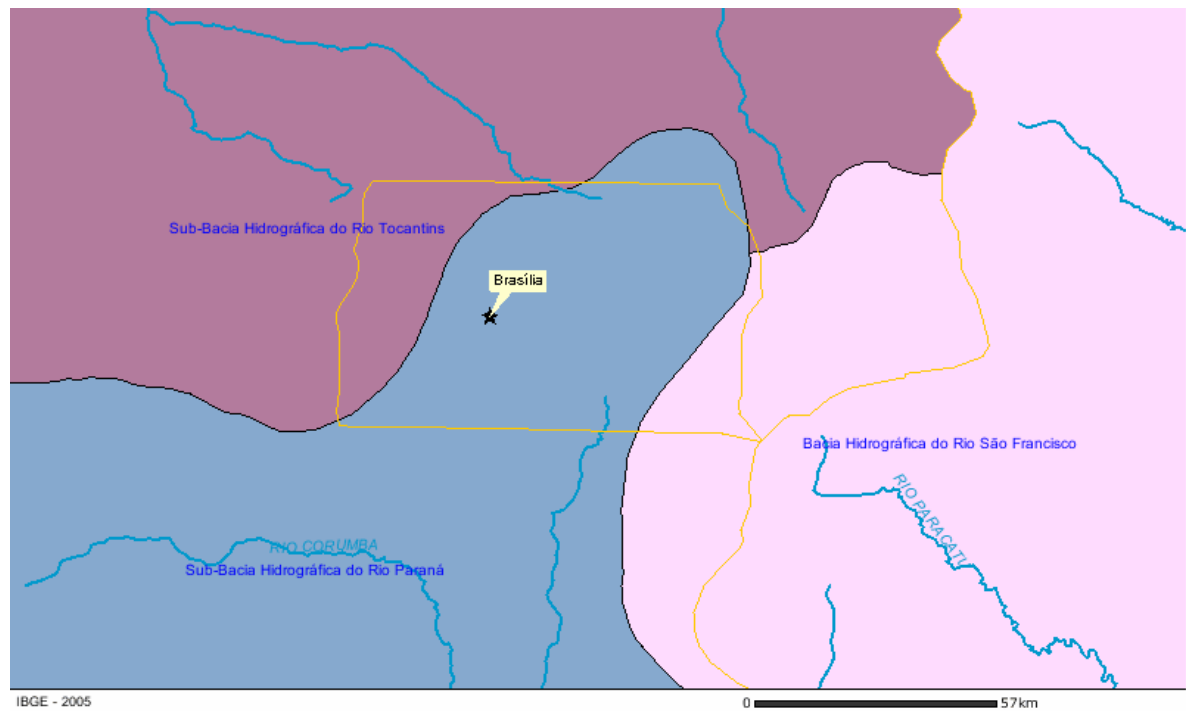
### 6.1. Localização da área em estudo

A área estudada nesse trabalho é a bacia do córrego Bananal que faz parte da bacia do lago Paranoá, em Brasília, na região Centro Oeste do Brasil (Figura 6.1).



Figura 6.1: Área de estudo localizada na região Centro –Oeste do Brasil  
Fonte: IBGE

O Distrito Federal compreende três bacias brasileiras: bacia do rio Paraná, bacia do rio Tocantins e bacia do rio São Francisco (Figura 6.2)



- Bacia Hidrográfica do rio Paraná
- Bacia Hidrográfica do rio Tocantins
- Bacia Hidrográfica do rio São Francisco

Figura 6.2: Três bacias brasileiras que compreendem o Distrito Federal.  
Fonte: IBGE

A sub-bacia do córrego Bananal, que está inserida na sub-bacia do rio Paranoá, que por sua vez se encontra na bacia hidrográfica do rio Paraná, possui uma área de 112 km<sup>2</sup> (Golder / Fahma, 2005), comprimento do curso de água de 19 km, perímetro de 73 km e, se encontra dentro do Parque Nacional de Brasília (Figuras 6.3 e 6.4). Conforme mencionado na metodologia, foi selecionada essa sub-bacia, por se encontrar em área plana, preservada e ter monitoramento.

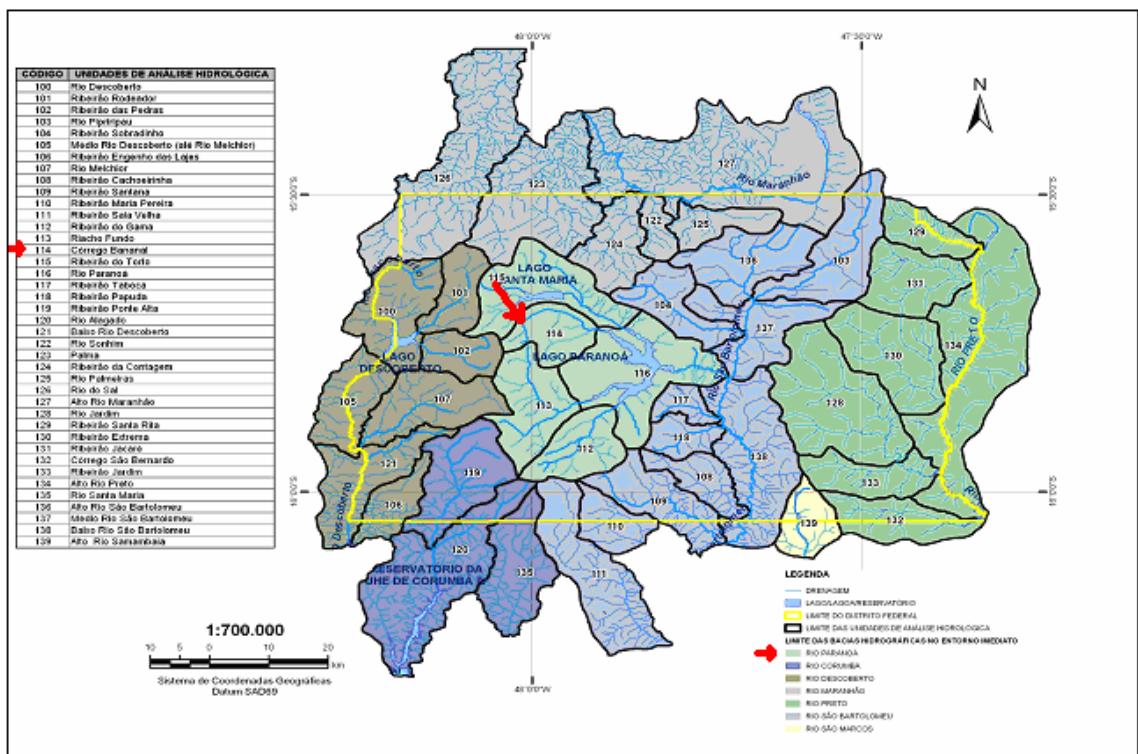


Figura 6.3: Localização da sub-bacia do córrego Bananal inserido na sub-bacia do rio Paranoá em Brasília  
 Fonte: Consórcio Golder/Fahma (2005)

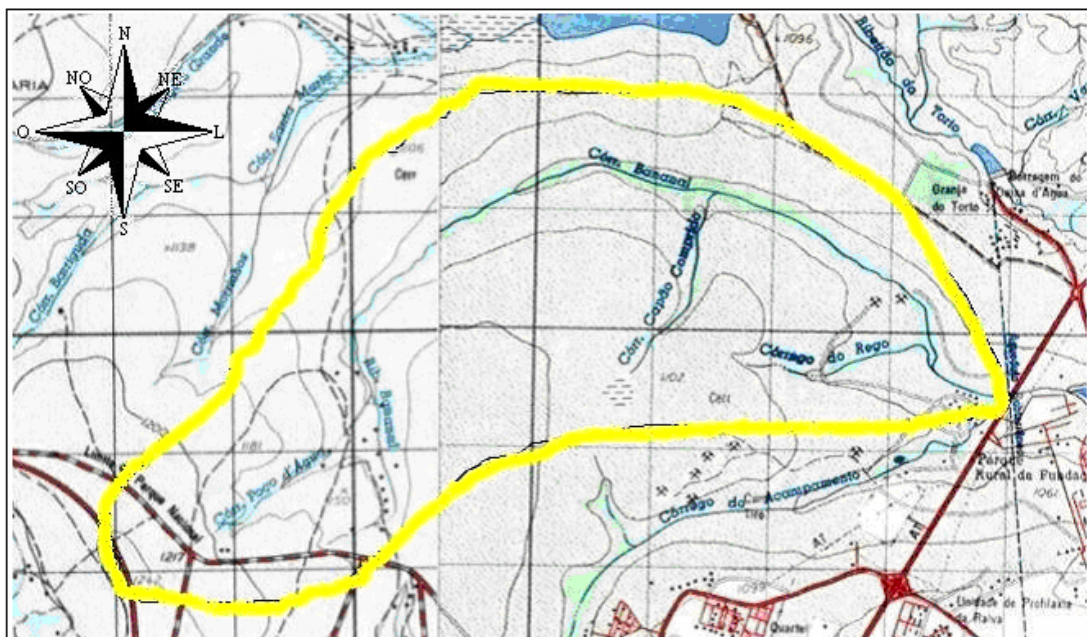


Figura 6.4: Bacia do córrego Bananal



Como mencionado, a área da bacia A é de 112 km<sup>2</sup> e o comprimento do curso de água L é de 19 km, portanto, utilizando a equação 4.1, o fator de forma da bacia é de 0,31, ou seja, uma bacia mais alongada.

$$K_f = \frac{112}{19^2} = 0,31$$

O córrego Bananal possui apenas três afluentes de primeira ordem: córrego Poço d'Água, córrego Capão Comprido e córrego do Rego, sendo, portanto um córrego de segunda ordem e comprimento total de 33 km.

A densidade de drenagem da bacia, utilizando-se a equação 4.2 é de 0,29 km/km<sup>2</sup>. Conforme mencionado no capítulo 4, segundo Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem de 0,5 km/km<sup>2</sup> é considerada baixa, portanto, pode-se observar a baixa densidade de drenagem da área em estudo.

$$D_d = \frac{33}{112} = 0,29 \text{ km / km}^2$$

A declividade equivalente do curso de água é de 0,9 % (Equação 5.1) e o tempo de concentração da bacia, utilizando a equação de Kirpich (Equação 5.2) é de 4 horas.

Conforme mencionado no capítulo 5, Leite et al (1992) concluíram que a taxa de infiltração medida em condições naturais, no Parque Nacional de Brasília, é superior às intensidades mais frequentes no Distrito Federal. Portanto, a bacia selecionada para esse trabalho, tem todas as características necessárias para a análise desse estudo (área plana natural, com alta taxa de infiltração e baixa densidade de drenagem).

O Parque Nacional de Brasília (Unidade de Conservação) é um parque administrado pelo IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis) e localizado à nordeste do Distrito Federal, possuía uma área de 30.000 ha que foi alterada pela Lei n° 11.285, de 08 de março de 2006 para 42.389,01 ha<sup>1</sup> (Figuras 6.5).

---

<sup>1</sup> [www.ibama.gov.br](http://www.ibama.gov.br)

O parque está localizado no domínio dos Planaltos, precisamente na subdivisão das chapadas do Distrito Federal. Usando uma caracterização geomorfológica é possível observar 3 unidades: Chapada da Contagem, Depressão do Paranoá e Encosta da Contagem.



Figura 6.5: Foto da vista parcial do Parque Nacional de Brasília.

## ***6.2. Geomorfologia e morfologia fluvial da área em estudo***

A área desse estudo se encontra no Distrito Federal, pertencente, de forma genérica, ao Planalto Central do Brasil.

No trabalho da CPRM (2003), foram identificadas sete unidades morfoesculturais distintas no Distrito Federal e seu entorno: 1. Alinhamentos Serranos; 2. Planaltos Retocados; 3. Planaltos Dissecados; 4. Depressões Intermontanas; 5. Escarpas Erosivas; 6. Vales Encaixados; 7. Domos Estruturais.

A Unidade Morfoescultural Alinhamentos Serranos compreende um conjunto de serras com cristas alinhadas dispostas preferencialmente nas direções oeste –leste e sudoeste – nordeste.

A Unidade Morfoescultural Planaltos Retocados compreende um conjunto de pediplanos levemente sulcados por uma rede de drenagem de baixa densidade, estando elevados a cotas de 900 e 1200 m, correspondendo aos extensos remanescentes da Superfície Sul-Americana. O relevo presente nessa unidade caracteriza-se por extensas e monótonas superfícies planas, ocasionalmente interrompidas por vales muito amplos e suaves. Apresenta as seguintes Unidades Geomorfológicas: 1. Planalto do Distrito Federal; 2. Planalto do alto rio Preto; 3. Planalto do alto rio São Marcos; 4. Patamares do Planalto do Distrito Federal; 5. Chapada das Covas e; 6. Chapada do Canta-Galo.

A Unidade Morfoescultural Planaltos Dissecados compreende um padrão de relevo movimentado, abrangendo terrenos colinosos a morrosos, típicos do Planalto Dissecado do Alto Rio Maranhão. Destaca-se, como elemento dominante na paisagem, um conjunto de superfícies tabulares não dissecadas ou levemente sulcadas, denominada genericamente de chapadas.

A Unidade Morfoescultural Depressões Intermontanas compreende um extenso pediplano, de morfologia levemente ondulada, drenado por uma rede de drenagem de baixa densidade situado entre as cotas 650 e 700 m, correspondendo a terrenos que sofreram mais intensamente os efeitos do aplainamento Neogênico.

A Unidade Morfoescultural Escarpas Erosivas corresponde a um conjunto de relevos de transição entre os planaltos elevados, atingindo as cotas entre 1100 e 1300 m e as depressões intermontanas, embutidas em cotas que não ultrapassam 750m.

A Unidade Morfoescultural Vales Encaixados abrange, exclusivamente, seções dos vales dos rios São Bartolomeu e Corumbá de Goiás onde a dissecação fluvial processou-se de maneira mais acentuada.

A Unidade Morfoescultural Domos Estruturais abrange, exclusivamente, o domo de Cristalina.

Mais precisamente, a área deste estudo localiza-se na Unidade Morfoescultural Planaltos Retocados, na unidade geomorfológica Planalto do Distrito Federal que abrange chapadas elevadas, erguidas a cotas de 1200 m a 1340 m e extensas superfícies tabulares sulcadas por uma rede de drenagem de baixa densidade, mantidos em cotas de 1050 m a 1150 m. Os vales

principais apresentam restrita sedimentação fluvial, dentre os quais destacam-se o rio Descoberto e o ribeirão Rodeador na porção oeste; e os ribeirões Sobradinho, do Torto e do Gama, na porção leste. O planalto do Distrito Federal consiste no mais elevado dos planaltos retocados, sendo que seu limite com as demais unidades geomorfológicas é geralmente demarcado por um grau estrutural de 70 a 100 m de desnivelamento (CPRM, 2003). Nesta unidade estão instalados os sítios urbanos de Brasília, Taguatinga, Sobradinho, Gama, Ceilândia, Brazlândia e Águas Lindas de Goiás, entre os principais.

Nessa unidade se encontram, também, as chapadas da Contagem e do Rodeador, que representam os remanescentes da Superfície Sul-Americana, apresentando declividades inferiores a 3°, e se distribuem no planalto de forma semicircular, sugerindo um processo de esculturação sobre uma área dômica. O padrão de drenagem anelar da bacia do rio Paranoá reforça esta hipótese (CPRM, 2003).

Estudos regionais no território brasileiro, desenvolvidos por Bigarella et al, (1965) e Ab'Saber (1970,1972) foram utilizados por outros autores para descrever as superfícies presentes na região. Novaes Pinto (1987), seguindo abordagem proposta por Ab'Saber, compartimenta o Planalto do Distrito Federal em: Superfície Cimeira (ex.: Chapada da Contagem) e Depressões Interplanálticas (ex.: Depressão do Paranoá).

Com relação aos solos, nas chapadas ocorrem os latossolos (Golder/ Fahma, 2005). São solos não hidromórficos, com B latossólico, bem desenvolvidos, profundos a muito profundos, bem drenados, friáveis, bastante porosos e intemperizados e, portanto sem minerais primários decomponíveis e de baixa relação silte /argila. Segundo CPRM (2003), estes solos apresentam boas condições físicas (profundos, de boa drenagem interna, fáceis de serem trabalhados, sem pedras, grande resistência à erosão) e más condições químicas (baixa oferta de nutrientes, ocorrência freqüente de alumínio tóxico).

As áreas com coberturas latossólicas ocupam relevos com declives pouco acentuados, em que a interação dos fatores solo-relevo confere aos latossolos maior resistência à erosão.

Segundo o PGIRH/DF (Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal - Golder/Fahma, 2005), por apresentar baixo declive topográfico e boas características físicas, a infiltração supera o escoamento superficial. O máximo de umidade destes solos

ocorre na subsuperfície, onde não está sujeita a evapotranspiração, e na qual ocorre o intemperismo químico da rocha.

Desta forma, pode-se afirmar que as áreas com tais coberturas constituem-se áreas de recarga de lençol freático, por receberem considerável aporte hídrico, muito embora o nível freático oscile sazonalmente devido ao regime pluviométrico.

O uso antrópico intenso, desprovido de qualquer planejamento sobre estes solos, predominantemente latossólicos, proporcionam processos erosivos de naturezas diversas. Segundo o PGIRH/DF (Golder/Fahma, 2005), a região dos planaltos, ao mesmo tempo que funciona como importantes áreas de recarga, são também exportadoras de expressivas cargas de sedimentos mobilizáveis através do escoamento pluvial concentrado, favorecido pela crescente urbanização dos planos cimeiros e demais usos antrópicos.

Conforme o PGIRH/DF (Golder/ Fahma, 2005):

*“A gestão territorial das áreas planas se reveste de grande importância já que se trata de domínios residuais, em franco processo de ocupação urbana e conseqüentemente da alteração da dinâmica de infiltração destes terrenos, cuja implicação mais imediata pode se traduzir na transferência direta para os vales de uma carga hídrica anteriormente destinada ao freático. Esta nova dinâmica pode influenciar no rebaixamento do nível da calha de algumas pequenas drenagens, potencializando a erosão remontante e acelerando o desmonte dos rebordos erosivos.”*

O Planalto do Distrito Federal, devido a seus terrenos planos, bem drenados e de alta capacidade de recarga, e por abranger a capital federal, consiste numa área de acelerada expansão urbana. Tal processo de urbanização desordenada, desencadeada pelo aumento das cidades-satélites, implica em problemas ambientais, tais como uso indiscriminado dos recursos hídricos, a contaminação do lençol freático, a catalização de processos erosivos e assoreamento dos corpos de água.

### **6.3. Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal (PDOT) e Planos Diretores Locais (PDL)**

A Lei Complementar nº 17 de 28 de janeiro de 1997 que dispõe sobre o Plano Diretor de Ordenamento Territorial (PDOT), define o Plano como instrumento básico da política territorial e de orientação aos agentes públicos e privados que atuam na produção e gestão das cidades e do território do Distrito Federal.

A ocupação do território do Distrito Federal pode ser descrita, conforme CPRM (2003), segundo as tendências metropolitanas de recentralização e descentralização, dado que a ocupação polinucleada do território (Brasília e as cidades satélites) deu lugar desde a década de 1990 a um panorama de dispersão da residência, como consequência do aparecimento de numerosos parcelamentos irregulares de classe média. Essa realidade foi considerada pelo PDOT de 1997, que buscou traçar diretrizes de recentralização (mediante o aproveitamento das áreas urbanas existentes e buscando controlar a expansão em continuidade). Por outro lado, a consolidação destas urbanizações residenciais dispersas permitiu que o Distrito Federal e entorno se configurasse como um espaço de dinâmicas territoriais – a cidade difusa – em que observa-se novos elementos não considerados até 1997. A cidade difusa privilegia lógicas de fluxo e dinâmica de relações, no lugar da tradicional importância das relações de proximidade entre os espaços. Com isso, não se percebem perímetros urbanos claros, mas uma mancha de urbanização, com maior ou menor intensidade de uso (CPRM, 2003).

O ordenamento do território do DF foi definido pelo PDOT nas seguintes zonas (Figura 6.6):

- ❑ Zona de Conservação Ambiental
- ❑ Zona Rural de Dinamização
- ❑ Zona Rural de uso Diversificado
- ❑ Zona Urbana de Dinamização
- ❑ Zona Urbana de Consolidação
- ❑ Zona Urbana de Uso Controlado
- ❑ Áreas com Diretrizes Especiais

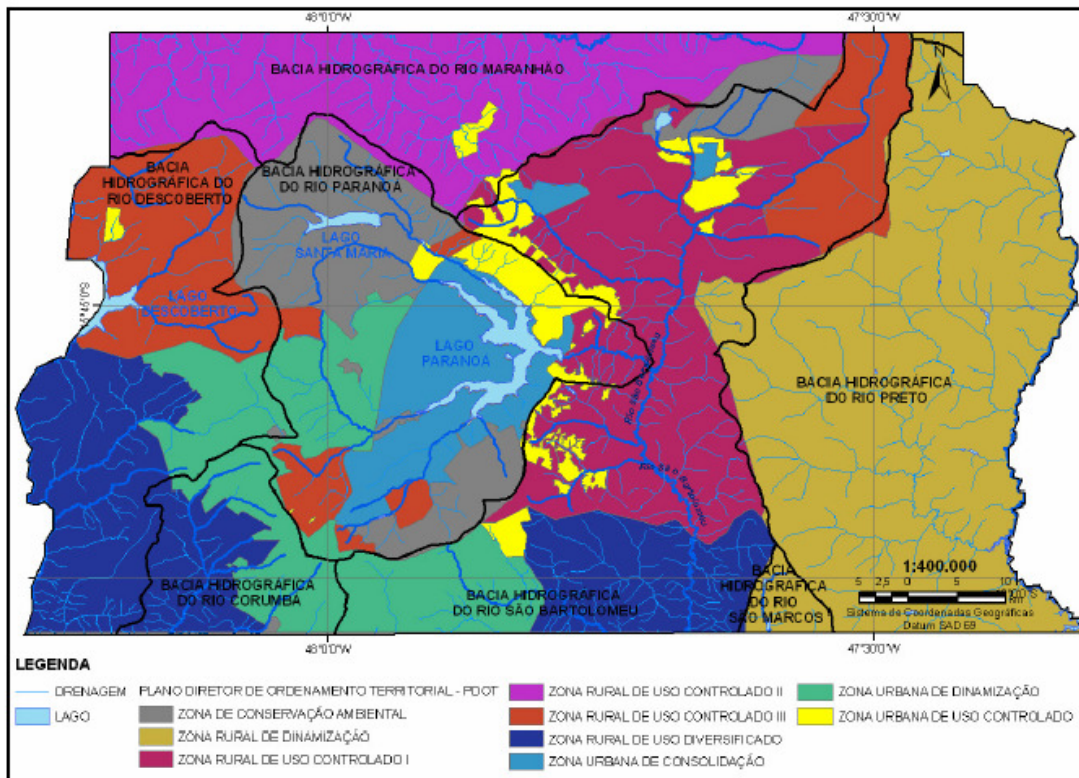


Figura 6.6: Zonas de ordenamento territorial propostas pelo PDOT  
 Fonte: Consórcio Golder/Fahma (2005).

A Zona de Conservação Ambiental é definida por encerrar ecossistema de grande relevância ecológica, merecendo tratamento com o objetivo de preservar, conservar e/ou recuperar essas áreas (Figura 6.7).



Figura 6.7: Foto do Parque Nacional de Brasília (Zona de Conservação Ambiental)

A Zona Rural de Dinamização caracteriza-se pela atividade agropecuária consolidada. Segundo o Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos - PGIRH (GOLDER / FAHMA, 2005), esta zona necessita de um sistema mais eficiente de gestão da bacia e de controle do uso da água.

Na Zona Rural de uso Diversificado é permitida, além do uso agropecuário, a instalação de atividades agroindustriais, de lazer e industriais, sendo que as atividades não agrícolas devem ser devidamente analisadas pelos órgãos ambientais competentes.

A Zona Urbana de Dinamização é aquela em que a ocupação urbana é priorizada. Segundo o PGIRH (GOLDER / FAHMA, 2005), esta zona apresenta um adensamento populacional alto que configura um dos principais problemas a serem discutidos na revisão do PDOT (Figura 6.8). O PGIRH propõe introduzir o conceito de verticalização para reduzir as taxas de impermeabilização dos terrenos dos domínios porosos.



Figura 6.8: Imagem da Zona Urbana de Dinamização – Taguatinga  
Fonte: Google Earth

Na Zona Urbana de Consolidação a ocupação deverá considerar as restrições estabelecidas para áreas de proteção ao conjunto urbanístico do Plano Piloto de Brasília, às Áreas de Proteção Ambiental do Lago Paranoá e das bacias do Gama e Cabeça de Veado, além das restrições de saneamento para as áreas de Sobradinho e Planaltina (Figuras 6.9 e 6.10).





Figura 6.9: Imagem da Zona Urbana de Consolidação – Plano Piloto  
Fonte: Google Earth



Figura 6.10: Foto de uma área interna ao Plano Piloto de Brasília

A Zona Urbana de Uso Controlado é definida como de uso predominantemente habitacional, de baixa densidade, sujeita a critérios específicos de ocupação sendo desestimulada a expansão urbana em razão, principalmente, de restrições ambientais.

As Áreas com Diretrizes Especiais são as porções territoriais que exigem parâmetros e diretrizes mais apurados relativos ao uso e ocupação do solo.

Como observado, o Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal - PGIRH (Golder / Fahma, 2005) analisou as necessidades de ajustes dos espaços definidos pelo PDOT, ou mesmo intervenções sobre padrões de uso e ocupação do solo incompatíveis com a gestão desejada dos recursos hídricos. Nessas análises observou-se que a atual ocupação do Distrito Federal carece de políticas que atentem para os problemas decorrentes dos parcelamentos irregulares, que, segundo o referido estudo se resumem em três aspectos:

- ❑ *“Aspectos urbanísticos, como o desrespeito às normas técnicas do Instituto de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal – IPDF, a Lei 6766, quanto ao tamanho de lotes, densidade máxima e urbanizações de áreas rurais não previstas no PDOT;*
- ❑ *Aspectos fundiários, como a ocupação de terras públicas e de terras em litígio de dominialidade, ou mesmo invasão de terras de terceiros;*
- ❑ *Aspectos ambientais, como ocupação de áreas de preservação permanente, de solos hidromórficos e de terrenos geotecnicaamente restritivos.”*

Juntamente ao PDOT, existem os Planos Diretores Locais (PDL) que são os planos utilizados nas cidades satélites. O artigo 20 do PDOT se refere aos PDL, que estão previstos no Título VII da Lei Orgânica do Distrito Federal, que serão desenvolvidos em consonância com o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal, sendo parte do processo contínuo e integrado de planejamento territorial do Distrito Federal.

Os Planos Diretores Locais das regiões discriminadas a seguir ainda estão em fase de aprovação, sendo citados somente os itens referentes à taxa de permeabilidade do solo.

O Plano Diretor Local (PDL) da Região Administrativa do Gama – RA II, em seu capítulo II – Da Ocupação do Solo Urbano, Seção II – Da Taxa de Permeabilidade do Solo e artigo 69, exige a taxa de permeabilidade do solo, conforme discriminado a seguir:

*“I. para lotes com área de até 200m<sup>2</sup> (duzentas metros quadrados), não é exigida a taxa de permeabilidade do solo;*

*II. para os lotes com área superior a 200m<sup>2</sup> (duzentos metros quadrados) até 500m<sup>2</sup> (quinhentos metros quadrados), a taxa de permeabilidade do solo é correspondente a 10% (dez por cento) da área do lote;*

*III. para os lotes com área superior a 500m<sup>2</sup> (quinhentos metros quadrados) até 2000m<sup>2</sup> (dois mil metros quadrados), a taxa de permeabilidade do solo será correspondente a 20% (vinte por cento) da área do lote;*

*IV. para os lotes com área superior a 2000m<sup>2</sup> (dois mil metros quadrados), a taxa de permeabilidade do solo será o correspondente a 30% (trinta por cento) da área do lote.”*

O capítulo III – Das Diretrizes do Parcelamento do Solo Urbano do PDL do Gama, no seu artigo 94, apresenta as diretrizes básicas que os projetos urbanísticos deverão obedecer. Uma dessas diretrizes estabelece que o projeto deve garantir um percentual mínimo de 10% (dez por cento) da área pública com tratamento permeável.

Ainda no capítulo III, o artigo 99 dispõe sobre os coeficientes de aproveitamento para as áreas de projetos urbanísticos especiais. Esses coeficientes não poderão ultrapassar os seguintes valores:

*“I. 0,6 (seis décimos), na Área de Uso Urbano com Restrição – AUR – Crispim;*

*II. 0,6 (seis décimos), na Área Urbana com Restrição – AUR – Olhos D’água;*

*III. 0,8 (oito décimos), no Complexo de Educação, Cultura, Esporte e Lazer;*

*IV. 2,0 (dois), nas Áreas de Bordas de Chapada do Gama.”*

O artigo 100 estabelece que a taxa de permeabilidade do solo dos lotes a serem criados na AUR - Olhos D’água será de no mínimo 30% (trinta por cento).

O plano Diretor Local (PDL) da Região Administrativa de Planaltina – RA VI, em seu capítulo I – Do Uso do Solo Urbano, Seção I – Da Classificação de Usos e Atividades e Especificação de Lotes por Uso estabelece:

*“Art.92. O uso do solo urbano da Região Administrativa de Planaltina, para efeito desta Lei Complementar, divide-se em residencial e não residencial.*

*Art. 93. O uso residencial do solo urbano divide-se em:*

*I – unifamiliar;*

*II – multifamiliar.*

*Art. 94. O uso não residencial do solo urbano subdivide-se em:*

*I – comercial;*

*II – coletivo;*

*III – industrial.*

*Art. 95. As atividades do uso não residencial são permitidas para as categorias de lote definidas no Anexo II desta Lei Complementar, em função dos critérios de incomodidade dessas atividades geradas no meio urbano e hierarquia viária.*

*§1º As categorias de lote, segundo grau de restrição de atividades são as seguintes:*

*I – lotes de alta restrição ao uso comercial, industrial e coletivo - R1;*

*II – lotes de média restrição ao uso comercial, industrial e coletivo – R2;*

*III – lotes de baixa restrição ao uso comercial, industrial e coletivo – R3;*

*IV – lotes com restrição a residência – R4.”*

No capítulo IV – Da Ocupação do Solo Urbano, Seção II – Da Taxa de Permeabilidade do Solo e artigo 121, exige a taxa de permeabilidade do solo, conforme discriminado a seguir:

*“I - para os lotes com área de até 350m<sup>2</sup> (trezentos e cinquenta metros quadrados), não é exigida a taxa de permeabilidade do solo;*

*II – para os lotes com área superior a 350m<sup>2</sup> (trezentos e cinquenta metros quadrados) e até 500 m<sup>2</sup> (quinhentos metros quadrados), a taxa de permeabilidade do solo é correspondente a 10% (dez por cento) da área do lote;*

*III – para os lotes com área superior a 500 m<sup>2</sup> (quinhentos metros quadrados) e até 2000 m<sup>2</sup> (dois mil metros quadrados), a taxa de permeabilidade do solo será correspondente a 15% (quinze por cento) da área do lote;*

*IV – para os lotes com área superior a 2000 m<sup>2</sup> (dois mil metros quadrados), a taxa de permeabilidade do solo será correspondente a 20% (vinte por cento) da área do lote.*

*§1º Para os lotes cujas normas anteriores à aprovação desta lei previam taxas de permeabilidade superiores às resultantes do disposto neste artigo, a Taxa de Permeabilidade do solo será correspondente ao disposto neste artigo.*

*§2º Para as projeções não será exigida taxa de permeabilidade do solo.*

*§3º Não será exigida taxa de permeabilidade do solo para os lotes isolados localizados nos seguintes setores:*

*I – Setor Comercial Central;*

*II – Setor e Hotéis e Diversões;*

*III – Centro de Quadra do Setor Residencial Leste – Buritis I;*

*IV – Quadra 17 do Setor Residencial leste – Buritis III.”*

O capítulo VII – Das Diretrizes do Parcelamento do Solo Urbano do PDL de Planaltina, no seu artigo 158, apresenta as diretrizes básicas que os projetos urbanísticos deverão obedecer. Uma dessas diretrizes estabelece que o projeto deve garantir um percentual mínimo de 10% (dez por cento) da área pública com solo permeável.

Observa-se que as porcentagens de permeabilidade exigidas pelos PDL variam de 10 a 30%, de acordo com o tamanho da área dos lotes e não existe diretriz para medidas compensatórias de drenagem urbana.

Ao se realizar a ocupação, independente do tipo de zoneamento, existe a impermeabilização de áreas. O tipo de ocupação define uma maior ou menor impermeabilização, ou seja, a Zona Urbana de Dinamização tem maior área impermeabilizada que a Zona Urbana de Consolidação que por sua vez, é mais impermeabilizada que a Zona Urbana de Uso Controlado. Dessa forma, para generalizar, esse estudo analisou as porcentagens impermeabilizadas, sem considerar seu zoneamento.

#### **6.4. Caracterização da bacia em regime natural**

Conforme apresentado na metodologia, considerou-se a seção do posto fluviométrico 60477600 – EPIA, como seção de referência. A vazão dominante nessa seção foi definida através do cálculo de vazão de margens plenas obtida por Williams (1978) e citada por Chang (1988) para tempo de retorno de 2 e 5 anos (Equação 5.3).

Encontrou-se a área da seção transversal do curso de água através dos dados geométricos, disponibilizados pela CAESB (posto fluviométrico 60477600 – EPIA, em anexo) e foi utilizada a declividade equivalente. Foram encontradas as vazões de 9,7m<sup>3</sup>/s e 17,3 m<sup>3</sup>/s para áreas da seção de 6,18 m<sup>2</sup> e 9,97 m<sup>2</sup>, respectivamente. Essas áreas se referem às áreas molhadas da seção, referentes aos tempos de retorno de 2 e 5 anos.

As vazões máximas que ocorrem no córrego Bananal foram encontradas através de método direto. Foram utilizados os dados da estação fluviométrica (Figura 6.11) disponibilizados pela CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Na coluna 2 da Tabela 6.1 encontram-se os valores das maiores vazões anuais de 1970 a 2005 . A coluna 3 apresenta essas vazões de forma decrescente, que foram enumeradas (m) na coluna 4. Sendo n o número de amostras, a coluna 5 apresenta a probabilidade empírica  $P = 1 - (m/n+1)$  e a coluna 6 apresenta o tempo de retorno  $T = (n+1)/m$ .

Em seguida através da distribuição de Gumbel (Extremo Valor Tipo I –EVI – Equações de 5.4 a 5.8) obteve-se as máximas vazões do córrego para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos (Tabela 6.2).



Figura 6.11: Foto da estação fluviométrica 60477600 – EPIA.

Tabela 6.1: Probabilidade empírica

| ANO  | Q (m <sup>3</sup> /s) |      | m  | P    | T (ano) |
|------|-----------------------|------|----|------|---------|
| 1970 | 3,84                  | 38,2 | 1  | 0,97 | 35,00   |
| 1971 | 28,8                  | 28,8 | 2  | 0,94 | 17,50   |
| 1972 | 8,05                  | 19,9 | 3  | 0,91 | 11,67   |
| 1973 | 8,47                  | 16,6 | 4  | 0,89 | 8,75    |
| 1974 | 8,05                  | 15,3 | 5  | 0,86 | 7,00    |
| 1975 | 8,47                  | 14,7 | 6  | 0,83 | 5,83    |
| 1978 | 5,06                  | 14,2 | 7  | 0,80 | 5,00    |
| 1979 | 16,6                  | 14,2 | 8  | 0,77 | 4,38    |
| 1980 | 13,9                  | 13,9 | 9  | 0,74 | 3,89    |
| 1981 | 19,9                  | 13,4 | 10 | 0,71 | 3,50    |
| 1982 | 11,7                  | 12,6 | 11 | 0,69 | 3,18    |
| 1983 | 38,2                  | 12,1 | 12 | 0,66 | 2,92    |
| 1984 | 8,68                  | 11,9 | 13 | 0,63 | 2,69    |
| 1985 | 7,84                  | 11,7 | 14 | 0,60 | 2,50    |
| 1986 | 6,27                  | 11,2 | 15 | 0,57 | 2,33    |
| 1987 | 12,6                  | 10,7 | 16 | 0,54 | 2,19    |
| 1988 | 10,7                  | 8,68 | 17 | 0,51 | 2,06    |
| 1989 | 11,90                 | 8,47 | 18 | 0,49 | 1,94    |
| 1990 | 13,4                  | 8,47 | 19 | 0,46 | 1,84    |
| 1991 | 11,2                  | 8,05 | 20 | 0,43 | 1,75    |
| 1992 | 14,2                  | 8,05 | 21 | 0,40 | 1,67    |
| 1993 | 14,7                  | 7,84 | 22 | 0,37 | 1,59    |
| 1994 | 14,2                  | 7,64 | 23 | 0,34 | 1,52    |
| 1995 | 6,09                  | 7,23 | 24 | 0,31 | 1,46    |
| 1996 | 5,4                   | 6,87 | 25 | 0,29 | 1,40    |

| ANO  | Q (m <sup>3</sup> /s) |      | m  | P    | T (ano) |
|------|-----------------------|------|----|------|---------|
| 1997 | 15,3                  | 6,84 | 26 | 0,26 | 1,35    |
| 1998 | 7,64                  | 6,27 | 27 | 0,23 | 1,30    |
| 1999 | 5,18                  | 6,09 | 28 | 0,20 | 1,25    |
| 2000 | 6,84                  | 5,40 | 29 | 0,17 | 1,21    |
| 2001 | 7,23                  | 5,18 | 30 | 0,14 | 1,17    |
| 2002 | 4,84                  | 5,06 | 31 | 0,11 | 1,13    |
| 2003 | 2,74                  | 4,84 | 32 | 0,09 | 1,09    |
| 2004 | 6,87                  | 3,84 | 33 | 0,06 | 1,06    |
| 2005 | 12,1                  | 2,74 | 34 | 0,03 | 1,03    |

Tabela 6.2: Vazões máximas para alguns tempos de retorno

| T (anos) | Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s) |
|----------|--------------------------------------|
| 2        | 9,93                                 |
| 5        | 16,2                                 |
| 10       | 20,3                                 |
| 25       | 25,5                                 |
| 50       | 29,4                                 |
| 100      | 33,3                                 |

Em seguida, para poder analisar a urbanização hipotética da bacia, foi aplicado o método indireto, modelo chuva-vazão para definir vazões congruentes às encontradas pela análise de frequência.

A chuva de 2 anos e duração de 24 horas (97,2 mm) foi subdividida em blocos com uma duração  $\Delta t = 30$  min, compondo um hietograma segundo a distribuição de Huff (Chow et al., 1988) (Figura 6.12).



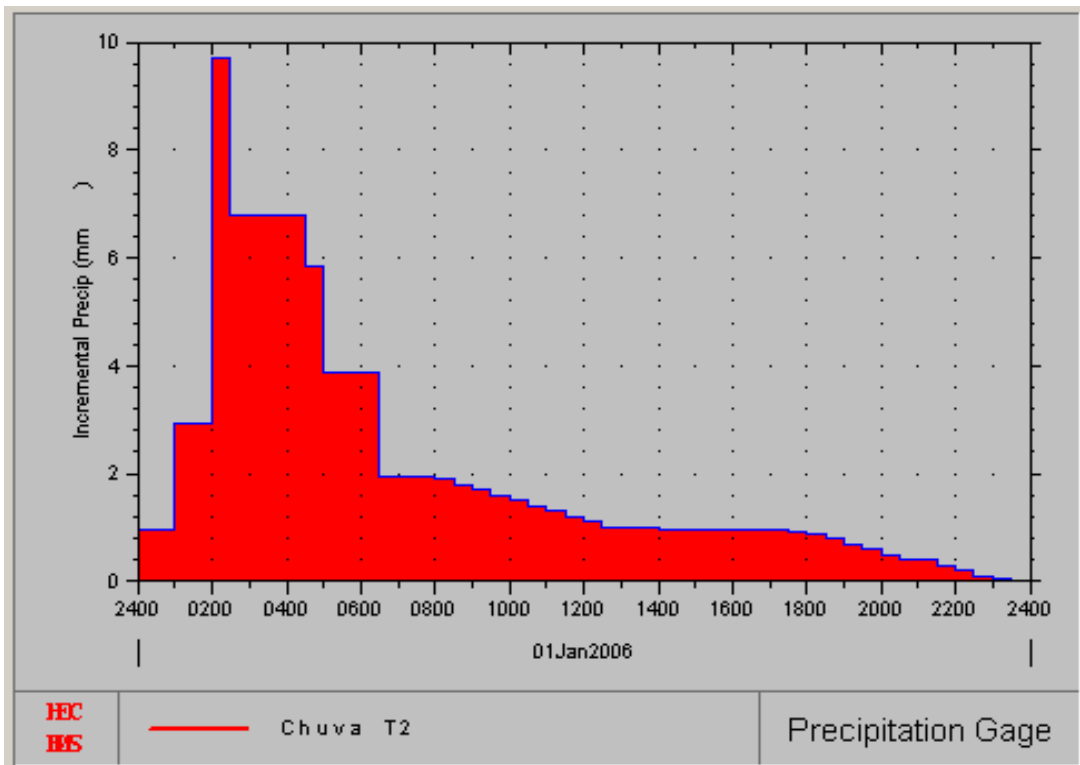


Figura 6.12: Hietograma da chuva de 24 horas e tempo de retorno de 2 anos

Para o cálculo do hidrograma de vazão foi aplicado o modelo HEC-HMS – Hydrology Modelling System, versão 2.2.2, desenvolvido pelo U. S. Army Corps of Engineers.

A Figura 6.13 apresenta os hidrogramas encontrados para o córrego Bananal, variando a curva CN de 41 a 49, para tempo de retorno de 2 anos. As vazões de pico estão apresentadas na Tabela 6.3.

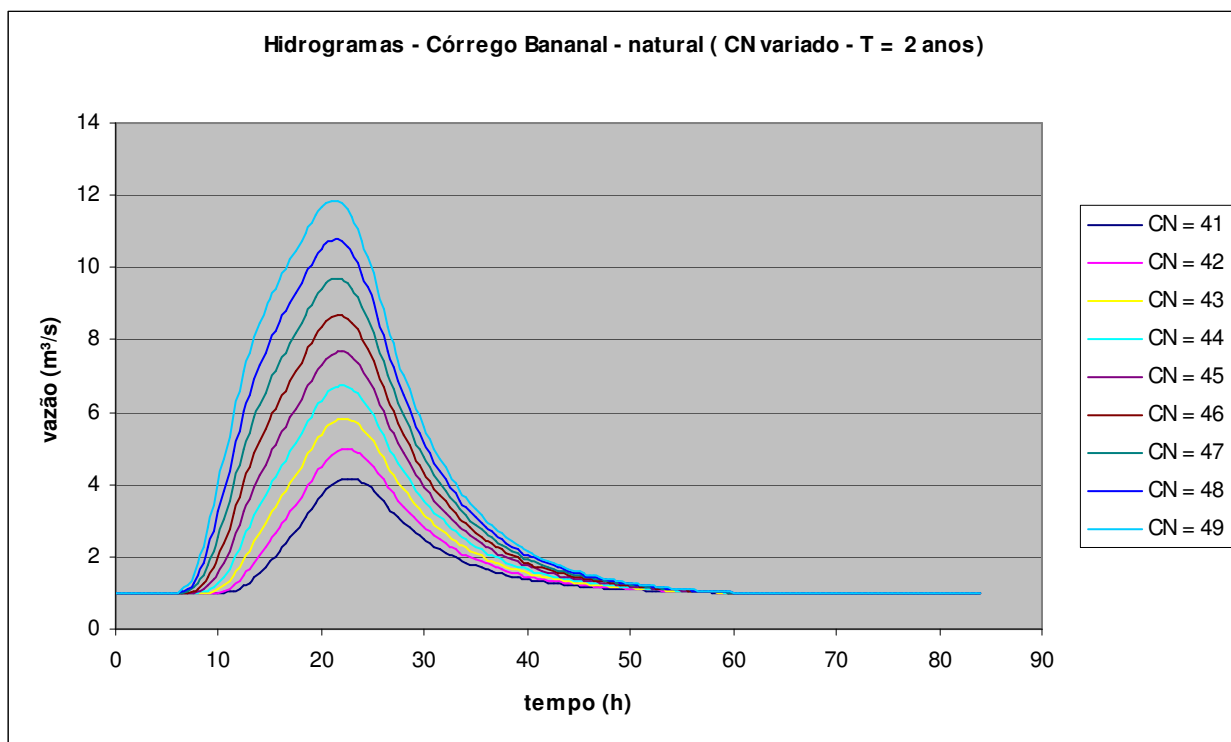


Figura 6.13: Hidrogramas do Córrego Bananal

Tabela 6.3: Vazões máximas encontradas para curvas CN variadas

| Curvas  | T =2 anos |
|---------|-----------|
|         | Q ( m³/s) |
| CN = 41 | 4,18      |
| CN = 42 | 4,98      |
| CN = 43 | 5,84      |
| CN = 44 | 6,74      |
| CN = 45 | 7,68      |
| CN = 46 | 8,68      |
| CN = 47 | 9,7       |
| CN = 48 | 10,8      |
| CN = 49 | 11,9      |

A curva que melhor representou a bacia em seu estado natural, para cheia de 2 anos, foi CN = 47, pois observa-se a congruência entre as vazões encontradas pelos dois métodos (modelo chuva-vazão e método direto).

Foram utilizadas as chuvas de tempo de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, 115,9mm, 131,5 mm, 154,6 mm, 174,1 mm e 195,8 mm, respectivamente (DNOS), e, utilizando o mesmo processo realizado para a chuva de 2 anos de tempo de retorno, chegou-se nos hidrogramas apresentados na Figura 6.14 com as maiores vazões relacionadas na Tabela 6.4.

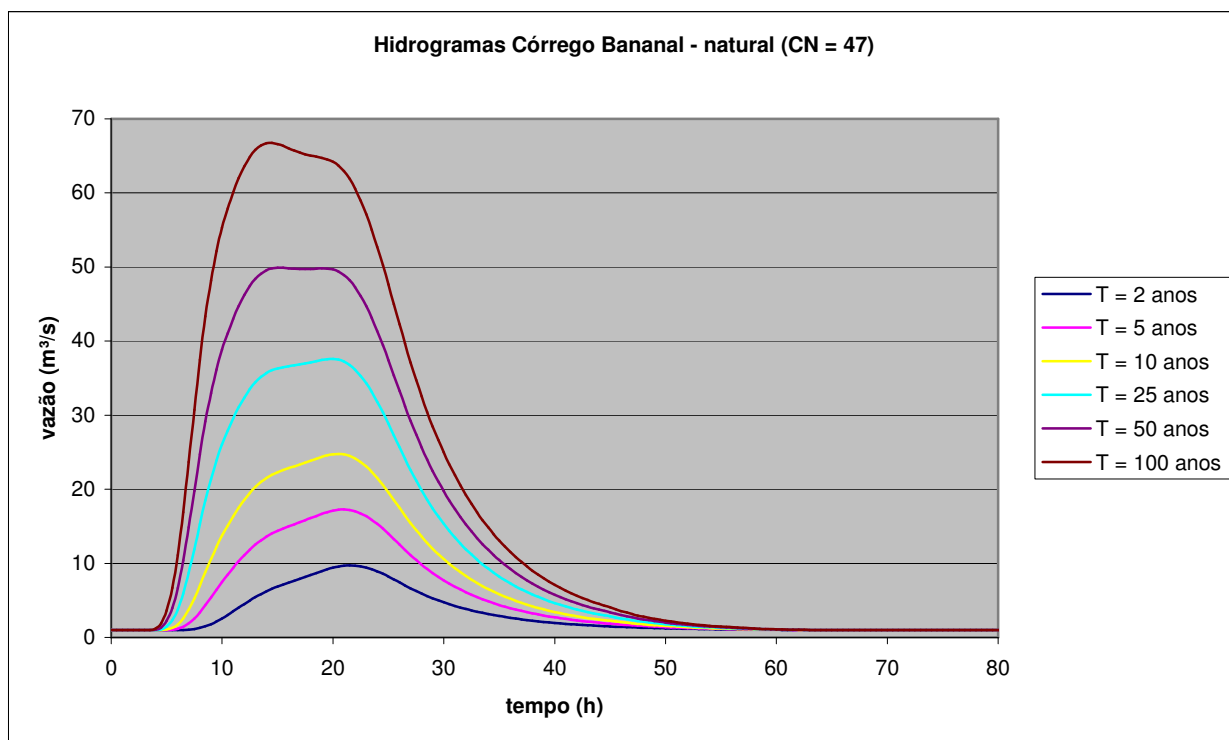


Figura 6.14: Hidrogramas encontrados para vários tempos de retorno

Tabela 6.4: Vazões máximas para CN = 47

| T (anos) | Q <sub>máx</sub> (m³/s) |
|----------|-------------------------|
| 2        | 9,7                     |
| 5        | 17,3                    |
| 10       | 24,8                    |
| 25       | 37,6                    |
| 50       | 49,9                    |
| 100      | 66,7                    |

Como as vazões que ocorrem com relativa frequência são aquelas que têm maior poder efetivo na esculturação do modelado do canal, o modelo é admissível, pois pode-se observar semelhanças entre vazões encontradas pela análise de frequência (Tabela 6.2) para os tempos de retorno de 2 e 5 anos com os resultados obtidos pelo modelo chuva-vazão (Tabela 6.4). Para as vazões de menor frequência essa curva não representa bem a bacia em seu estado natural, porém para esse trabalho, considerou-se apenas as vazões mais frequentes.

Essas vazões escoam pelo córrego Bananal que está em uma área sem ocupação. Em áreas naturais, os cursos de água funcionam como canais de escoamento. O escoamento fluvial faz parte do ciclo hidrológico e a sua alimentação se processa através das águas superficiais e

subterrâneas. O escoamento fluvial compreende, portanto, a quantidade total de água que alcança os cursos de água, incluindo o escoamento pluvial, que é imediato, e a parcela das águas precipitadas que só posteriormente, e de modo lento, vai se juntar a ele através da infiltração.

### 6.5. Ocupação e conseqüências

Para estimar o aumento do escoamento superficial com a urbanização da área, foram feitas simulações variando a curva CN, conforme apresentada na metodologia. A Tabela 6.5 apresenta a variação de algumas curvas. A Tabela completa se encontra em apêndice.

Tabela 6.5: Variação da curva CN com a ocupação

| Área A ocupada (km <sup>2</sup> ) | A ocupada (%) | A natural (%) | A impermeável (%) | CN    |
|-----------------------------------|---------------|---------------|-------------------|-------|
| 1                                 | 0,90          | 99,10         | 0,81              | 47,4  |
| 11                                | 9,94          | 90,06         | 8,94              | 51,1  |
| 22                                | 19,87         | 80,13         | 17,89             | 55,2  |
| 34                                | 30,71         | 69,29         | 27,64             | 59,7  |
| 44                                | 39,75         | 60,25         | 35,77             | 63,4  |
| 55                                | 49,68         | 50,32         | 44,72             | 67,5  |
| 67                                | 60,52         | 39,48         | 54,47             | 71,9  |
| 78                                | 70,46         | 29,54         | 63,41             | 76,0  |
| 89                                | 80,40         | 19,60         | 72,36             | 80,1  |
| 100                               | 90,33         | 9,67          | 81,30             | 84,2  |
| 110,7                             | 98,84         | 1,16          | 90,00             | 88,20 |

Utilizando-se o modelo HEC-HMS, para o cálculo do hidrograma de vazão, após a ocupação da área, chegou-se nos resultados apresentados na Tabela 6.6. Os aumentos das vazões em relação ao estado natural estão apresentados nas Tabelas 6.7 e 6.8. Nessas tabelas, “Ai” significa a área impermeabilizada. A Figura 6.15 apresenta a relação entre o aumento da área ocupada e o conseqüente aumento da vazão.

Tabela 6.6: Vazões máximas após a ocupação gradativa da bacia

|        | natural             | Ai = 10%            | Ai = 20%            | Ai = 30%            | Ai = 40%            | Ai = 50%            | Ai = 60%            | Ai = 70%            | Ai = 80%            | Ai = 90%            |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| T      | Q máx               | Q máx               | Q máx               | Q máx               | Q máx               | Q máx               | Q máx               | Q máx               | Q máx               | Q máx               |
| (anos) | (m <sup>3</sup> /s) | (m <sup>3</sup> /s) | (m <sup>3</sup> /s) | (m <sup>3</sup> /s) | (m <sup>3</sup> /s) | (m <sup>3</sup> /s) | (m <sup>3</sup> /s) | (m <sup>3</sup> /s) | (m <sup>3</sup> /s) | (m <sup>3</sup> /s) |
| 2      | 9,70                | 14,8                | 20,9                | 27,4                | 35,9                | 47,2                | 58,9                | 72,9                | 89                  | 109                 |
| 5      | 17,3                | 24,1                | 32                  | 41,9                | 53,1                | 67,2                | 81,6                | 98,1                | 117                 | 140                 |
| 10     | 24,8                | 33                  | 43,6                | 55,8                | 69,1                | 85,4                | 102                 | 121                 | 142                 | 166                 |
| 25     | 37,6                | 48,8                | 63,5                | 78,7                | 94,9                | 114                 | 134                 | 155                 | 179                 | 206                 |
| 50     | 49,9                | 64,8                | 82,3                | 99,9                | 118                 | 140                 | 162                 | 186                 | 211                 | 239                 |
| 100    | 66,8                | 84,6                | 105                 | 125                 | 146                 | 171                 | 195                 | 221                 | 245                 | 277                 |

Tabela 6.7: Aumento da vazão em relação à vazão natural (m<sup>3</sup>/s)

| T      | Aumento da vazão (m <sup>3</sup> /s) |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
|--------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| (anos) | Ai = 10%                             | Ai = 20% | Ai = 30% | Ai = 40% | Ai = 50% | Ai = 60% | Ai = 70% | Ai = 80% | Ai = 90% |  |
| 2      | 5,10                                 | 11,2     | 17,7     | 26,2     | 37,5     | 49,2     | 63,2     | 79,3     | 99,3     |  |
| 5      | 6,80                                 | 14,7     | 24,6     | 35,8     | 49,9     | 64,3     | 80,8     | 99,7     | 123      |  |
| 10     | 8,20                                 | 18,8     | 31       | 44,3     | 60,6     | 77,2     | 96,2     | 117      | 141      |  |
| 25     | 11,2                                 | 25,9     | 41,1     | 57,3     | 76,4     | 96,4     | 117      | 141      | 168      |  |
| 50     | 14,9                                 | 32,4     | 50       | 68,1     | 90,1     | 112      | 136      | 161      | 189      |  |
| 100    | 17,8                                 | 38,2     | 58,2     | 79,2     | 104      | 128      | 154      | 181      | 210      |  |

Tabela 6.8: Aumento da vazão em relação à vazão natural (%)

| T      | Aumento da vazão (%) |          |          |          |          |          |          |          |          |  |
|--------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| (anos) | Ai = 10%             | Ai = 20% | Ai = 30% | Ai = 40% | Ai = 50% | Ai = 60% | Ai = 70% | Ai = 80% | Ai = 90% |  |
| 2      | 52,58                | 115,46   | 182,47   | 270,10   | 386,60   | 507,22   | 651,55   | 817,53   | 1023,71  |  |
| 5      | 39,31                | 84,97    | 142,20   | 206,94   | 288,44   | 371,68   | 467,05   | 576,30   | 709,25   |  |
| 10     | 33,06                | 75,81    | 125,00   | 178,63   | 244,35   | 311,29   | 387,90   | 472,58   | 569,35   |  |
| 25     | 29,79                | 68,88    | 109,31   | 152,39   | 203,19   | 256,38   | 312,23   | 376,06   | 447,87   |  |
| 50     | 29,86                | 64,93    | 100,20   | 136,47   | 180,56   | 224,65   | 272,75   | 322,85   | 271,26   |  |
| 100    | 26,65                | 57,19    | 87,13    | 118,56   | 155,99   | 191,92   | 230,84   | 271,26   | 314,67   |  |

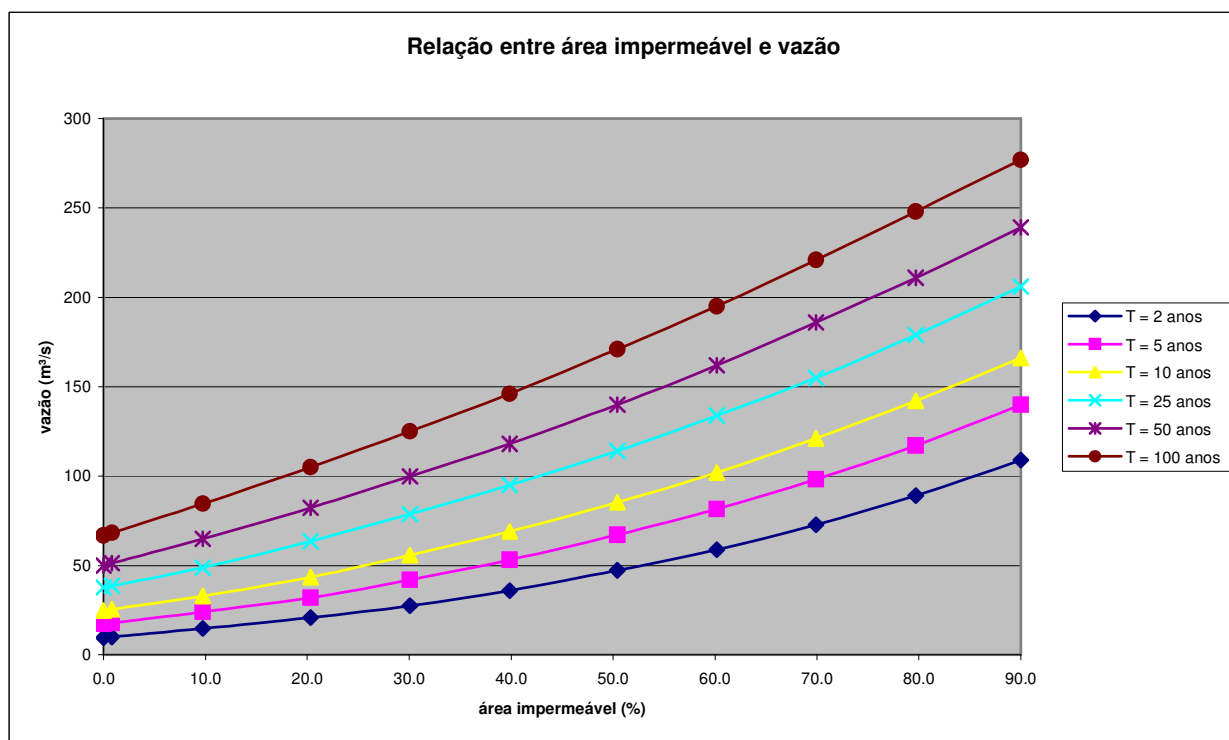


Figura 6.15: Relação entre o aumento da ocupação e o aumento da vazão

Segundo Christofolletti (1981), a forma do canal é resposta que reflete o ajustamento às vazões fluindo através de determinada seção transversal. Considera-se que as dimensões do canal serão controladas pelo equilíbrio entre as forças erosivas de entalhamento e os processos agradacionais depositando material no leito e em suas margens.

A variabilidade da magnitude das vazões que passam em determinada seção transversal é muito grande, e a cada grandeza podem ser medidos diversos valores para caracterizar as diversas variáveis da geometria hidráulica.

Em virtude das características do material litológico que compõe o curso de água há variabilidade na intensidade das alterações com as mudanças na vazão. Alguns rios sofrem pequenas mudanças durante a cheia, apresentando entalhamento quando se elevam as águas e deposição quando elas se abaixam. No conjunto, praticamente, há manutenção da forma e do equilíbrio enquanto não existe alguma modificação na bacia hidrográfica.

No caso do córrego Bananal, ainda sem a ocupação de sua bacia, alguns parâmetros geométricos e hidráulicos medidos na estação fluviométrica 60477600 (EPIA) e disponibilizados pela CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal) estão apresentados na Tabela 6.9. Os dados completos se encontram em anexo.

Tabela 6.9: Parâmetros geométricos e hidráulicos característicos do córrego Bananal

| Cota (cm) | Largura (m) | Profundidade (m) | Área Molhada (m <sup>2</sup> ) | Vazão (m <sup>3</sup> /s) | Vel. Média (m/s) |
|-----------|-------------|------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------|
| 98        | 4.60        | 0.67             | 3.06                           | 0.89                      | 0.29             |
| 99        | 4.50        | 0.80             | 3.60                           | 1.17                      | 0.32             |
| 104       | 4.60        | 0.69             | 3.18                           | 0.97                      | 0.31             |
| 105       | 4.56        | 0.75             | 3.40                           | 1.09                      | 0.32             |
| 107       | 4.56        | 0.79             | 3.62                           | 1.14                      | 0.31             |
| 110       | 4.60        | 0.77             | 3.55                           | 1.25                      | 0.35             |
| 112       | 4.59        | 0.81             | 3.67                           | 1.31                      | 0.35             |
| 113       | 4.60        | 0.81             | 3.75                           | 1.28                      | 0.34             |
| 114       | 4.65        | 0.83             | 3.86                           | 1.23                      | 0.32             |
| 116       | 4.17        | 0.85             | 3.53                           | 1.06                      | 0.30             |
| 117       | 4.48        | 0.85             | 3.82                           | 1.31                      | 0.34             |
| 118       | 4.40        | 0.82             | 3.63                           | 1.39                      | 0.38             |
| 119       | 4.64        | 0.86             | 3.99                           | 1.44                      | 0.36             |
| 120       | 4.30        | 0.86             | 3.70                           | 1.42                      | 0.36             |
| 121       | 4.48        | 0.90             | 4.01                           | 1.51                      | 0.37             |
| 122       | 4.15        | 0.85             | 3.52                           | 1.42                      | 0.40             |

Fonte: CAESB, 2006

Após o processo de ocupação e o conseqüente aumento da vazão, utilizou-se a equação 5.3 para encontrar a variação da área da seção transversal (Af). Considerou-se que a área da seção transversal conteria a vazão de margens plenas. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.10.

Tabela 6.10: Variação das características geométricas do córrego com o aumento da vazão

| Ocupação (%) | Q (m <sup>3</sup> /s) Af (m <sup>2</sup> ) |       | Q (m <sup>3</sup> /s) Af (m <sup>2</sup> ) |       | Q (m <sup>3</sup> /s) Af (m <sup>2</sup> ) |       | Q (m <sup>3</sup> /s) Af (m <sup>2</sup> ) |       | Q (m <sup>3</sup> /s) Af (m <sup>2</sup> ) |       | Q (m <sup>3</sup> /s) Af (m <sup>2</sup> ) |        |
|--------------|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|--|--------|
|              | 2 anos                                     |       | 5 anos                                     |       | 10 anos                                    |       | 25 anos                                    |       | 50 anos                                    |       | 100 anos                                   |        |
| 0            | 9,7  | 6,36  | 17,3                                       | 10,25 | 24,8                                       | 13,81 | 37,6                                       | 19,47 | 49,9                                       | 24,61 | 66,8                                       | 31,31  |
| 0,8          | 10,1                                       | 6,57  | 17,8                                       | 10,50 | 25,5                                       | 14,13 | 38,5                                       | 19,86 | 51,2                                       | 25,14 | 68,3                                       | 31,89  |
| 10           | 14,8                                       | 9,01  | 24,1                                       | 13,48 | 33   | 17,48 | 48,8                                       | 24,16 | 64,8                                       | 30,54 | 84,6                                       | 38,07  |
| 20           | 20,9                                       | 11,99 | 32   | 17,04 | 43,6                                       | 22,01 | 63,5                                       | 30,03 | 82,3                                       | 37,21 | 105  | 45,51  |
| 30           | 27,4                                       | 14,99 | 41,9                                       | 21,30 | 55,8                                       | 26,99 | 78,7                                       | 35,86 | 99,9                                       | 43,67 | 125  | 52,56  |
| 40           | 38,5                                       | 19,86 | 56,4                                       | 27,23 | 72,9                                       | 33,66 | 99,5                                       | 43,53 | 124  | 52,21 | 152  | 61,78  |
| 50           | 49,5                                       | 24,44 | 70   | 32,55 | 88,7                                       | 39,58 | 118  | 50,11 | 145  | 59,42 | 175  | 69,41  |
| 60           | 58,9                                       | 28,22 | 81,6                                       | 36,95 | 102  | 44,43 | 134  | 55,67 | 162  | 65,12 | 195  | 75,90  |
| 70           | 72,9                                       | 33,66 | 98,1                                       | 43,02 | 121  | 51,17 | 155  | 62,79 | 186  | 73,00 | 221  | 84,17  |
| 80           | 89   | 39,69 | 117  | 49,76 | 142  | 58,40 | 179  | 70,72 | 211  | 81,01 | 248  | 92,59  |
| 90           | 109  | 46,93 | 140  | 57,72 | 166  | 66,45 | 206  | 79,42 | 239  | 89,80 | 277  | 101,45 |

A Tabela 6.11 apresenta o aumento em percentagem da área da seção. Observa-se um aumento significativo na vazão, e, portanto na seção transversal. As Figuras 6.16 e 6.17 apresentam a relação entre a vazão e a área transversal no córrego Bananal para os tempos de retorno de 2 e 5 anos.

Tabela 6.11: Aumento percentual da área em função do aumento da vazão

| Ocupação (%) | Q (m³/s) 2 anos | Af (%) | Q (m³/s) 5 anos | Af (%) | Q (m³/s) 10 anos | Af (%) | Q (m³/s) 25 anos | Af (%) | Q (m³/s) 50 anos | Af (%) | Q (m³/s) 100 anos | Af (%) |
|--------------|-----------------|--------|-----------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|-------------------|--------|
| 0            | 9,7             | 0,00   | 17,3            | 0,00   | 24,8             | 0,00   | 37,6             | 0,00   | 49,9             | 0,00   | 66,8              | 0,00   |
| 0,8          | 10,1            | 3,40   | 17,8            | 2,38   | 25,5             | 2,33   | 38,5             | 1,97   | 51,2             | 2,15   | 68,3              | 1,85   |
| 10           | 14,8            | 41,79  | 24,1            | 31,52  | 33               | 26,63  | 48,8             | 24,05  | 64,8             | 24,10  | 84,6              | 21,56  |
| 20           | 20,9            | 88,59  | 32              | 66,24  | 43,6             | 59,41  | 63,5             | 54,20  | 82,3             | 51,21  | 105               | 45,32  |
| 30           | 27,4            | 135,89 | 41,9            | 107,73 | 55,8             | 95,46  | 78,7             | 84,13  | 99,9             | 77,48  | 125               | 67,84  |
| 40           | 38,5            | 212,45 | 56,4            | 165,56 | 72,9             | 143,78 | 99,5             | 123,50 | 124              | 112,18 | 152               | 97,29  |
| 50           | 49,5            | 284,58 | 70              | 217,46 | 88,7             | 186,69 | 118              | 157,33 | 145              | 141,47 | 175               | 121,65 |
| 60           | 58,9            | 344,01 | 81,6            | 260,36 | 102              | 221,78 | 134              | 185,84 | 162              | 164,64 | 195               | 142,39 |
| 70           | 72,9            | 429,58 | 98,1            | 319,59 | 121              | 270,57 | 155              | 222,39 | 186              | 196,65 | 221               | 168,80 |
| 80           | 89              | 524,53 | 117             | 385,36 | 142              | 322,97 | 179              | 263,12 | 211              | 229,23 | 248               | 195,67 |
| 90           | 109             | 638,43 | 140             | 462,96 | 166              | 381,24 | 206              | 307,83 | 239              | 264,95 | 277               | 223,97 |

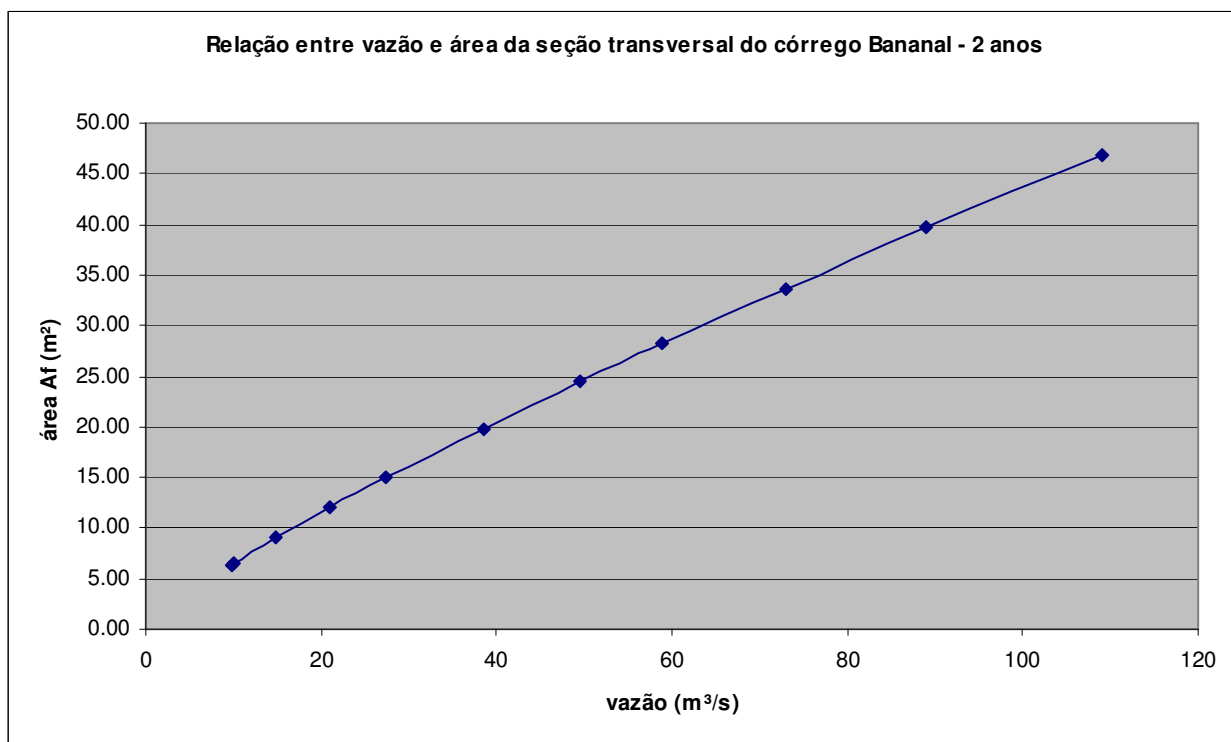


Figura 6.16: Gráfico da relação entre vazão e a área transversal do curso de água – 2 anos



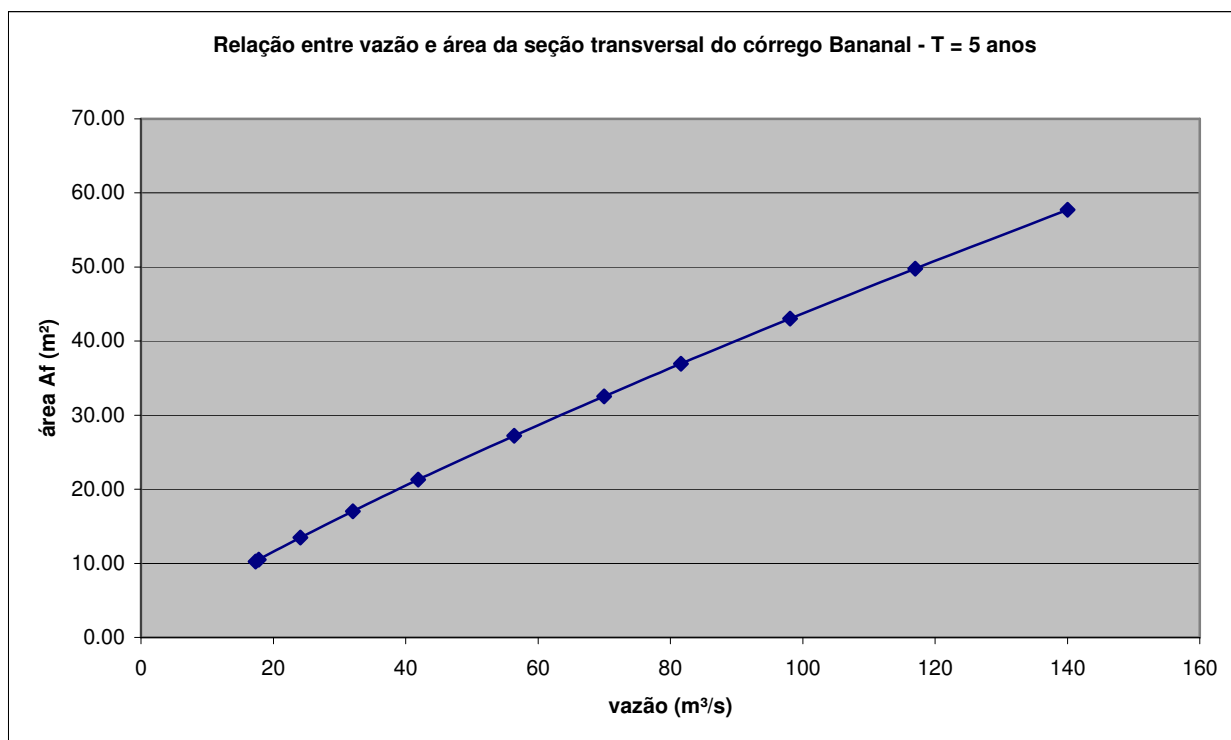


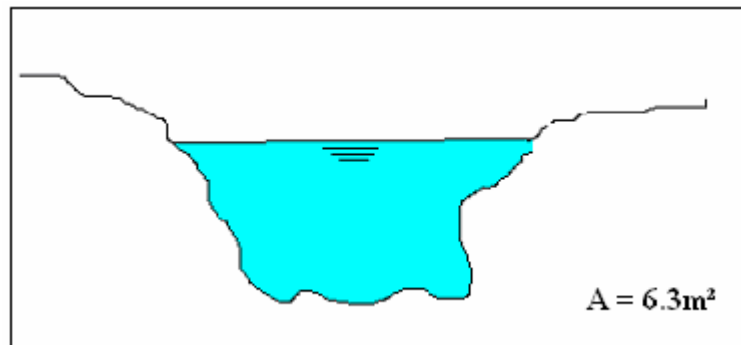
Figura: 6.17: Gráfico da relação entre vazão e a área transversal do curso de água – 5 anos

Como mencionado, Wolman e Miller (1960; 1974), citado por Christofolletti (1981), consideram que os eventos de magnitude moderada e de ocorrência relativamente freqüente controlam a forma do canal. Assim, baseado nos dados disponibilizados pela CAESB, observou-se que a seção transversal do córrego Bananal tem uma área de, aproximadamente, 6 m<sup>2</sup>. Essa área se aproxima da área encontrada, para tempo de retorno de 2 anos e nenhuma ocupação (Tabela 6.10).

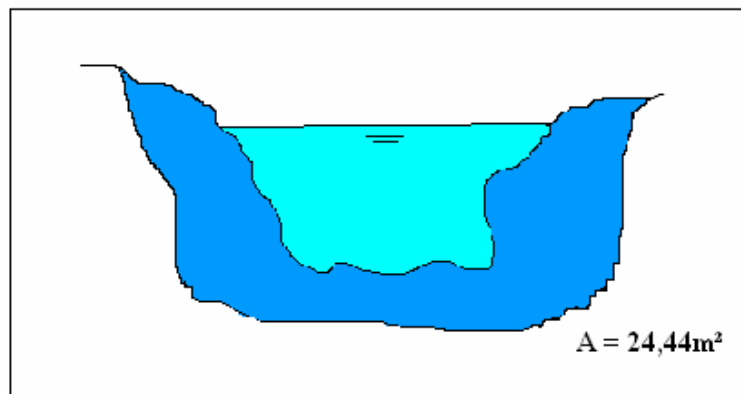
Com o aumento da vazão, observa-se o aumento da seção da calha. Como esse aumento vai ocorrer, depende de um estudo mais pormenorizado do lançamento da vazão e das condições geomorfológica do curso de água. Esse trabalho mostra apenas que, para a vazão encontrada, de forma simples, a calha poderá sofrer grandes alterações.

Portanto, a variação da seção transversal, após a ocupação da bacia, apenas para se ter uma noção, se processa da seguinte maneira: inicialmente o córrego tem, aproximadamente, 6,36 m<sup>2</sup> de área para uma vazão de 9,7 m<sup>3</sup>/s (Figura 6.18a). Após a impermeabilização de 50% da área, a vazão passaria para 49,5 m<sup>3</sup>/s e, para o escoamento dentro do canal manter as mesmas características hidráulicas de antes da ocupação, o córrego passaria a ter, aproximadamente 24.44 m<sup>2</sup> de seção transversal (Figura 6.18b). Considerando-se 1.000 m de extensão, esse

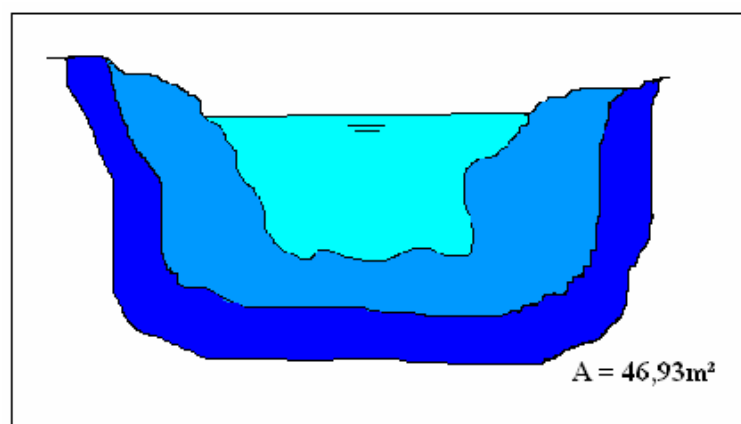
aumento nas dimensões do córrego produziria um volume de sedimentos de aproximadamente 18.000 m<sup>3</sup>/km. Após a ocupação total da bacia esse volume passaria para aproximadamente 41.000 m<sup>3</sup>/km, pois a área da seção seria de cerca de 47 m<sup>2</sup> (Figura 6.18c). Neste estudo não está sendo considerado o volume de sedimentos gerados pela ocupação, que inicialmente gera um volume alto de detritos e após o processo de urbanização esse volume reduz.



(a)



(b)



(c)

Figura 6.18: Variação da área da seção transversal do curso de água.

O volume de sedimentos gerados pela modificação da morfologia do córrego vai se depositar em trechos onde a velocidade é menor (Figura 6.19), provavelmente, nesse caso, ocorrerá no

lago Paranoá, modificando a morfologia do corpo de água e provocando aumento na gravidade e frequência das inundações, além do impacto sobre os ecossistemas aquáticos.

Até aqui foi considerado que todo aumento do escoamento superficial gerado pela ocupação da bacia e conseqüente impermeabilização do solo estaria sendo lançado no córrego Bananal.



Figura 6.19: Sedimentos depositados na entrada do lago Descoberto - DF.  
Fonte: Google Earth

#### 6.6. Análise de sistemas alternativos de drenagem urbana / diretrizes de ocupação

Adotando-se alguns dispositivos de drenagem alternativos para evitar o impacto no curso de água, chegou-se nos seguintes resultados.

Como mencionado, existem muitos dispositivos de drenagem alternativa, foram considerados nesse estudo de caso, apenas três desses dispositivos: bacia de detenção, pavimentos permeáveis e micro-reservatórios.

O foco principal é a bacia de detenção, pois, geralmente é implantada superficialmente e é a que necessita de maior área para sua utilização. Isso implica em uma concepção de forma integrada com o projeto urbanístico. Assim, a legislação de ocupação deverá prever uma área

para essas bacias serem construídas.

Como já citado, o armazenamento de águas de escoamento provenientes de um evento faz-se por tempo relativamente curto.

Nesse trabalho foi considerados uma profundidade de 1,5 m e tempo de detenção de 24 horas, a área que deverá permanecer sem ocupação para implementação da bacia de detenção, está apresentada na Tabela 6.13. A Figura 6.20 apresenta o aumento da área em relação ao acréscimo de vazão.

Baptista et al (2005) citam que a escolha do tempo de retorno a ser adotado em um projeto fica condicionada a uma análise simplificada, sendo considerada a natureza do empreendimento, com o emprego de valores tabelados. Segundo esses autores em bacias hidrográficas com áreas maiores que 10 km<sup>2</sup>, os tempos de retorno adotados devem estar entre 50 e 100 anos.

Observa-se que para ocupar 50% da área, aproximadamente 6% da área total deverá permanecer desocupada para amortecimento da cheia de 100 anos de retorno. Para 90% da área ocupada, a extensão prevista para esse amortecimento, deverá ser de aproximadamente 11% da área total. Pode-se perceber que a cada 10% de ocupação há um acréscimo de aproximadamente 1% na área que deverá permanecer desocupada.

Para as cheias de 2 e 5 anos a área que deverá permanecer desocupada é de aproximadamente 7% para 90% de ocupação.

Tabela 6.12: Áreas que devem permanecer desocupadas (bacia de detenção).

| Ocupação (%) | Q (m <sup>3</sup> /s) | A (bacia) (m <sup>2</sup> ) | Área (%) | Q (m <sup>3</sup> /s) | A (bacia) (m <sup>2</sup> ) | Área (%) | Q (m <sup>3</sup> /s) | A (bacia) (m <sup>2</sup> ) | Área (%) |
|--------------|-----------------------|-----------------------------|----------|-----------------------|-----------------------------|----------|-----------------------|-----------------------------|----------|
| 0            | 9,7                   |                             |          | 17,3                  |                             |          | 24,8                  |                             |          |
| 0,8          | 10,1                  | 23.040                      | 0,02     | 17,8                  | 28.800                      | 0,03     | 25,5                  | 40.320                      | 0,04     |
| 10           | 14,8                  | 293.760                     | 0,27     | 24,1                  | 391.680                     | 0,35     | 33                    | 472.320                     | 0,43     |
| 20           | 20,9                  | 645.120                     | 0,58     | 32                    | 846.720                     | 0,76     | 43,6                  | 1.082.880                   | 0,98     |
| 30           | 27,4                  | 1.019.520                   | 0,92     | 41,9                  | 1.416.960                   | 1,28     | 55,8                  | 1.785.600                   | 1,61     |
| 40           | 38,5                  | 1.658.880                   | 1,50     | 56,4                  | 2.252.160                   | 2,03     | 72,9                  | 2.770.560                   | 2,50     |
| 50           | 49,5                  | 2.292.480                   | 2,07     | 70                    | 3.035.520                   | 2,74     | 88,7                  | 3.680.640                   | 3,32     |
| 60           | 58,9                  | 2.833.920                   | 2,56     | 81,6                  | 3.703.680                   | 3,35     | 102                   | 4.446.720                   | 4,02     |
| 70           | 72,9                  | 3.640.320                   | 3,29     | 98,1                  | 4.654.080                   | 4,20     | 121                   | 5.541.120                   | 5,01     |
| 80           | 89                    | 4.567.680                   | 4,13     | 117                   | 5.742.720                   | 5,19     | 142                   | 6.750.720                   | 6,10     |
| 90           | 109                   | 5.719.680                   | 5,17     | 140                   | 7.067.520                   | 6,38     | 166                   | 8.133.120                   | 7,35     |
| Ocupação (%) | Q (m <sup>3</sup> /s) | A (bacia) (m <sup>2</sup> ) | Área (%) | Q (m <sup>3</sup> /s) | A (bacia) (m <sup>2</sup> ) | Área (%) | Q (m <sup>3</sup> /s) | A (bacia) (m <sup>2</sup> ) | Área (%) |
|              | 25 anos               |                             |          | 50 anos               |                             |          | 100 anos              |                             |          |
| 0            | 37,6                  |                             |          | 49,9                  |                             |          | 66,8                  |                             |          |
| 0,8          | 38,5                  | 51.840                      | 0,05     | 51,2                  | 74.880                      | 0,07     | 68,3                  | 86.400                      | 0,08     |
| 10           | 48,8                  | 645.120                     | 0,58     | 64,8                  | 858.240                     | 0,78     | 84,6                  | 1.025.280                   | 0,93     |
| 20           | 63,5                  | 1.491.840                   | 1,35     | 82,3                  | 1.866.240                   | 1,69     | 105                   | 2.200.320                   | 1,99     |
| 30           | 78,7                  | 2.367.360                   | 2,14     | 99,9                  | 2.880.000                   | 2,60     | 125                   | 3.352.320                   | 3,03     |
| 40           | 99,5                  | 3.565.440                   | 3,22     | 124                   | 4.268.160                   | 3,86     | 152                   | 4.907.520                   | 4,43     |
| 50           | 118                   | 4.631.040                   | 4,18     | 145                   | 5.477.760                   | 4,95     | 175                   | 6.232.320                   | 5,63     |
| 60           | 134                   | 5.552.640                   | 5,06     | 162                   | 6.456.960                   | 5,83     | 195                   | 7.384.320                   | 6,67     |
| 70           | 155                   | 6.762.240                   | 6,11     | 186                   | 7.839.360                   | 7,08     | 221                   | 8.881.920                   | 8,02     |
| 80           | 179                   | 8.144.640                   | 7,36     | 211                   | 9.279.360                   | 8,38     | 248                   | 10.437.120                  | 9,43     |
| 90           | 206                   | 9.699.840                   | 8,76     | 239                   | 10.892.160                  | 9,84     | 277                   | 12.107.520                  | 10,94    |

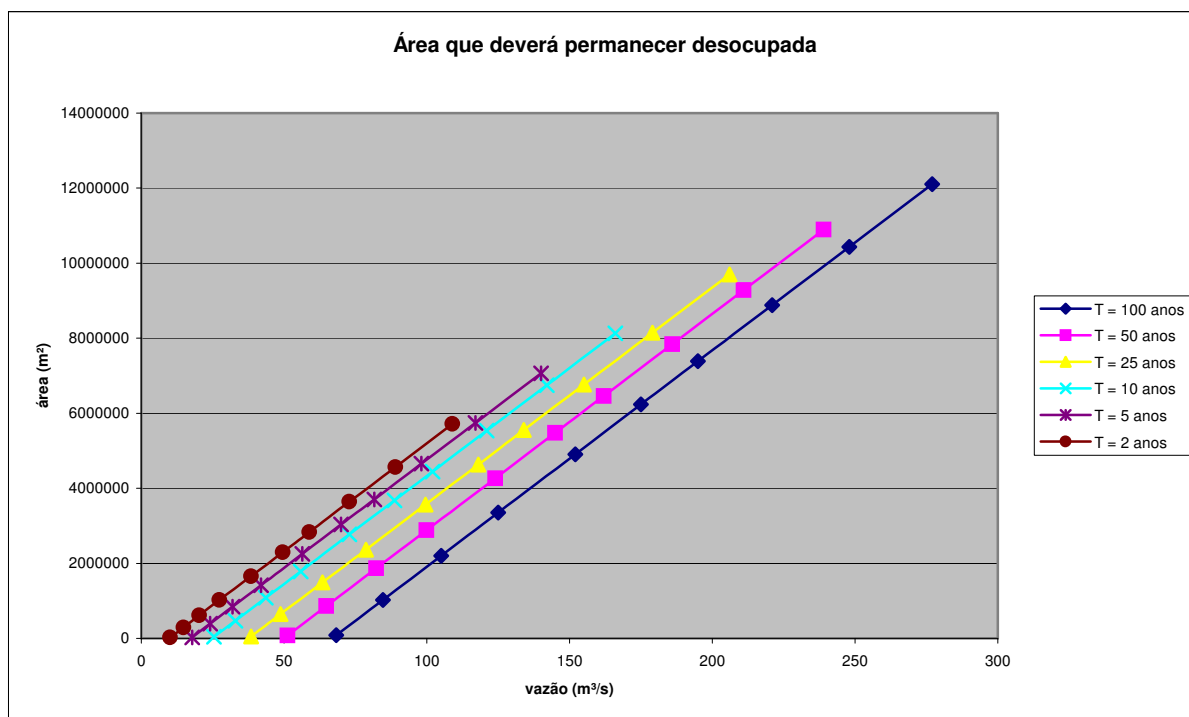


Figura 6.20: Crescimento da área em relação ao aumento de vazão (áreas que deverão permanecer desocupadas)

Observa-se uma linha de tendência linear e aproximadamente paralela do crescimento da área em relação ao acréscimo de vazão para os vários tempos de retorno.

A taxa de infiltração de água no solo do cerrado, encontrada por Leite et al. (1992) foi de 48,6 cm/h no início da medição e passou para 27,6 cm/h após 180 minutos. Portanto, a taxa de infiltração é alta sendo recomendáveis medidas de controle de infiltração. As declividades na área de estudo são baixas, favorecendo ainda mais os dispositivos de infiltração. Em áreas planas como a estudada, a questão que deverá ser analisada é o nível do lençol freático, que poderá ser um fator limítrofe da utilização de algumas medidas de controle de infiltração.

Considerando-se os pavimentos permeáveis, conforme mencionado, baseado nos estudos experimentais realizados por Araújo (1999), os pavimentos de bloco vazado apresentaram um coeficiente de escoamento de 0,5 %. Utilizando-se esse dispositivo na área em estudo e considerando-se que 20% da área ocupada estivesse com esse coeficiente de escoamento e o restante, ocupado conforme o PDL (Plano Diretor Local), a curva CN ficaria em torno de 79. A Tabela 6.13 apresenta os resultados das vazões de pico, utilizando o pavimento permeável.

Tabela 6.13: Vazão máxima para a área da bacia com pavimentos permeáveis

| T (anos) | Vazão max. (m <sup>3</sup> /s) | Vazão natural (m <sup>3</sup> /s) | Aumento (%) |
|----------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| 2        | 72,8                           | 9,70                              | 650         |
| 5        | 98,1                           | 17,3                              | 467         |
| 10       | 121                            | 24,8                              | 388         |
| 25       | 155                            | 37,6                              | 312         |
| 50       | 186                            | 49,9                              | 273         |
| 100      | 221                            | 66,8                              | 231         |

Observa-se que, utilizando o pavimento permeável, a vazão de pico, com a bacia totalmente ocupada, foi de 221 m<sup>3</sup>/s (T=100 anos), enquanto sem esse dispositivo seria de 277 m<sup>3</sup>/s (Tabela 6.7), ou seja, a vazão seria reduzida em aproximadamente, 20%.

Para o uso de micro-reservatórios, foram feitas simulações em lotes de 300m<sup>2</sup> e 600m<sup>2</sup> com 100% de impermeabilização e tempo de retorno de 5 anos. Os volumes de detenção encontrados foram de 1,40 m<sup>3</sup> para lotes de 300 m<sup>2</sup> e de 2,70 m<sup>3</sup> para lotes de 600m<sup>2</sup>. Esses resultados foram diferentes dos encontrados por Cruz et al (1998) que foram de 1.25m<sup>3</sup> para lote de 300 m<sup>2</sup> e de 2.20 m<sup>3</sup> para lotes de 600m<sup>2</sup>. Portanto, é necessário considerar as condições naturais de cada região para considerar os volumes que deverão ser retidos em cada lote.

Considerando os micro-reservatórios com profundidade de 1,0 m a área que ele ocuparia seria aproximadamente de 0,5 % da área do lote.

Conforme mencionado, além dos aspectos puramente hidrológicos, diversos outros aspectos como econômicos, ambientais, culturais, sociais, legais, estéticos, de segurança pública e de saúde pública devem ser analisados na escolha do sistema de drenagem mais adequado a ser implantado.

## 7. Considerações Finais e Recomendações

A ocupação urbana de uma área gera, entre outras coisas, a sua impermeabilização. A questão da impermeabilização do solo tem sido registrada freqüentemente na legislação urbanística, nos processos de planejamento urbano e na gestão dos recursos hídricos, bem como em diversos trabalhos que discutem o assunto e que relacionam os efeitos e impactos diretos e indiretos no regime hidrológico e no equilíbrio do meio ambiente, resultando assim, como um importante indicador de sustentabilidade urbana. Esse indicador, ou seja, o equilíbrio do meio ambiente, pode ser utilizado para limitar a ocupação de algumas áreas.

As disposições contidas nas leis de diretrizes de ocupação urbana são de grande importância para as questões da drenagem. O levantamento das possibilidades de adensamento do território permitidas pela legislação pertinente é, portanto, básico para os estudos hidrológicos de projetos de drenagem, mesmo sabendo-se que as políticas regulatórias de uso e ocupação de uma área apresentam imprevisibilidade de resultados.

A melhor solução, porém, é a utilização dos estudos hidrológicos e hidráulicos para definir as diretrizes de ocupação. Desta forma minimizam-se ou evitam-se os problemas relacionados aos efeitos da urbanização na questão da drenagem.

Esse estudo mostrou que a drenagem urbana deve considerar as características dos corpos receptores, da topografia e do índice de permeabilidade da área natural, além é claro dos já citados aspectos econômicos, sociais, de segurança e saúde pública.

Para o planejamento urbano deverão ser consideradas as taxas de impermeabilização permitidas, devendo ser utilizadas medidas de drenagem alternativas conforme as características das áreas. Em regiões planas, foco desse estudo, o sistema alternativo ou compensatório se mostrou como melhor solução para a questão da drenagem urbana, pois retem o excesso de água gerado pela urbanização, evitando assim, o impacto no curso de água.

Deste modo, a questão da drenagem urbana deverá ser encarada segundo os aspectos legais e os aspectos físicos de forma preventiva. Até a pouco tempo, o processo de estudo tradicional do sistema pluvial era feito só depois do estudo urbanístico, consistindo basicamente de uma rede de condutos enterrados ao longo do sistema viário. Deve-se evitar que essa prática se



estenda ao projeto de sistema alternativo de drenagem, pois o projeto urbanístico já pronto vai restringir muito e até ocultar suas potencialidades de controle. O sucesso das medidas de controle na fonte é muito mais nítido quando o problema de drenagem pluvial é levado em conta juntamente com o projeto urbanístico. As oportunidades de otimização do projeto se abrem, pois, por exemplo, se uma bacia de detenção é necessária, ela não é imposta ao projeto urbanístico, mas passa a ser um elemento de valorização do ambiente, com plena consciência das restrições que ela possa causar na arquitetura do espaço.

O Plano de Drenagem requer estratégias de aplicação. Para áreas não ocupadas é preferível o desenvolvimento de medidas relacionadas com a regulamentação da ocupação para evitar os impactos devido à urbanização. Para áreas já ocupadas é necessário desenvolver estudos específicos por macro-bacias urbanas visando planejar as medidas necessárias para o controle dos impactos dentro dessas bacias. Esse estudo, porém, visou o planejamento para áreas planas não ocupadas.

O estudo de caso realizado demonstrou um impacto considerável no curso de água quando utilizada a técnica clássica de drenagem urbana, chegando a um aumento de aproximadamente 1000% na vazão de tempo de retorno de 2 anos para 90% da área ocupada (Tabela 6.9), ou seja, 11 vezes maior. Utilizando-se as técnicas compensatórias para reduzir ou evitar esse impacto, deverá ser prevista uma área de 11% da área total, no planejamento de ocupação dessa região. Observou-se, também, que a utilização dos pavimentos permeáveis e/ou de micro-reservatórios podem reduzir o escoamento superficial, e conseqüentemente o impacto no curso de água. Portanto, sendo uma alternativa no caso de não haver área suficiente para a utilização da bacia de detenção ou mesmo quando essa não puder ser utilizada devido às restrições do local.

Esse estudo mostrou que as características físicas naturais da bacia (tamanho, topografia, taxa de infiltração, tipo de solo) são importantes para definir o zoneamento necessário para evitar os impactos nos corpos de água receptores e conseqüentes inundações.

Recomenda-se que o planejamento urbano tenha interfaces entre as várias áreas de interferência: arquitetura, engenharia civil, engenharia sanitária, engenharia de recursos hídricos, geologia, economia, sociologia e direito. É importante ver a área a ser ocupada como um processo dinâmico e que seu planejamento deverá ser sempre revisto, para evitar a

necessidade de intervenções drásticas, de alto custo, e que muitas vezes não podem ser implementadas devido à falta de recurso.

## 8. Referências Bibliográficas

AB'SÁBER, A. N., *Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil*. Geomorfologia. USP, São Paulo, 1970.

AB'SÁBER, A. N., Participação das depressões periféricas e superficiais aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro: considerações finais, conclusões. Geomorfologia. USP, São Paulo, 1972.

ARAÚJO, P.R. *Análise experimental da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial*. (Dissertação de mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre-RS. 1999.

ARAUJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDENFUM, J. A., *Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial*. UFRGS, Porto Alegre, 2001.

BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N. O., *Risco e tempo de retorno*. Documento Provisório. Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio ambiente e Recursos Hídricos – EE. UFMG, Belo Horizonte, 2000.

BAPTISTA, M. B., NASCIMENTO, N. O., *O contexto de drenagem urbana*. Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio ambiente e Recursos Hídricos – EE. UFMG, Belo Horizonte, 2001. Notas de aula.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. ABRH, Porto Alegre, 2005.

BENEVOLO, L. *História da cidade*. Editora Perspectiva. São Paulo, 1997

BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M. R. e SILVA, J.X., *Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos*. Boletim Paranaense de Geografia, Curitiba, 1965.

CASSETI, V., *Ambiente e apropriação do relevo*, São Paulo: Contexto, 1991.

CASTRO, L. M. A, *Proposição de indicadores para avaliação de sistemas de drenagem urbana*. (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.

CASTRO, L. M. A, *Proposição de metodologia para avaliação da sustentabilidade do desenvolvimento urbano quanto às alterações provocadas nos corpos de água*. (Tese de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

- CHANG, H. H., *Fluvial processes in river engineering*. United States Copyright, 1988.
- CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W., *Applied Hydrology*. McGraw – Hill Book Company, New York, 1988.
- CHRISTOFOLETTI, A., *Geomorfologia fluvial*. Edgard Blücher, São Paulo, 1981.
- COELHO, A.L.N., *Contribuição da geomorfologia fluvial no ordenamento territorial*. Universidade Federal Fluminense, 2006.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil; EMBRAPA, *Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno – fase I (ZEE RIDE – Fase 1)*, Rio de Janeiro, 2003.
- CRUZ, M. A., TUCCI, C. E. M., SILVEIRA, A. L., *Controle de escoamento com retenção em lotes urbanos*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, Porto Alegre, 1998.
- CUNHA, S. B., *Geomorfologia fluvial*, em: CUNHA, S. B. & GUERRA, A.J. T. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.
- CUNHA, S. B., *Geomorfologia fluvial*, em: CUNHA, S. B. & GUERRA, A.J. T. *Geomorfologia: exercícios técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002
- DISTRITO FEDERAL *Lei federal nº 10.257/01 - Estatuto da Cidade- 2001*.
- DISTRITO FEDERAL, *Constituição da república federativa do Brasil*. 1988.
- DISTRITO FEDERAL, *LEI complementar nº 17, de 28 de janeiro de 1997 - Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT*. Câmara Legislativa do Distrito Federal.
- DISTRITO FEDERAL, *Lei nº 9433 de 8 de janeiro de 1997- Resolução nº 303, DE 20 de março de 2002*.
- DISTRITO FEDERAL, *Lei nº 11445 de 5 de janeiro de 2007*
- FCTH - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*. Prefeitura do município de São Paulo, 1999.
- FELDMAN, S., *As teorias que deram suporte às ações urbanísticas no Brasil : os anos 1970 e 1980*. Seminário 230 anos de Campinas: Território, Urbanismo e Planejamento, Campinas, 2004.

- FISRWG – The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. *Stream corridor restoration: principles, processes and practices*. Federal agencies of the US gov't, 1998..
- FREITAG, B. *Utopias urbanas*. UNB, Brasília, 2002.
- GOLDENFUM, J. A., TUCCI, C.E.M. *Planos diretores de drenagem urbana: princípios e fundamentos* IPH – UFRGS, Porto Alegre, 2002.
- GOLDER/FAHMA, Consórcio, *Plano de gerenciamento integrado de recursos hídricos do Distrito Federal (PGIRH –DF)*, Belo Horizonte, 2005.
- GREGORY, K. J., WALLY, D.E. *Drainage basin from and process*. Edward Arndt, 1976
- GUERRA, A.J. T., *Dicionário geológico-geomorfológico*. IBGE, Rio de Janeiro:1993.
- GUERRA, A.J. T., CUNHA, S. B., *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 6ª edição, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2005.
- HAUGHTON & HUNTER, *Sustainable cities*. Regional Policies and Development Series 7. Jessica Kingsley Publishers and Regional Studies Association, 1994.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), acessado em abril de 2006.
- LEITE, L. L., MARTIN, C. R., HARIDASAN, M. Propriedades físico-hídricas do solo de uma cascalheira e de áreas adjacentes com vegetação nativa de campo sujo e cerrado no Parque Nacional de Brasília. Anais do Simpósio Nacional de Recuperação de áreas Degradadas. Curitiba, PR, 1992.
- LIMA, M. C. *Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto à voçorocas – Brasília*. UnB (Tese de Doutorado) Distrito Federal, 2003.
- MARQUES, C. E. B., *Proposta de método para a formulação de planos diretores de drenagem urbana – Brasília* UnB (Dissertação de Mestrado) Distrito Federal, 2006.
- MARTINS, E.O., SOUZA N. M., *Utilização do programa spring para o cadastramento de erosão*, 2005. [www.servicos.capes.gov.br](http://www.servicos.capes.gov.br), acessado em abril de 2006.
- MARTINS, E. S. *Petrografia, mineralogia e geomorfologia de regolitos lateríticos no Distrito Federal*. IG/UnB. (Tese de Doutorado) Brasília, 1998.
- MATTOS, J. A., *Vida e crescimento das cidades: introdução ao urbanismo*. Porto Alegre, 1952.

- MODIANO, M. L. L., *Planejamento urbano*. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 1965.
- MOTA, S., *Planejamento urbano e preservação ambiental*. Edições UFC, Fortaleza, 1981.
- MOURA, P. M., *Contribuição para avaliação global de sistemas de drenagem urbana. (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.*
- NAGHETTINI, M., *Engenharia de recursos hídricos*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – EE. UFMG, Belo Horizonte, 1999. Notas de aula.
- NASCIMENTO, M., A., L., S., *Geomorfologia do estado de Goiás – Boletim Goiano de Geografia UFG, Goiânia, 1991.*
- NASCIMENTO, N. O., BAPTISTA, M. B., SOUZA V. C. B., *Sistema hidrourb para o pré-dimensionamento de solução compensatórias em drenagem urbana*. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Vitória, ES, 1997.
- NETO, A. C. *Sistemas urbanos de drenagem*. Disponível no site ana.gov.br, acessado em setembro de 2006.
- NETTO, O, M, C, *Técnicas de minimização da drenagem de águas pluviais*, São Paulo, 2004.
- NOVAES PINTO, M. Superfícies de aplainamento do Distrito Federal. Rev. Bras. Geogr, 1987.
- PINHEIRO, M. M. G., *Estudos de chuvas intensas na região metropolitana de Belo Horizonte*. Tese de Mestrado, UFMG. Belo Horizonte, 1997.
- PONCE, V. M., *Engineering hydrology, principles and practices*. Prentice Hall, New Jersey, 1989.
- POMPÊO, C. A., *Drenagem urbana sustentável*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Site [www.labdren.ufsc.br](http://www.labdren.ufsc.br), acessado em novembro de 2006.
- RAMOS, M. H. D. *Drenagem urbana: aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte*. (Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1998.
- ROLNIK, R. *O que é cidade*. Coleção primeiros passos, Editora Brasiliense. São Paulo, 1995.
- ROSS, J. L. S. *Geografia do Brasil*. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

- SILVA, R., C., V., MASCARENHAS, F., C., B., MIGUEZ, M., G., *Hidráulica fluvial*, COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.
- SILVEIRA, A. L.L. *Gestores regionais de recursos hídricos*. Curso de Drenagem Urbana UFRGS, 2002.
- SINGH V. P. *Elementary hydrology*. Prentice Hall Englewood Cliffs, 1992.
- SUGUIO, K & BIGARELLA, J. *Ambientes Fluviais*. 2ªEd. Florianópolis: editora da UFSC, 1990.
- THORNE, C. R., ALLEN, R. G. and SIMON, A. *Geomorphological River Channel Reconnaissance for Rive Analysis*. Engineering and Management Transactions of the Institute of British Geographers, 1996.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Ed.Universidade/UFRGS:ABRH, Porto Alegre, 2000.
- TUCCI, C. E. M., *Plano diretor de drenagem urbana de Porto Alegre, 1ª fase*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS. Porto Alegre, 2001
- TUCCI, C. E. M. *Gerenciamento de drenagem urbana*. Ed.Universidade/UFRGS:ABRH, Porto Alegre, 2002.
- TUCCI, C. E. M., BERTONI, J. C., *Inundações urbanas na américa do sul*. ABRH, Porto Alegre, 2003.
- TUCCI, C. E. M. *Gestão das inundações urbanas*. UNESCO, Porto Alegre, 2005.
- TUCCI, C. E. M., COLLISCHONN, W. *Drenagem urbana e controle de erosão*, site: [www.iph.ufrgs.br](http://www.iph.ufrgs.br). Acesso em novembro de 2006.
- VIEIRA, V. T. *Rede de Drenagem Urbana: Ação Antrópica nos Canais de 3ª Ordem – Alto Rio Paquequer, Teresópolis - RJ*. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.
- VILLELA, S. M., MATTOS, A., *Hidrologia aplicada*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1975.
- WOLMAN, M. G. *A Cycle of sedimentation and erosion in urban river channels*. Geografiska Annaler, Vol.49. p. 385-395, 1967.

## APÊNDICE I

Tabela de variação de CN com a ocupação

| Área A ocupada (km <sup>2</sup> ) | A Ocupada (%) | A Natural (%) | A Impermeável (%) | CN   |
|-----------------------------------|---------------|---------------|-------------------|------|
| 110.7                             | 0.00          | 100.00        | 0.00              | 47.0 |
| 1                                 | 0.90          | 99.10         | 0.81              | 47.4 |
| 2                                 | 1.81          | 98.19         | 1.63              | 47.7 |
| 3                                 | 2.71          | 97.29         | 2.44              | 48.1 |
| 4                                 | 3.61          | 96.39         | 3.25              | 48.5 |
| 5                                 | 4.52          | 95.48         | 4.07              | 48.9 |
| 6                                 | 5.42          | 94.58         | 4.88              | 49.2 |
| 7                                 | 6.32          | 93.68         | 5.69              | 49.6 |
| 8                                 | 7.23          | 92.77         | 6.50              | 50.0 |
| 9                                 | 8.13          | 91.87         | 7.32              | 50.3 |
| 10                                | 9.03          | 90.97         | 8.13              | 50.7 |
| 11                                | 9.94          | 90.06         | 8.94              | 51.1 |
| 12                                | 10.84         | 89.16         | 9.76              | 51.5 |
| 13                                | 11.74         | 88.26         | 10.57             | 51.8 |
| 14                                | 12.65         | 87.35         | 11.38             | 52.2 |
| 15                                | 13.55         | 86.45         | 12.20             | 52.6 |
| 16                                | 14.45         | 85.55         | 13.01             | 53.0 |
| 17                                | 15.36         | 84.64         | 13.82             | 53.3 |
| 18                                | 16.26         | 83.74         | 14.63             | 53.7 |
| 19                                | 17.16         | 82.84         | 15.45             | 54.1 |
| 20                                | 18.07         | 81.93         | 16.26             | 54.4 |
| 21                                | 18.97         | 81.03         | 17.07             | 54.8 |
| 22                                | 19.87         | 80.13         | 17.89             | 55.2 |
| 23                                | 20.78         | 79.22         | 18.70             | 55.6 |
| 24                                | 21.68         | 78.32         | 19.51             | 55.9 |
| 25                                | 22.58         | 77.42         | 20.33             | 56.3 |
| 26                                | 23.49         | 76.51         | 21.14             | 56.7 |
| 27                                | 24.39         | 75.61         | 21.95             | 57.0 |
| 28                                | 25.29         | 74.71         | 22.76             | 57.4 |
| 29                                | 26.20         | 73.80         | 23.58             | 57.8 |
| 30                                | 27.10         | 72.90         | 24.39             | 58.2 |
| 31                                | 28.00         | 72.00         | 25.20             | 58.5 |
| 32                                | 28.91         | 71.09         | 26.02             | 58.9 |
| 33                                | 29.81         | 70.19         | 26.83             | 59.3 |
| 34                                | 30.71         | 69.29         | 27.64             | 59.7 |
| 35                                | 31.62         | 68.38         | 28.46             | 60.0 |
| 36                                | 32.52         | 67.48         | 29.27             | 60.4 |
| 37                                | 33.42         | 66.58         | 30.08             | 60.8 |
| 38                                | 34.33         | 65.67         | 30.89             | 61.1 |
| 39                                | 35.23         | 64.77         | 31.71             | 61.5 |
| 40                                | 36.13         | 63.87         | 32.52             | 61.9 |
| 41                                | 37.04         | 62.96         | 33.33             | 62.3 |
| 42                                | 37.94         | 62.06         | 34.15             | 62.6 |



|    |       |       |       |      |
|----|-------|-------|-------|------|
| 43 | 38.84 | 61.16 | 34.96 | 63.0 |
| 44 | 39.75 | 60.25 | 35.77 | 63.4 |
| 45 | 40.65 | 59.35 | 36.59 | 63.7 |
| 46 | 41.55 | 58.45 | 37.40 | 64.1 |
| 47 | 42.46 | 57.54 | 38.21 | 64.5 |
| 48 | 43.36 | 56.64 | 39.02 | 64.9 |
| 49 | 44.26 | 55.74 | 39.84 | 65.2 |
| 50 | 45.17 | 54.83 | 40.65 | 65.6 |
| 51 | 46.07 | 53.93 | 41.46 | 66.0 |
| 52 | 46.97 | 53.03 | 42.28 | 66.4 |
| 53 | 47.88 | 52.12 | 43.09 | 66.7 |
| 54 | 48.78 | 51.22 | 43.90 | 67.1 |
| 55 | 49.68 | 50.32 | 44.72 | 67.5 |
| 56 | 50.59 | 49.41 | 45.53 | 67.8 |
| 57 | 51.49 | 48.51 | 46.34 | 68.2 |
| 58 | 52.39 | 47.61 | 47.15 | 68.6 |
| 59 | 53.30 | 46.70 | 47.97 | 69.0 |
| 60 | 54.20 | 45.80 | 48.78 | 69.3 |
| 61 | 55.10 | 44.90 | 49.59 | 69.7 |
| 62 | 56.01 | 43.99 | 50.41 | 70.1 |
| 63 | 56.91 | 43.09 | 51.22 | 70.4 |
| 64 | 57.81 | 42.19 | 52.03 | 70.8 |
| 65 | 58.72 | 41.28 | 52.85 | 71.2 |
| 66 | 59.62 | 40.38 | 53.66 | 71.6 |
| 67 | 60.52 | 39.48 | 54.47 | 71.9 |
| 68 | 61.43 | 38.57 | 55.28 | 72.3 |
| 69 | 62.33 | 37.67 | 56.10 | 72.7 |
| 70 | 63.23 | 36.77 | 56.91 | 73.1 |
| 71 | 64.14 | 35.86 | 57.72 | 73.4 |
| 72 | 65.04 | 34.96 | 58.54 | 73.8 |
| 73 | 65.94 | 34.06 | 59.35 | 74.2 |
| 74 | 66.85 | 33.15 | 60.16 | 74.5 |
| 75 | 67.75 | 32.25 | 60.98 | 74.9 |
| 76 | 68.65 | 31.35 | 61.79 | 75.3 |
| 77 | 69.56 | 30.44 | 62.60 | 75.7 |
| 78 | 70.46 | 29.54 | 63.41 | 76.0 |
| 79 | 71.36 | 28.64 | 64.23 | 76.4 |
| 80 | 72.27 | 27.73 | 65.04 | 76.8 |
| 81 | 73.17 | 26.83 | 65.85 | 77.1 |
| 82 | 74.07 | 25.93 | 66.67 | 77.5 |
| 83 | 74.98 | 25.02 | 67.48 | 77.9 |
| 84 | 75.88 | 24.12 | 68.29 | 78.3 |
| 85 | 76.78 | 23.22 | 69.11 | 78.6 |
| 86 | 77.69 | 22.31 | 69.92 | 79.0 |
| 87 | 78.59 | 21.41 | 70.73 | 79.4 |
| 88 | 79.49 | 20.51 | 71.54 | 79.8 |
| 89 | 80.40 | 19.60 | 72.36 | 80.1 |
| 90 | 81.30 | 18.70 | 73.17 | 80.5 |
| 91 | 82.20 | 17.80 | 73.98 | 80.9 |

|       |        |       |       |      |
|-------|--------|-------|-------|------|
| 92    | 83.11  | 16.89 | 74.80 | 81.2 |
| 93    | 84.01  | 15.99 | 75.61 | 81.6 |
| 94    | 84.91  | 15.09 | 76.42 | 82.0 |
| 95    | 85.82  | 14.18 | 77.24 | 82.4 |
| 96    | 86.72  | 13.28 | 78.05 | 82.7 |
| 97    | 87.62  | 12.38 | 78.86 | 83.1 |
| 98    | 88.53  | 11.47 | 79.67 | 83.5 |
| 99    | 89.43  | 10.57 | 80.49 | 83.8 |
| 100   | 90.33  | 9.67  | 81.30 | 84.2 |
| 101   | 91.24  | 8.76  | 82.11 | 84.6 |
| 102   | 92.14  | 7.86  | 82.93 | 85.0 |
| 103   | 93.04  | 6.96  | 83.74 | 85.3 |
| 104   | 93.95  | 6.05  | 84.55 | 85.7 |
| 105   | 94.85  | 5.15  | 85.37 | 86.1 |
| 106   | 95.75  | 4.25  | 86.18 | 86.5 |
| 107   | 96.66  | 3.34  | 86.99 | 86.8 |
| 108   | 97.56  | 2.44  | 87.80 | 87.2 |
| 109   | 98.46  | 1.54  | 88.62 | 87.6 |
| 110   | 99.37  | 0.63  | 89.43 | 87.9 |
| 110.7 | 100.00 | 0.00  | 90.00 | 88.2 |

## ANEXO I

| Cota (cm) | Largura (m) | Profundidade (m) | Área Molhada (m <sup>2</sup> ) | Vazão (m <sup>3</sup> /s) | Vel. Média (m/s) |
|-----------|-------------|------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------|
| 98        | 4.60        | 0.67             | 3.06                           | 0.89                      | 0.29             |
| 99        | 4.50        | 0.80             | 3.60                           | 1.17                      | 0.32             |
| 104       | 4.60        | 0.69             | 3.18                           | 0.97                      | 0.31             |
| 105       | 4.56        | 0.75             | 3.40                           | 1.09                      | 0.32             |
| 107       | 4.56        | 0.79             | 3.62                           | 1.14                      | 0.31             |
| 110       | 4.60        | 0.77             | 3.55                           | 1.25                      | 0.35             |
| 112       | 4.59        | 0.81             | 3.67                           | 1.31                      | 0.35             |
| 113       | 4.60        | 0.81             | 3.75                           | 1.28                      | 0.34             |
| 114       | 4.65        | 0.83             | 3.86                           | 1.23                      | 0.32             |
| 116       | 4.17        | 0.85             | 3.53                           | 1.06                      | 0.30             |
| 117       | 4.48        | 0.85             | 3.82                           | 1.31                      | 0.34             |
| 118       | 4.40        | 0.82             | 3.63                           | 1.39                      | 0.38             |
| 119       | 4.64        | 0.86             | 3.99                           | 1.44                      | 0.36             |
| 120       | 4.30        | 0.86             | 3.70                           | 1.42                      | 0.36             |
| 121       | 4.48        | 0.90             | 4.01                           | 1.51                      | 0.37             |
| 122       | 4.15        | 0.85             | 3.52                           | 1.42                      | 0.40             |
| 123       | 5.53        | 0.68             | 3.47                           | 1.26                      | 0.38             |
| 124       | 5.30        | 0.73             | 3.77                           | 1.70                      | 0.46             |
| 125       | 5.23        | 0.70             | 3.52                           | 1.55                      | 0.47             |
| 126       | 3.53        | 1.87             | 3.51                           | 1.37                      | 0.38             |
| 127       | 4.46        | 0.83             | 3.52                           | 1.42                      | 0.41             |
| 128       | 4.17        | 0.91             | 3.85                           | 1.63                      | 0.43             |
| 129       | 4.95        | 0.88             | 4.22                           | 1.71                      | 0.40             |
| 130       | 4.74        | 0.86             | 3.89                           | 1.63                      | 0.42             |
| 131       | 4.39        | 0.94             | 3.99                           | 1.66                      | 0.68             |
| 132       | 5.01        | 0.84             | 3.96                           | 1.82                      | 0.47             |
| 133       | 4.76        | 0.80             | 3.54                           | 1.57                      | 0.45             |
| 134       | 4.60        | 0.86             | 3.81                           | 1.76                      | 0.47             |
| 135       | 5.02        | 0.79             | 3.73                           | 1.69                      | 0.47             |
| 136       | 4.76        | 0.92             | 4.23                           | 1.92                      | 0.46             |
| 137       | 4.45        | 1.01             | 4.49                           | 1.86                      | 0.41             |
| 138       | 4.61        | 0.98             | 4.42                           | 1.99                      | 0.45             |
| 139       | 4.69        | 0.87             | 3.81                           | 1.71                      | 0.46             |
| 140       | 4.74        | 0.96             | 4.42                           | 1.95                      | 0.44             |
| 141       | 4.69        | 0.91             | 4.09                           | 1.97                      | 0.52             |
| 142       | 5.59        | 0.72             | 3.51                           | 1.63                      | 0.49             |
| 143       | 4.91        | 0.86             | 4.00                           | 1.96                      | 0.50             |
| 144       | 4.57        | 1.04             | 4.50                           | 2.03                      | 0.45             |
| 145       | 4.79        | 0.71             | 3.59                           | 1.97                      | 0.46             |
| 146       | 4.90        | 0.98             | 4.61                           | 2.20                      | 0.48             |
| 147       | 4.92        | 0.91             | 4.11                           | 2.00                      | 0.50             |
| 148       | 4.68        | 1.03             | 4.51                           | 2.05                      | 0.46             |
| 149       | 4.37        | 1.10             | 4.77                           | 2.49                      | 0.53             |
| 150       | 4.00        | 1.21             | 4.69                           | 2.21                      | 0.48             |
| 151       | 4.62        | 0.98             | 4.41                           | 2.36                      | 0.55             |
| 152       | 4.41        | 1.12             | 4.93                           | 2.40                      | 0.49             |
| 153       | 4.64        | 1.18             | 4.84                           | 2.28                      | 0.48             |
| 154       | 5.11        | 1.03             | 5.01                           | 2.62                      | 0.53             |

|     |       |       |       |       |      |
|-----|-------|-------|-------|-------|------|
| 155 | 4.71  | 1.13  | 4.91  | 2.53  | 0.52 |
| 156 | 4.22  | 1.25  | 5.26  | 2.60  | 0.49 |
| 157 | 4.40  | 1.21  | 5.05  | 2.66  | 0.50 |
| 158 | 5.05  | 1.04  | 4.97  | 2.68  | 0.54 |
| 159 | 4.33  | 1.31  | 5.63  | 2.29  | 0.41 |
| 160 | 4.78  | 1.01  | 4.68  | 2.65  | 0.57 |
| 161 | 5.06  | 0.99  | 4.60  | 2.23  | 0.50 |
| 162 | 5.21  | 1.06  | 5.03  | 2.29  | 0.47 |
| 163 | 4.69  | 1.20  | 5.60  | 3.05  | 0.54 |
| 164 | 5.78  | 0.97  | 5.33  | 2.98  | 0.56 |
| 165 | 4.60  | 1.13  | 4.95  | 2.56  | 0.53 |
| 166 | 4.66  | 1.20  | 5.44  | 2.76  | 0.52 |
| 167 | 4.60  | 1.29  | 5.92  | 2.89  | 0.49 |
| 168 | 5.28  | 1.16  | 5.78  | 2.86  | 0.50 |
| 169 | 4.88  | 1.29  | 6.11  | 3.01  | 0.49 |
| 170 | 4.64  | 1.20  | 5.40  | 2.72  | 0.52 |
| 171 | 4.30  | 1.32  | 5.67  | 2.72  | 0.54 |
| 172 | 3.90  | 1.32  | 5.14  | 2.68  | 0.52 |
| 173 | 5.55  | 0.97  | 4.93  | 2.90  | 0.61 |
| 174 | 4.78  | 1.35  | 6.40  | 3.64  | 0.57 |
| 175 | 4.48  | 1.29  | 5.74  | 3.13  | 0.55 |
| 176 | 4.08  | 1.33  | 5.44  | 2.90  | 0.51 |
| 177 | 4.56  | 1.34  | 6.08  | 3.38  | 0.56 |
| 178 | 3.93  | 1.40  | 5.51  | 3.18  | 0.54 |
| 179 | 3.80  | 1.34  | 5.08  | 2.80  | 0.55 |
| 180 | 5.55  | 1.21  | 6.33  | 3.61  | 0.58 |
| 181 | 4.70  | 1.30  | 6.13  | 3.02  | 0.49 |
| 182 | 4.95  | 1.39  | 6.89  | 3.96  | 0.58 |
| 183 | 4.90  | 1.33  | 6.51  | 3.89  | 0.60 |
| 184 | 5.97  | 1.24  | 6.80  | 3.59  | 0.53 |
| 185 | 5.17  | 1.32  | 6.68  | 3.72  | 0.56 |
| 187 | 5.50  | 1.19  | 6.58  | 3.76  | 0.57 |
| 189 | 16.10 | 0.52  | 8.37  | 4.04  | 0.48 |
| 190 | 5.10  | 1.54  | 7.84  | 4.31  | 0.55 |
| 191 | 5.55  | 1.47  | 8.17  | 4.45  | 0.55 |
| 193 | 4.70  | 1.45  | 6.83  | 3.04  | 0.44 |
| 195 | 4.64  | 1.34  | 6.14  | 3.10  | 0.51 |
| 196 | 11.70 | 0.93  | 8.91  | 4.67  | 0.52 |
| 198 | 7.07  | 1.19  | 7.98  | 4.90  | 0.61 |
| 200 | 10.00 | 0.86  | 8.65  | 5.62  | 0.65 |
| 203 | 9.00  | 0.86  | 7.75  | 3.91  | 0.51 |
| 204 | 5.50  | 1.52  | 8.39  | 4.65  | 0.55 |
| 206 | 5.40  | 1.25  | 6.76  | 4.48  | 0.66 |
| 210 | 5.60  | 1.55  | 8.66  | 5.73  | 0.66 |
| 211 | 5.60  | 1.56  | 8.73  | 5.69  | 0.65 |
| 215 | 5.60  | 11.59 | 8.91  | 6.24  | 0.70 |
| 218 | 19.23 | 0.61  | 11.72 | 8.79  | 0.75 |
| 219 | 19.40 | 0.47  | 10.29 | 7.73  | 0.75 |
| 220 | 19.40 | 0.53  | 10.21 | 7.96  | 0.78 |
| 221 | 6.00  | 1.60  | 9.59  | 7.08  | 0.57 |
| 224 | 6.00  | 1.67  | 10.00 | 6.74  | 0.67 |
| 234 | 26.80 | 0.44  | 11.92 | 11.30 | 0.95 |