

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO NA**  
**DRENAGEM DA ÁREA DO RESIDENCIAL JARDINS**  
**IMBIRA I E II, CRUZ DAS ALMAS – BA**

ÉDICO OLIVEIRA GOMES

CRUZ DAS ALMAS - 2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**

**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO NA  
DRENAGEM DA ÁREA DO RESIDENCIAL JARDINS  
IMBIRA I E II, CRUZ DAS ALMAS – BA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como  
parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel  
em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Professor Doutor Paulo Romero Guimarães  
Serrano de Andrade

ÉDICO OLIVEIRA GOMES

CRUZ DAS ALMAS, 2014

Gomes, Édico Oliveira.

AVALIAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO NA DRENAGEM DA ÁREA  
DO RESIDENCIAL JARDINS IMBIRA I E II, CRUZ DAS ALMAS -  
BA / Edico Oliveira Gomes - Cruz das Almas - BA, 2014.

88 f. : il.

**Monografia (Bacharelado) – Universidade Federal do Recôncavo  
da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2014.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA**

**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA VAZÃO DE PROJETO NA  
DRENAGEM DA ÁREA DO RESIDENCIAL  
JARDINS IMBIRA I E II, CRUZ DAS ALMAS – BA.**

Aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade

---

Prof. Dra. Andrea Sousa Fontes

---

Prof. Dra. Alessandra Cristina Silva Valentim

---

ÉDICO OLIVEIRA GOMES

CRUZ DAS ALMAS, 2014

## DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia em especial aos meus pais, Edivaldo e Eugênia, às minhas irmãs, Geo, Dea, ao meu sobrinho Elton, à minha companheira Thamires Bomfim e também à minha princesinha que está por vir, Sofia.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado forças, para que chegasse a esse momento final do curso, sem nunca perder o foco.

Agradeço aos meus queridos pais Edivaldo Gomes e Eugênia Gomes, às minhas irmãs Andreia gomes e Georlane Gomes e ao meu sobrinho Elton por sempre estarem ao meu lado.

Meus agradecimentos também para Thamires Bomfim por sempre estar ao meu lado nos momentos de ausência dos meus familiares.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Paulo Romero Guimarães Serrano de Andrade, pela sua orientação e paciência durante todo o tempo e às professoras, Dra. Andrea Sousa Fontes, Dra. Alessandra Cristina Silva Valentim por estarem contribuindo para a conclusão do meu TCC e também agradecer a todos os professores por terem passado um pouco de seus conhecimentos acadêmicos durante a minha jornada na UFRB.

Agradeço aos funcionários, terceirizados e concursados do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC), por exercerem corretamente seus cargos colaborando sempre que possível com as necessidades dos alunos, em particular a Denis Gadelha por sempre estar disposto e alegre para atender os alunos.

Aos meus amigos que aqui conquistei, em especial aos desequilibrados, Lucas (Morotó), Jameson (Madruga), Alessandro (Moringa), Mauricio (Curirim), pelos tempos de república e estudos, meus agradecimentos cabem também a Leonardo (Guiba), Alex (Lequinho), Ainat Silveira pela força que me deram para elaboração do TCC e a todos os outros colegas que fiz não só na faculdade como também em Cruz das Almas.

## MENSAGEM

“O que se perde é infinitamente menor do que aquilo que se ganha. Você se perde nesta forma que você tem agora, mas ao mesmo tempo compreende que você é algo infinitamente maior. Você é o universo inteiro.”

(Jostein Gaarder-O mundo de Sofia)

“Nunca se vence uma guerra lutando sozinho”

(Raul Seixas)

# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

## AVALIAÇÃO DAS VAZÕES DE PROJETO NA DRENAGEM DA ÁREA DO RESIDENCIAL JARDINS IMBIRA I E II, CRUZ DAS ALMAS – BA

### RESUMO

O aumento do padrão de vida e o crescimento da população implicam em aumento do número de casas construídas, aberturas de novas estradas, e outras obras de infraestrutura que envolve movimentação de terra. Ao retirar a camada de vegetação natural do solo para a realização desses serviços, o homem proporciona um incremento nos processos erosivos, diminui a parcela da água da chuva que infiltra no solo, e promove alterações no ciclo hidrológico no meio urbano, refletindo-se no aumento das vazões e dos volumes do escoamento superficial, o que amplia o risco de inundações. Como acontece em outros municípios do Brasil, Cruz das Almas, no Estado da Bahia, vem sendo contemplada com a realização de obras do Governo Federal voltadas ao atendimento da demanda de moradia de interesse social, como é o caso da implantação do Residencial Jardim Imbira I e II, localizado no km 225 da Rodovia Federal BR-101, na localidade denominada Embira. Este trabalho avalia as características da vazão de projeto para cenários hidrológicos distintos, consideradas as fases de pré-urbanização e pós-urbanização, avaliando os possíveis impactos nos meio ambientes que decorram da drenagem e disposição das águas pluviais desse projeto habitacional. Os resultados obtidos mostram que, considerado o cenário de pós-urbanização, para um aumento de 53% de área impermeável e período de retorno de 10 anos, a vazão de projeto chega a 3,85 vezes das condições de pré-urbanização. Sugere-se, ao final, a implantação de um reservatório de retenção para o controle e disposição do escoamento superficial adicional gerado pelas superfícies impermeabilizadas do empreendimento.

**Palavras-chave:** expansão urbana, aumento do escoamento superficial, drenagem pluvial.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.2- Valores do coeficiente de deflúvio (C).....	8
Tabela 3.3- Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.....	10
Tabela 3. 4– Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.....	24
Tabela 4.1 – Médias de precipitação, temperatura e umidade.....	41
Tabela 4.2-Área territorial e quantidade de municípios.....	43
Tabela 4.3-Percentual por área territorial.....	44
Tabela 4.4 - Característica fisiográficas da área de estudo.....	49
Tabela 4.5 – Valores do coeficiente “C” em função do tipo de superfície.....	54
Tabela 5.1 – Áreas pré urbanizadas.....	60
Tabela 5. 2 – Valores de “C” adotados para a área pré urbanizada.....	61
Tabela 5.3 - Valores de “C” adotados para a área urbanizada.....	62
Tabela 5.3 – Tempos de Concentração.....	63
Tabela 5.4 – Intensidades de chuva.....	63
Tabela 5.5 – Vazões de escoamento.....	64
Tabela 5.6- Aumento do volume escoado.....	65
Tabela 5.7 - Volume para reserva.....	68
Tabela 5.8 - Dimensões do reservatório.....	69
Tabela 5.9– Demanda interna e externa de água não potável em uma residência.....	70

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Medidas estruturais e não estruturais.....	31
Quadro 2 - Infraestrutura urbana em países desenvolvidos e em desenvolvimento.....	39
Quadro 3 - Fontes poluidoras das águas de drenagem.....	39

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>3</b>
2.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1</b>	<b>ASPECTOS HISTÓRICOS DA DRENAGEM URBANA.....</b>	<b>4</b>
3.1.1	DRENAGEM URBANA NO BRASIL.....	5
<b>3.2</b>	<b>BREVE RELATO SOBRE HIDROLOGIA URBANA NO BRASIL.....</b>	<b>6</b>
3.2.1	ETAPA DA RACIONALIZAÇÃO E NORMATIZAÇÃO NO BRASIL.....	6
3.2.2	ETAPA DA ABORDAGEM CIENTÍFICA E AMBIENTAL DO CICLO HIDROLÓGICO URBANO.....	12
<b>3.3</b>	<b>- MARCOS LEGAIS SOBRE DRENAGEM URBANA NO BRASIL.....</b>	<b>14</b>
<b>3.4</b>	<b>CONCEITUAÇÃO E FINALIDADES DA DRENAGEM URBANA.....</b>	<b>15</b>
3.4.1	SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA.....	15
3.4.2	DIVISÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM.....	17
<b>3.5</b>	<b>EFEITOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE O ESCOAMENTO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.6</b>	<b>INUNDAÇÕES URBANAS: TIPOS, IMPACTOS E CONSEQÜÊNCIAS.....</b>	<b>23</b>
3.6.1	MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO ESTRUTURAIS DE CONTROLE E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	28
<b>3.7</b>	<b>O CONCEITO DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.....</b>	<b>32</b>
3.7.1	A UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS.....	34
3.7.2	QUALIDADE DAS ÁGUAS DE DRENAGEM PLUVIAL.....	38
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CRUZ DAS ALMAS.....</b>	<b>42</b>
4.1.1	ASPECTOS GERAIS.....	42
4.1.2	SOLO.....	43
4.1.3	HIDROGRAFIA.....	44
4.1.4	LEGISLAÇÃO MUNICIPAL.....	47
<b>4.2</b>	<b>-CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>51</b>
4.2.1	ÁREA PRÉ URBANIZADA.....	51
4.2.2	ÁREA URBANIZADA (CONCEPÇÃO URBANÍSTICA).....	53
<b>4.3</b>	<b>DELIMITAÇÃO E CÁLCULO DAS ÁREAS.....</b>	<b>55</b>
4.3.1	ÁREA PRÉ URBANIZADA.....	55
4.3.2	ÁREA URBANIZADA.....	55
<b>4.4</b>	<b>CÁLCULOS DAS VAZÕES.....</b>	<b>56</b>
4.4.1	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (C).....	56

4.4.2	INTENSIDADE DE CHUVA (I).....	58
<b>4.5</b>	<b>CALCULO DO VOLUME EXCEDENTE.....</b>	<b>61</b>
<b>4.6</b>	<b>LOCALIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS.....</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>64</b>
<b>5.1</b>	<b>DELIMITAÇÃO E CÁLCULO DAS ÁREAS.....</b>	<b>64</b>
5.1.1	ÁREA PRÉ URBANIZADA.....	64
5.1.2	ÁREA URBANIZADA.....	65
<b>5.2</b>	<b>CÁLCULOS DAS VAZÕES.....</b>	<b>66</b>
5.2.1	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	66
<b>5.3</b>	<b>CALCULO DO VOLUME ESCOADO.....</b>	<b>68</b>
<b>5.4</b>	<b>IMPACTOS AMBIENTAIS.....</b>	<b>70</b>
5.4.1	DIMENSIONAMENTO E LOCALIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO.....	72
<b>5.5</b>	<b>PROPOSTAS PARA UTILIZAÇÃO DO VOLUME EXCEDENTE.....</b>	<b>73</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>76</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>77</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1–Intensidade–Duração-Frequência.....	9
Figura 3-2– Medidas de disposição local.....	17
Figura 3-3- Microdrenagem: arranjo esquemático de uma rede de pluviais.....	18
Figura 3-4– Sarjeta: corte esquemático.....	18
Figura 3-5– Principais tipos de bocas-de-lobo.....	19
Figura 3-6– Macro drenagem (galerias de porte).....	19
Figura 3-7-Balanco hídrico.....	21
Figura 3-8- Seções do leito do rio.....	23
Figura 3. 9- Efeitos da Urbanização nos Processos Hidrológicos.....	24
Figura 3-10 - Relação do escoamento antes e depois da urbanização.....	25
Figura 3-11– Aumento da vazão máxima.....	26
Figura 3-12– Evolução do conceito de drenagem sustentável.....	31
Figura 3-13– Representação do planejamento integrado dos setores essenciais relacionados com a água no meio urbano.....	31
Figura 3-14– Micro-reservatório.....	33
Figura 3-15– Pavimentos permeáveis.....	33
Figura 3-16- Valos de Infiltração.....	34
Figura 3-17– Bacias de detenção.....	34
Figura 3-18– Bacias de retenção implantadas em praças do setor Jaó – Goiânia/ GO. .	35
Figura 3-19– Amortecimento da onda de cheia devido a um reservatório de detenção	36
Figura 4-1: localização do município de Cruz das Almas.....	41
Figura 4-2 – RPGA’s e comitês de bacia.....	42
Figura 4-3- Inserção do município de Cruz das Almas nas RPGAs IX e X.....	43
Figura 4-4: Divisão das Zonas do município.....	47
Figura-4-5-Área original onde se implantou o Residencial Imbira I e II.....	49
Figura 4-6- Declividade do terreno.....	50
Figura 4-7- Vegetação da gleba.....	51
Figura 4-8- Planta baixa.....	52
Figura 4-9- pavimentação, passeio e faixa gramada.....	52
Figura 4-10: Hidrograma triangular do volume de armazenamento.....	58
Figura 5-1 – Polígonos referentes à cobertura do solo.....	60
Figura 5-2- Hidrograma do volume gerado superficialmente,.....	66
Figura 5-3 – Fluxo da água de drenagem do residencial.....	68
Figura 5-4 - representação das dimensões do reservatório e localização.....	69





## 1 INTRODUÇÃO

Há muitos anos verifica-se um crescimento populacional acelerado e desordenado principalmente nos países em desenvolvimento. No Brasil, devido à condição financeira da população, em geral, ser extremamente baixa, tem-se um enorme déficit habitacional, resultando às vezes na proliferação de assentamentos clandestinos, ou da melhor forma na implantação de empreendimentos habitacionais patrocinados por programas governamentais.

O crescimento da população e o aumento do padrão de vida implicam, entre outros fatores, em aumento do número de casas construídas, aberturas de novas estradas, e obras de infra-estrutura que envolve movimentação de terra. Ao retirar a camada de vegetação natural do solo para a realização desses serviços, o homem proporciona um incremento nos processos erosivos, além de diminuir a parcela da água da chuva que infiltra num solo. Esses avanços na urbanização podem provocar grandes impactos sobre os sistemas de drenagem, natural ou artificial, modificando de forma acelerada as características naturais de determinada região (Filho *et al.*, 2007).

O desmatamento e a substituição da vegetação natural dos terrenos são fatores modificadores que, em muitas situações, resultam simultaneamente em redução de tempos de concentração e em aumento do pico de vazão e do volume de escoamento superficial, que podem causar alagamentos e até extravasamento de cursos d'água (POMPEO, 2000). Esse mesmo autor diz que é preciso considerar a importância da inter-relação entre uso e ocupação do solo e os processos hidrológicos superficiais, devendo se destacar inicialmente que a abordagem dos problemas precisa considerar a extensão superficial na qual estas relações se manifestam. A bacia hidrográfica tem sido historicamente, a unidade mínima para qualquer estudo hidrológico, sendo à base dos trabalhos teóricos, experimentais e as ações de planejamento na área dos recursos hídricos.

Desta forma, é importante conhecer e controlar os efeitos da urbanização nos diversos componentes do ciclo hidrológico, sobre os efeitos no escoamento superficial nas áreas urbanizadas (quantitativa e qualitativamente), além da realização de pesquisas aplicadas com o objetivo de melhorar ou propor novas soluções em relação às obras (e equipamentos urbanos) e à forma de ocupação do solo de maneira a reduzir os impactos nocivos no próprio meio urbano e ambiental, assim como a jusante das cidades.

Nos últimos anos, o município de Cruz das Almas, no Estado da Bahia, vem apresentando um aumento significativo na construção de empreendimentos imobiliários,

razão de ter se tornado um pólo de atração de pessoas para trabalhar, estudar e prestar serviços, especialmente devido a centros de educação e pesquisa, como evidenciados pela implantação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (mandioca e fruticultura) e da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB). Como acontece em outros municípios do país, Cruz das Almas vem sendo contemplado com a realização de investimentos do Governo Federal voltados ao atendimento da demanda de moradia de interesse social, no contexto do *Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV)*, como é o caso do *Residencial Jardim Imbira I e II*, localizado no km 225 da Rodovia Federal BR-101, na localidade denominada Embira.

O *PMCMV* visa diminuir o déficit nos serviços públicos como saúde, segurança e educação, com uma infraestrutura capaz de atender as populações com melhor prestação de serviços de mobilidade urbana, saneamento básico oferecendo moradias para a população de baixa renda.

A motivação para realização deste trabalho surgiu com a necessidade de se avaliar mudanças nas características da vazão de projeto (vazão de pico) para períodos distintos de ocupação da área de implantação do empreendimento *Residencial Jardins Imbira I e II*, ou seja, consideradas as fases de pré-urbanização e pós-urbanização, avaliando sua magnitude e os possíveis impactos nos meio ambientes que decorram da drenagem e disposição dos deflúvios pluviais originados a partir desse projeto habitacional.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Estimar a vazão de projeto para períodos distintos de ocupação da área do empreendimento habitacional Residencial Jardins Imbira I e II, nas condições de pré-urbanização e pós-urbanização, avaliando suas características e os possíveis impactos no meio ambiente que decorram da disposição dos deflúvios pluviais originados a partir desse projeto habitacional.

#### **2.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar dois cenários distintos de ocupação urbana: pré-urbanização e pós-urbanização, sendo o cenário de pré-urbanização considerado como o de referência.
- Comparar as vazões de projeto e dos volumes do escoamento superficial nos dois cenários.
- Estimar os possíveis impactos ambientais que decorram da drenagem e disposição das águas pluviais do projeto habitacional, indicando medida alternativa para controle do escoamento superficial.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 ASPECTOS HISTÓRICOS DA DRENAGEM URBANA

A história registra que existe uma ligação direta entre o homem e a água. As primeiras civilizações foram formadas junto aos cursos d'água. As primeiras aldeias surgiram em torno de 8.500 a.C., ao norte e a leste da Mesopotâmia, região que os gregos assim apelidariam e que significa entre rios, em regiões montanhosas com chuvas abundantes (MATOS *etal.*, 2007).

A prática da agricultura permitiu o surgimento de técnicas de drenagem para a irrigação de cultivos de cereais independentemente das chuvas. A irrigação dos campos possibilitou o aparecimento das primeiras cidades (MATOS et al., 2007). Esse mesmo autor registra que coube aos Sumérios, por volta de 3.500 a.C., com acesso aos rios Tigre e Eufrates, ampliar a agricultura irrigada de maneira verdadeiramente grandiosa. Desviando a água de seus rios, cultivaram amplos trechos de deserto aluvial e transformaram a planície, antes estéril, em terras férteis. Os sistemas primitivos de drenagem eram constituídos exclusivamente de valas a céu aberto que atravessavam as terras, mas, com o tempo surgiu a ideia de erguer dutos cobertos para drenagem urbana. Inicialmente empregavam-se blocos de argila cozidos e cimentados com barro e gesso.

Um grande legado da antiga civilização romana para a drenagem urbana é o canal construído pelo rei Tarquínio Prisco. Trata-se da construção de um grande canal para afastar os esgotos da cidade de Roma, a chamada *Cloaca Máxima*. O canal funcionava desde o Fórum Romano, drenando o solo encharcado aos pés da colina do Capitólio, terminando no canal Tibre. A Cloaca Máxima de Roma parece ter sido a primeira obra de dimensão relevante (finais do século VI a.C.) construída por motivações de qualidade de vida urbana (ROSEN, 1994). Pode-se destacar ainda o estado de conservação da obra, constituída por blocos de pedras que ainda hoje é parte do sistema de drenagem da atual Roma.

Já na Idade Média, as cidades medievais caracterizavam-se por ocuparem espaços claramente definidos por muros, preenchidos por ruas, vielas, praças, que se sucediam dando acesso às edificações, em torno dos castelos e das igrejas. O risco de inundação era considerado como um preço a pagar pela disponibilidade da água, com águas estagnadas, devido à falta de investimentos em novos sistemas para suprir a maior demanda. Toda a evacuação das cidades se fazia pelas vias de circulação, gerando condições insalubres (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2005).

Já no período do renascimento, caracterizado como período de transição, a generalização das pavimentações das ruas e construções de obras de drenagem ajudavam a escoar os refugos indesejáveis das ruas em direção a rios e lagos. A partir das grandes epidemias de cólera que assolaram a Europa, destacando-se as dos anos 1832 e 1849, passa a prevalecer a idéia de que as redes de esgotos deveriam evacuar as águas contaminadas, o mais rapidamente possível, e para mais longe dos locais de sua produção. Consolidava-se então, o conceito “higienista”, preconizando a evacuação para mais longe das cidades, e o mais rapidamente possível, das águas de qualquer natureza, seja pluvial ou cloacal, e sua destinação aos esgotos, princípio que passa a ser resumido pela expressão “*tout à l’égout*” (ou tudo ao esgoto) no meio técnico francês da época (ROSEN, 1994).

A técnica empregada nos sistemas de drenagem era caracterizada pela implantação de uma única tubulação que recebia as águas pluviais e de esgoto, em conjunto, hoje denominada como “Sistema Unitário”. Vale observar que a drenagem urbana como ação pública não evoluiu devido ao desenvolvimento de novas técnicas e práticas de engenharia em busca do conforto nas casas e nas ruas, mas sim como uma questão de saúde pública.

### 3.1.1 DRENAGEM URBANA NO BRASIL

No Brasil, o conceito higienista chega em período que no mundo havia um casamento entre a filosofia higienista e o domínio da hidráulica de condutos e canais. De acordo com Silveira (1998), as ideias do “*tout a-l’égout*” foram adotadas efetivamente a partir da proclamação da República, em 1889, em sintonia com as idéias positivistas então dominantes. No período, os sanitaristas no Brasil já adotavam o positivismo na drenagem. Formado pela Escola Politécnica do Rio de Janeiro, surge uma grande figura da época, o engenheiro Saturnino de Brito (1864-1929), um engenheiro sanitarista, com sólidos conhecimentos de engenharia civil, mecânica e hidráulica.

Pelos anos 50, o intenso processo de industrialização e urbanização no Brasil teve como efeito a deterioração da qualidade das águas dos rios e lagos impactando particularmente a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos. Nos países desenvolvidos, nos anos 60, os efeitos das atividades antrópicas sobre o meio ambiente fizeram surgir os defensores ambientalistas e a necessidade de reflexões sobre estas ações e seus impactos no meio ambiente, tanto na área rural ou na área urbana. O conceito ambiental também foi aplicado à drenagem urbana trazendo então novas soluções sobre o modelo tradicional de canalizações das águas.

A partir da década de 70, surgem técnicas alternativas de drenagem urbana, embasadas na conjugação de três aspectos: a insuficiência dos sistemas tradicionais existentes, a necessidade de desenvolvimento urbano, e a crescente preocupação ecológica. Essa nova concepção, com enfoque ambientalista, buscou levar em conta os conflitos ambientais entre as cidades e o ciclo hidrológico. A preocupação se constituía em neutralizar ou minimizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos nas cidades, visando beneficiar a qualidade de vida das populações e a preservação ambiental. Condutos, sarjetas, bocas-de-lobo, arroios retificados, entre outras, teriam de ser ampliados para admitir soluções alternativas e complementares à evacuação rápida dos excessos pluviais, dentro de um contexto de preservação ambiental (TUCCI e GENZ, 1995).

### **3.2 BREVE RELATO SOBRE HIDROLOGIA URBANA NO BRASIL**

Segundo MATOS (2003) as obras de drenagem não eram consideradas como um instrumento fundamental e condicionante ao desenvolvimento e para o ordenamento dos centros urbanos ao longo do tempo, até à idade moderna, embora que o mesmo autor afirme que existem registros de antigas civilizações que levavam a sério a construção de sistemas de drenagem. A drenagem urbana durante muito tempo teve como objetivo principal a remoção das águas pluviais em excesso, para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações (TUCCI, 2007).

A evolução para alcançar um estágio avançado de abordagem dosaneamento pluvial urbano é fruto de numerosas pesquisas realizadas desde meados do século XIX. Segundo Desbordes (1987) *apud* SILVEIRA (1998) existe três etapas numa sequência de evolução caracterizada por:

1. Conceito higienista.
2. Racionalização e normatização dos cálculos hidrológicos.
3. Abordagem científica e ambiental do ciclo hidrológico urbano.

#### **3.2.1 ETAPA DA RACIONALIZAÇÃO E NORMATIZAÇÃO NO BRASIL**

No que diz respeito ao cálculo de projeto, um dos personagens mais importantes do meio técnico brasileiro dessa época foi Saturnino de Brito, cuja atuação serviu para propagar o urbanismo estético e higienista. Segundo Silveira (1998), um marco inicial desta etapa foi estabelecido justamente por Saturnino de Brito que apresenta em 1898 o

opúsculo “Saneamento de Santos”, talvez primeira publicação em português que desenvolve um método decálculo original de vazão de projeto para redes pluviais. Baseava-se na fórmula:

$$q = \alpha \beta p \quad \text{Equação 1}$$

onde **q** é a vazão de pico por unidade de área e **p** é a chuva de projeto, os dois normalmente expressos em l/(s.ha); **α** é um coeficiente de perdas e **β** é um coeficiente de abatimento temporal sempre inferior a 1, para levar em conta que o escoamento ocorre num tempo maior que aduração da chuva. A originalidade do método estava no cálculo deste segundo coeficiente.

O ponto mais fraco, entretanto, era a definição da chuva de projeto que necessitava de medidas a intervalos curtos de tempo, ou seja precipitações registradas por pluviógrafos, aparelhos bastante raros na época. É interessante notar que na época a precipitação era uma grandeza ainda pouco estudada no mundo e não se pensava em fixar previamente a duração da chuva de projeto. Também o conceito de probabilidade de ocorrência associada à precipitação só se consolidaria muitos anos depois (SILVEIRA, 1998).

De acordo com Silveira (1998), a abordagem racional que considera o tempo de concentração como duração crítica da chuva de projeto, para reduzir o empirismo, parece ter chegado ao Brasil em meados da década de 30, ajudada pela presença de um número maior de pluviógrafos em território nacional. Passou a ser mais fácil estabelecer relações entre intensidades de precipitação e durações. **No manual de engenharia sanitária da época (SIQUEIRA, 1947) dá detalhes de aplicação do método apresentado, observando que a hipótese básica do método racional implica  $\beta = 1$  na notação da fórmula empírica 1. Neste tempo o conceito de chuva de projeto ligada a uma probabilidade de ocorrência ou período de retorno não era ainda plenamente dominado.**

A consideração da frequência de ocorrência das precipitações como elemento de projeto na fórmula racional parece ter-se consolidado no Brasil nos anos 50. O artigo de Parigot de Souza (1959, apud SILVEIRA, 1998), uma rara memória de cálculo detalhada da época, e publicada numa revista técnica de grande difusão, espelha bem a evolução alcançada. O autor mostra uma aplicação do método racional americano desenvolvido por Kuichling(1889) para calcular a vazão de projeto das obras de canalização do rio Belém em Curitiba. A partir de uma série pluviográfica de 31 anos ele calcula uma expressão analítica empírica relacionando a intensidade de precipitação com a duração e o período de retorno, uma das primeiras expressões IDF (intensidade-duração-frequência) a ter sido

estabelecida no Brasil. A *Fórmula Racional* que começou a ser bastante usada no Brasil é expressa por Canholli (2005) como:

$$Q / I = (A_d \cdot C) / 3,6 \quad \text{Equação 2}$$

sendo **Q** a vazão de projeto (m<sup>3</sup>/s), **I** a intensidade da precipitação (mm/h), com uma duração igual ao tempo de concentração, **A<sub>d</sub>** é a área total de drenagem na seção de interesse (km<sup>2</sup>) e o parâmetro considerado constante **C** é o coeficiente de deflúvio estimado a partir de tabelas, como apresentado na Tabela 3.1, em função da ocupação do solo.

Emil Kuichling fez essa determinação em 1989 para calcular a vazão de pico para projeto de um bueiro em Rochester, New York / EUA, chamando a razão **Q / I** de valor racional, pela coerência na análise dimensional das variáveis, daí a denominação corrente da *Fórmula Racional* (FR). O coeficiente **C** da fórmula foi obtido por ele a partir de medidas de precipitações e de vazões em Rochester / New York, durante o período de 1877 a 1888. Este redutor, responde, por exemplo, pela influência da cobertura vegetal, classe de solos, declividade dos terrenos, tempo de retorno da precipitação.

Tabela 3.1- Valores do coeficiente de deflúvio (C)

Superfície	C	
	intervalo	valor
<b>Pavimento</b>		
Asfalto	0,70 - 0,95	0,83
Concreto	0,80 - 0,95	0,88
Calçadas	0,75 - 0,85	0,80
Telhados	0,75 - 0,95	0,85
<b>Cobertura: grama em solo arenoso</b>		
plano (menor que 2 %)	0,05 - 0,10	0,08
declividade média (2 a 7 %)	0,10 - 0,15	0,13
declividade alta (maior que 7 %)	0,15 - 0,20	0,18
<b>Cobertura: grama em solo pesado</b>		
plano (menor que 2 %)	0,13 - 0,17	0,15
declividade média (2 a 7 %)	0,18 - 0,22	0,20
declividade alta (maior que 7 %)	0,25 - 0,35	0,30

Fonte: ASCE, apud Tucci, 2000

A popularidade do uso do Método Racional foi estimulada após a publicação do estudo “Chuvvas Intensas no Brasil” por Pfafstetter (1957), engenheiro do extinto DNOS – Departamento Nacional de Obras de Saneamento. O estudo de Pfafstetter (1982),

publicado originalmente em 1957 permitiu estimar a intensidade de chuva a ser utilizada em projeto com base em gráficos (exemplo na Figura 1) e em tabelas. Esse trabalho ainda hoje é a maior referência brasileira para se obter intensidades de chuva, em qualquer unidade da Federação (ReCESA, 2007). O estudo dele, abrangendo diversas durações de 98 postos pluviográficos, em todo território nacional, estabeleceu leis empíricas de distribuição de frequência, geralmente da seguinte forma:

$$P = T\alpha + \left(\frac{\beta}{Tr\gamma}\right) [at + b \log(1 + ct)]$$

Equação 3

onde:

P = altura pluviométrica máxima (mm); Tr =Tempo de Retorno; t = duração da chuva;  $\alpha$  e  $\beta$  = valores que dependem da duração da chuva;  $\gamma$ , a, b e c são constantes que depende de cada posto. Outra forma bastante usual, derivada da equação 3, de se expressar as relações de intensidade-duração-freqüência – IDF, são expressões obtidas de ajustes de distribuição de freqüência como a equação geral:

$$i_{\max} = \frac{K * T_R^m}{(t + t_0)^n}$$

Equação 4

Onde, i: intensidade pluviométrica (mm/min); Tr: período de retorno (anos); t: duração da chuva (min); k, m, t<sub>0</sub>, n: parâmetros relativos ao ajuste da equação, na Figura 3 -1 tem-se exemplo das curvas IDF.

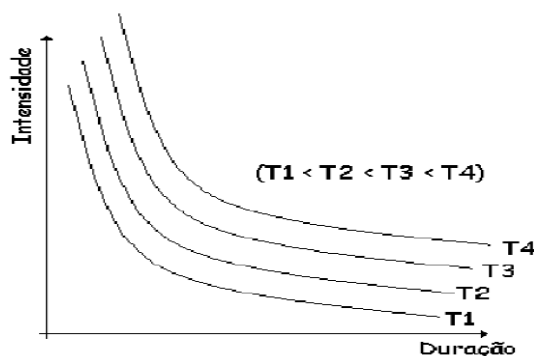


Figura 3-1–Intensidade–Duração–Frequência

Fonte: Silveira (1998)

Silveira (1998) ainda relata que nos anos 60/70, como decorrência da ausência de normas, de manuais técnicos atualizados e de pesquisas científicas, pode-se observar, de

um lado, usos inadequados do método racional e, de outro, a introdução sem muito critério de outros métodos de dimensionamento, principalmente de origem americana. Assim métodos como o do *Soil Conservation Service* (Estados Unidos, 1975), tornaram-se familiar, mas não trazia nenhuma validação em território brasileiro. Este método, como hoje se conhece como o *Método do Natural Resources Conservation Service - NRCS*, leva em conta, além da precipitação e a umidade anterior, o complexo solo vegetação, expresso pelo parâmetro CN. A fórmula tem a seguinte apresentação:

$$P_E = \frac{\left( \frac{P - 5080}{CN + 50,8} \right)^2}{\left( \frac{P + 20320}{CN - 203,2} \right)}$$

Equação 5

Onde: PE = excesso de chuva (mm); P = precipitação (mm); CN = número de deflúvio que define o complexo hidrológico solo vegetação. Observe-se, no entanto, a validade da equação acima somente a partir da precipitação P tal que o numerador seja positivo. Na

encontram-se os valores de CN para bacias urbanas e suburbanas submetidas a condições médias de umidade. Vale ressaltar que a tabela dispõe de quatro tipos de solo (A, B, C e D), classificados em relação à capacidade de infiltração.



Tabela 3.2- Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Uso/Cobertura do Solo	Tipo de solo			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas				
Sem conservação do solo	72	81	88	91
Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios				
Em más condições	68	79	86	89
Em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais				
Má cobertura	45	66	77	83
Boa cobertura	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios (em boas condições)				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva em 50 a 75% da área	49	69	79	84
Áreas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Distritos industriais	81	88	91	93
Áreas residenciais				
Tamanho do lote				
% impermeável				
Até 500 m <sup>2</sup> .....65%	77	85	90	92
500 a 1000 m <sup>2</sup> .....38%	61	75	83	87
1000 a 1300 m <sup>2</sup> .....30%	57	72	81	86
1300 a 2000 m <sup>2</sup> .....25%	54	70	80	85
2000 a 4000 m <sup>2</sup> .....20%	51	68	79	84
Estacionamentos pavimentados, viadutos, telhados, etc.	98	98	98	98
Ruas e estradas				
Asfaltadas, com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Pavimentadas com paralelepípedos	76	85	89	91
De terra	72	82	87	89

Fonte: ReCESA, 2007

Obs.: Solo A – solos que produzem baixo escoamento superficial, com alta infiltração (solos arenosos profundos, com pouca argila e silte); Solo B – solos com permeabilidade acima da média (solos arenosos menos profundos do que os do tipo A); Solo C – solos com capacidade de infiltração abaixo da média, que geram escoamento superficial acima da média (solos pouco profundos, com percentagem considerável de argila); Solo D – solos com muito baixa capacidade de infiltração, que geram muito escoamento superficial (solos pouco profundos, contendo argilas expansivas).

Grigg e Willie (1979) *apud* Silveira (1998), através da análise das leis que orientaram diversos loteamentos em várias cidades, confirmam que o Brasil chegou às portas dos anos 80 numa situação em que a drenagem urbana era concebida na maioria dos casos sem se basear em nenhuma norma técnica, o que facilitou a aceitação de projetos de eficácia duvidosa, sem falar numa total desuniformização de critérios no país. Muitos problemas foram agravados pelo fato de que tradicionalmente a drenagem urbana é de exclusiva responsabilidade do município e geralmente há pouca preocupação sobre consequências à jusante de ações locais implementadas à montante.

Esta falta de critérios, segundo Silveira (1998) estimulou possivelmente a realização do manual de projeto de drenagem urbana do Departamento de Águas e Energia Elétrica/Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (DAEE/CETESB) (DRENAGEM URBANA, 1980) que rapidamente assumiu na prática o papel de guia técnico nacional e, sem exagero, até a função de norma técnica nesta área, visto até que atualmente ainda não se tem no Brasil uma NBR/ABNT para projetos de drenagem urbana. O manual do DAEE/CETESB consolida a preferência pelo *Método Racional*, limite espacial de aplicação a bacias de até 100 ha. O mérito maior deste manual talvez tenha sido o de uniformizar as práticas de cálculo hidrológico para drenagem urbana.

A *Fórmula Racional* continua sendo o mais simples e mais usual método para projetos de drenagem de pequenas bacias, havendo recomendação como a do Departamento de Esgotos Pluviais – DEP, da Prefeitura de Porto Alegre/RS, que sugere que a FR seja aplicado para bacias com  $A \leq 200$  ha (2 km<sup>2</sup>); ou  $A \leq 3$  km<sup>2</sup> como sugere a Prefeitura Municipal de São Paulo - PMSP, ou como recomenda a Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (ReCESA) (2007) para  $A \leq 3$  km<sup>2</sup>.

### 3.2.2 ETAPA DA ABORDAGEM CIENTÍFICA E AMBIENTAL DO CICLO HIDROLÓGICO URBANO

O acelerado ritmo da urbanização, produzindo muitas cidades com centenas de milhares de habitantes, condicionou o enfoque dado no Brasil caracterizado por uma maior preocupação com a hidrologia urbana de bacias de porte, isto é, com aspectos de macrodrenagem. Em países desenvolvidos, por exemplo, as pesquisas em hidrologia urbana foram feitas na maioria das vezes em bacias de alguns hectares ou dezenas com o objetivo principal de conhecer o impacto de certos tipos de urbanização para fins de planejamento futuro. Segundo Silveira (1998), no Brasil, ao contrário, os raros estudos desenvolvidos dizem respeito a bacias urbanas de até dezenas de km<sup>2</sup>.

Nos anos 70, com uma disponibilidade maior de computadores, começa a se reproduzir no Brasil a tendência mundial de simular o ciclo hidrológico, principalmente a transformação chuva-vazão, por algoritmos matemáticos (os chamados modelos hidrológicos), sendo objeto de estudo, preferencialmente, as grandes bacias naturais, para estudos de aproveitamentos hidrelétricos ou de cheias. Pouca pesquisa se fez no Brasil em hidrologia urbana com bacias de superfície de um bairro ou menos, e num meio urbano

uma bacia com superfície da ordem de alguns km<sup>2</sup> já pode ser considerada uma bacia de porte.

Dentro deste contexto, as primeiras pesquisas em hidrologia urbana aconteceram no sul do país. Em Curitiba, Pinto e Ramos (1972) *apud* Silveira (1998) adaptaram o hidrograma unitário de Snyder às condições locais ajustando seus parâmetros a partir de dados de chuva e vazão de duas bacias, uma de 15,3 km<sup>2</sup> e 40% de impermeabilização do solo e outra de 2,7 km<sup>2</sup> e 60% impermeabilizada. A primeira pesquisa de envergadura no país, exclusivamente voltada para avaliar o impacto da urbanização sobre a hidrologia, aconteceria somente em 1977 em Porto Alegre, numa iniciativa do Departamento de Esgotos Pluviais da cidade e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS

No estado de São Paulo, que possui maior metrópole do Brasil (a cidade de São Paulo), também se formou nas décadas 70-80 um centro que se interessa bastante às questões da drenagem urbana. Várias ações desses grupos enquadram-se nesta etapa que procura simular o ciclo hidrológico urbano. Boas abordagens sobre a modelagem na drenagem urbana, com modelos brasileiros e americanos (modelos ABC6, SWMM, HEC, etc.) podem ser vistos em São Paulo (2012, V.2), onde se comenta haver algumas desvantagens, não generalizadas, do uso dos modelos: alguns dos sistemas de modelagem hidrológica não têm atualizações tecnológicas que acompanhem os sistemas operacionais dos computadores atuais, fazendo com que caiam em desuso; além disso, a falta de um suporte técnico à disposição dos usuários é uma desvantagem dos sistemas gratuitos.

Vale observar, conforme já registrava Silveira (1998), que apesar dos esforços feitos, a etapa de abordagem científica e ambiental desenvolveu-se insuficientemente no Brasil, prevalecendo o aspecto quantitativo do escoamento e a grande escala espacial das bacias contribuintes. Como consequência disso, continua sendo bastante utilizado em projetos de drenagem urbana o *Método Racional* (equação 2), para transformar chuva em vazão, sendo recomendável para áreas até 3 km<sup>2</sup>, ou que tenham tempo de concentração menor do que 1 hora (ReCESA, 2007). A grande aceitação pelo seu uso é devido à sua simplicidade e os resultados do seu emprego, em termos práticos, fornece resultados satisfatórios desde que sua aplicação seja feita dentro de suas condições de validade, como sugere Tucci (2000).

### 3.3 - MARCOS LEGAIS SOBRE DRENAGEM URBANA NO BRASIL

Após a extinção em 1990 do antigo Departamento de Obras de Saneamento (DNOS), criado nos inícios da década de 30, que teve importante atuação em obras de macrodrenagem dos municípios, o Brasil não contou com órgão federal específico para atuar nesta área. Só em 2003, quando foi instituído o Ministério das Cidades, o setor de saneamento passou a contar com uma melhor estruturação, reforçado pela promulgação da Lei Nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007) marco legal do saneamento básico brasileiro, que estabelece as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico e para a Política Federal de Saneamento Básico.

Vale destacar que a Lei Nº 11.445/2007 introduz formalmente no seu Art. 3, Inciso I, alínea d, uma definição sobre drenagem urbana, considerando: “*drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, como o 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 destinação final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas*” (BRASIL, 2007, p. 3). Deduz-se da Lei Nº 11.445/2007, que o ente responsável pela prestação dos serviços, operação e manejo das águas pluviais é o município. Na maioria deles, um dos maiores problemas das águas urbanas é a deficiência de coleta de esgoto cloacal, além de um baixo índice de tratamento daquele que é coletado, havendo grande contaminação das águas de drenagem pluvial e dos mananciais pelo esgoto *in natura*.

Embora alguns municípios possuam Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), que geralmente introduz o uso do solo e as legislações ambientais, regra geral inexistem abordagens e normativos sobre a drenagem urbana. Do ponto de vista institucional, pelo fato de que o gerenciamento da drenagem urbana é efetuado, quase sempre, por meio de uma estrutura técnica e administrativa vinculada diretamente ao poder municipal, frequentemente uma Secretaria de Obras, expõe-se a fragilidade institucional da gestão da drenagem urbana nos municípios brasileiros, segundo afirma Tucci (2007).

De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2008), O tema manejo de águas pluviais no âmbito da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) fundamentada em dados do ano de 2008, refere o sistema de drenagem como de importância fundamental no planejamento das cidades, dado que consiste no controle do escoamento das águas de chuva, para evitar os efeitos adversos que podem representar sérios prejuízos à saúde, à segurança e ao bem-estar da sociedade. Tal sistema de drenagem

contempla pavimentação de ruas, implantação de redes superficial e subterrânea de coleta de águas pluviais e destinação final de efluentes.

Segundo a IBGE (2008), no Brasil o serviço de manejo de águas pluviais é executado, quase que exclusivamente, pelas prefeituras (na atualidade, existem 5.570 municípios no Brasil). Dentre as 5.266 entidades que declararam ser prestadoras do serviço de manejo de águas pluviais no Brasil, 5.145 delas eram constituídas como órgãos da administração direta do poder público, sendo possível atestar que a política de manejo de águas pluviais é fortemente atrelada à gestão municipal do saneamento ambiental.

No que diz respeito à existência de instrumentos reguladores dos serviços de drenagem urbana, a IBGE (2008), atesta que poucas prefeituras no País lançam mão de tais instrumentos, sendo bem reduzido (cerca de 18%) o número de municípios que regulam esses serviços, sendo o instrumento mais empregado o *Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano* (PDDU). Um *Plano Diretor de Drenagem Urbana* (PDDrU), enquanto instrumento disciplinador para a área de manejo e drenagem de águas pluviais urbanas, esse é, ainda, adotado de forma incipiente no Brasil, pois somente cerca de 5,0% dos municípios brasileiros dispunham em 2008 de um PDDrU (IBGE,2008).

A cidade de Cruz das Almas, no Estado da Bahia, contando com uma rede de drenagem antiga e deficiente, e por não ter uma estrutura técnico-administrativa no quadro organizacional da Prefeitura, voltada especialmente para a gestão da drenagem urbana, faz parte dessa realidade.

### **3.4 CONCEITUAÇÃO E FINALIDADES DA DRENAGEM URBANA**

#### **3.4.1 SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA**

Para Tucci (2007) a drenagem urbana é entendida como:

“Conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável”.

Os sistemas de drenagem urbana são fundamentalmente preventivos de enchentes, principalmente em áreas mais baixas das localidades, que são mais vulneráveis a alagamentos ou nas margens dos cursos de água (FILHO et al.,2000). Contudo dentre os melhoramentos urbanos, os sistemas terão a peculiaridade de que: o escoamento das águas

superficiais sempre ocorrerá, existindo ou não um sistema adequado de drenagem (SEIBT; SILVA E FORMIGA, 2011).

A drenagem urbana está mais diretamente relacionada ao controle de enchentes, porém deve-se enfatizar que existem reflexos sobre o abastecimento de água e o controle da poluição (LOPES; GOMES, 2011). Uma vez que é a qualidade do sistema é que determinará se os benefícios ou prejuízos à população serão maiores ou menores (SEIBT; SILVA E FORMIGA, 2011).

Os sistemas de drenagem urbana fazem parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana, assim como as redes de água, de esgotos sanitários, de cabos elétricos e telefônicos, iluminação pública, pavimentação de ruas, guias e passeios, parques, áreas de lazer, e outros. Como se deduz da obra *Drenagem Urbana: Manual de Projeto* (DAEE/CETESB, 1980), as finalidades básicas da drenagem urbana compreendem:

- a) Promover a coleta, o escoamento e a disposição de águas de chuva nas cidades;
- b) Atuar de forma preventiva nas inundações, principalmente nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos, ou marginais de cursos naturais de água;
- c) Reduzir a exposição da população e das propriedades ao risco de inundações;
- d) Reduzir sistematicamente o nível de danos causados pelas inundações;
- e) Proteger a qualidade ambiental e o bem-estar social.

Segundo o DAEE/CETESB (1980), entre os benefícios proporcionados pelos sistemas de drenagem, segundo o pode-se destacar:

- a) Desenvolvimento do sistema viário;
- b) Redução de gastos com manutenção das vias públicas;
- c) Valorização das propriedades existentes na área beneficiada;
- d) Escoamento rápido das águas superficiais, facilitando o tráfego por ocasião das precipitações;
- e) Eliminação da presença de águas estagnadas e lamaçais;
- f) Rebaixamento do lençol freático;

- g) Recuperação de áreas alagadas ou alagáveis;
- h) Segurança e conforto para a população habitante ou transeunte pela área de projeto.

### 3.4.2 DIVISÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM

Os sistemas de drenagem urbana são subdivididos, tradicionalmente, em categorias chamadas de: a) Na Fonte (ou de disposição local), b) Microdrenagem e c) Macrodrenagem Departamento de Esgotos Pluviais (DEP, 2005).

a) **NA FONTE:** são dispositivos de controle do escoamento superficial em nível de lote, condomínio ou empreendimento individualizado, estacionamento, parques e passeios. O controle na fonte da drenagem pluvial urbana visa 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. A Figura 3-2 ilustra medidas de disposição local.



Figura 3-2– Medidas de disposição local

Fonte: RECESA, 2007

b) **MICRODRENAGEM:** é um sistema de condutos pluviais em nível de loteamento ou rede primária, projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado, exercendo papel importante na captação de águas pluviais e transporte por meio de galerias, até um desaguadouro natural, como um córrego ou rio. Os sistemas de microdrenagem, em geral, são dimensionados para frequências de descargas de 2, 5 ou 10 anos de Período de Retorno (T), de acordo com as características da ocupação da área que

se quer beneficiar com o projeto. A Figura 3-3 apresenta esquema típico, terminologias e posicionamento de elementos de uma rede convencional de microdrenagem pluvial urbana.

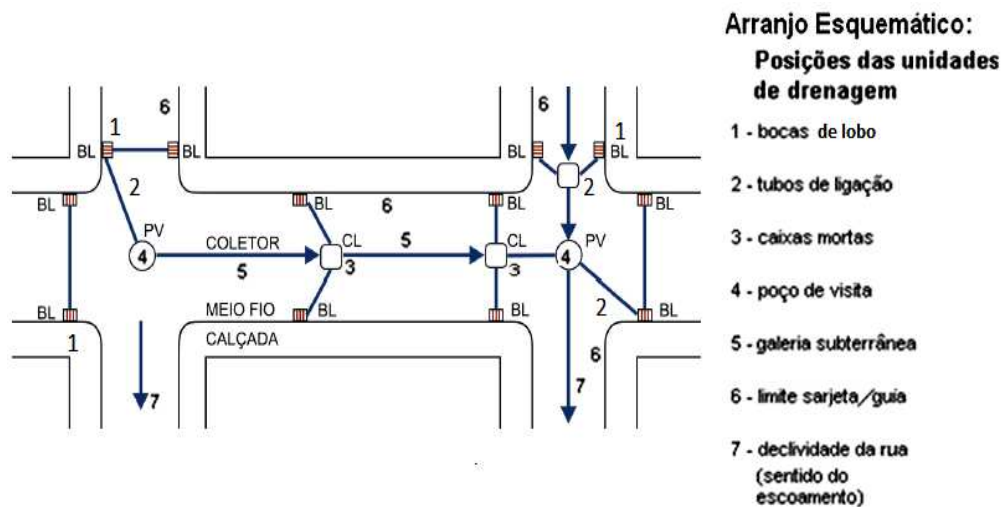


Figura 3-3- Microdrenagem: arranjo esquemático de uma rede de pluviais.

Fonte: Adaptado de São Paulo, 2012

O escoamento superficial sobre os passeios e ruas, originado pela chuva direta sobre o pavimento, se inicia transversalmente à pista até atingir as sarjetas. As sarjetas (Figura 3-4) funcionam como canais e precisam ser dimensionadas como tais.

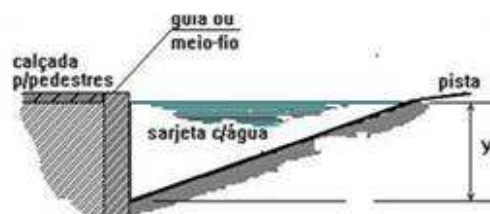


Figura 3-4– Sarjeta: corte esquemático

Fonte: São Paulo (2012)

As bocas de lobo (também chamadas de bocas coletoras) são locadas em pontos convenientes, em pontos intermediários das sarjetas ou a montante dos cruzamentos, para captação de águas pluviais das ruas. A Figura 3-5 apresenta os tipos mais comuns de bocas-de-lobo usadas em sistemas de drenagem urbana.





Figura 3-5– Principais tipos de bocas-de-lobo

Fonte: Neto, 2009

Um sistema de microdrenagem deficitário devido à falta ou localização incorreta de bocas de lobo, subdimensionamento de tubulações para escoamento superficial ou lançamentos concentrados em um ponto, resultam em alagamentos locais como também, sobrecarregam a rede de macrodrenagem (SEIBT, SILVA E FORMIGA, 2011).

c) **MACRODRENAGEM:** envolve sistemas coletores (com  $\varnothing \geq 400$  mm ou seção retangular equivalente), ver Figura 3 -6, para onde escoam a vazões de diferentes sistemas de microdrenagem, englobando áreas de drenagem maiores de 2 km<sup>2</sup> (200 ha). São projetados para acomodar precipitações superiores às da microdrenagem, com períodos de retorno (T) de 50 a 100 anos, dependendo do risco avaliado.



Figura 3-6– Macrodrenagem (galerias de porte)

Fonte: Tocantins (2014)

### 3.5 EFEITOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE O ESCOAMENTO

Segundo Tucci (2012), devido a urbanização as populações vêm se concentrando, cada vez mais, em espaços reduzidos, tendo dessa maneira uma grande competição pelos recursos naturais, água e solo.

Tucci (2012) traz que a ocupação do solo gera impactos significativos sobre os recursos hídricos, sendo explicitado de forma sucinta nos seguintes pontos:

- A expansão irregular sobre as áreas de mananciais de abastecimento humano, comprometendo a sustentabilidade hídrica das cidades.
- A população de baixa renda tende a ocupar as áreas de risco de encostas e de áreas de inundações ribeirinhas, devido à falta de planejamento e fiscalização.
- Aumento da densidade habitacional, com conseqüente aumento da demanda de água e do aumento da carga de poluentes sem tratamento de esgoto, lançados nos rios próximos às cidades.
- O planejamento urbano tem levado a uma excessiva impermeabilização das áreas públicas; canalização dos rios urbanos que, posteriormente, são ainda cobertos por concretos e avenidas, produzindo inundações em diferentes locais da drenagem.

A impermeabilização do solo, devido aos fatores citados pelo autor tem, influência direta no ciclo hidrológico, causando grandes impactos ambientais, tais impactos podendo ser irreversíveis. O ciclo hidrológico configura-se como as mudanças de estado da água, sólido, líquido, gasoso e a sua movimentação por toda a Terra. O Sol é a principal força motriz, que aliado a ele tem-se a força gravitacional e o movimento de rotação, para então formar um fenômeno global fechado de circulação da água, entre a superfície terrestre e a atmosfera (LOU, 2010).

Tucci (2009) diz que parte do ciclo hidrológico ocorre na própria superfície terrestre, ou seja, pela circulação da água no interior e na superfície dos solos e rochas. As impermeabilizações dos solos, devido à urbanização, impedem as infiltrações nos solos e nas fraturas das rochas, alterando dessa forma o ciclo hidrológico, na Figura 3 - 7 observamos este fenômeno bem como uma redução da evapotranspiração e o aumento do escoamento superficial.

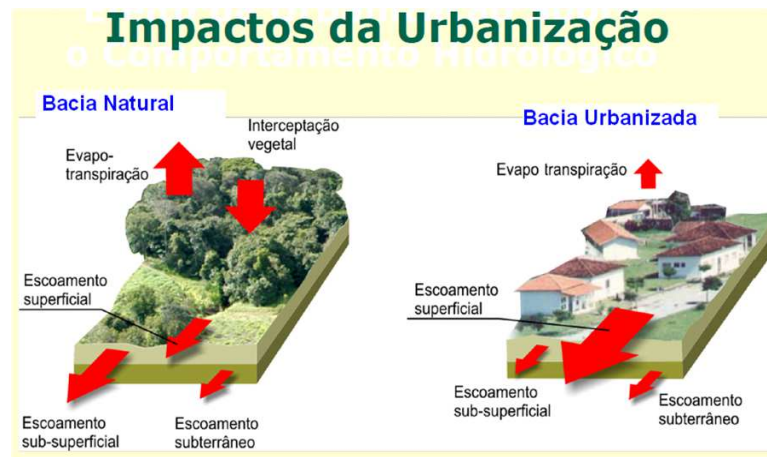


Figura 3-7-Balanço hídrico

Fonte: SCHUELER, 1987 *apud* TUCCI, 1997

Atualmente no Brasil nota-se a grande quantidade de obras civis que vem ocorrendo e conseqüentemente as impermeabilizações dos solos, aumentando consideravelmente, em áreas sem o devido planejamento, as enchentes das áreas urbanas e em detrimento a esses fatores o numero de pessoas afetadas com as inundações. Logo os efeitos da urbanização sobre as respostas na bacia hidrológica de drenagem devem ser avaliados com uma visão do volume do escoamento superficial direto e do tempo de trânsito das águas, pois o aumento da urbanização tem-se um aumento da impermeabilização no solo e o incremento das vazões geradas e transportas, (TOCANTINS, 2010).

Segundo Pompêo (2000), o desmatamento e a substituição da cobertura vegetal natural resultam, em muitos casos, na redução de tempo de concentração e um aumento no volume do escoamento superficial causando extravasamento de cursos d'água. Tucci (1997) reitera que a alteração da cobertura vegetal para pavimentos impermeáveis e a introdução de condutos para o escoamento pluvial, impulsionados pelo crescimento urbano, causa vários efeitos nos componentes do ciclo hidrológico natural, tais como:

1. Redução da infiltração no solo;
2. O volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial. Além disso, como foram construídos condutos pluviais para o escoamento superficial, tornando-o mais rápido, ocorre redução do tempo de deslocamento. Desta forma as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo;
3. Com a redução da infiltração, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação (principalmente quando a área urbana é muito

extensa), reduzindo o escoamento subterrâneo. As redes de abastecimento e cloacal possuem vazamentos que podem alimentar os aquíferos, tendo efeito inverso do mencionado;

4. Devido a substituição da cobertura natural ocorre uma redução da evapotranspiração, já que a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo.

A substituição da cobertura natural de uma bacia nem sempre resultará em grandes impactos. TUCCI (1997) diz que em regiões em que a cobertura é rochosa e impermeável as alterações relativas provavelmente serão menores, porém em bacias onde ocorre escoamento superficial pequeno poderá ser maior o impacto. Para ele o impacto da urbanização é de maior relevância em localidades onde ocorrem uma maior precipitação, pois o efeito da infiltração é mais importante, porém para regiões em que a frequência da precipitação é baixa, possui um alto tempo de retorno, essas relações, condições naturais e com urbanização, são relativamente menores.

Os efeitos da urbanização no ciclo hidrológico podem ocorrer por causa das várias mudanças ocorridas na bacia. PARANÁ (2002) diz que a impermeabilização das superfícies faz com que parte da energia solar seja absorvida, aumentando assim a temperatura ambiente, criando ilhas de calor na parte central dos centros urbanos. As ilhas de calor criam condições de movimento de ar ascendente que podem gerar o aumento de precipitação. Nas áreas urbanas ocorrem as precipitações críticas, que são as mais intensas e de baixas durações, contribuindo dessa forma para o agravamento das cheias inundações urbanas, a exemplo disso Silveira (1997, apud PARANÁ, 2002) diz que na parte central de Porto Alegre apresenta um maior índice pluviométrico quando comparado com a sua periferia, atribuindo a urbanização da cidade. Com isso as cidades e principalmente os centros urbanos estão mais sujeitos às inundações e conseqüentemente as doenças de veiculação hídrica.

### **3.6 INUNDAÇÕES URBANAS: TIPOS, IMPACTOS E CONSEQÜÊNCIAS**

Nas regiões urbanas as inundações trazem grandes transtornos e prejuízos à sociedade, podendo se apresentar de várias maneiras podendo ser com o impedimento do fluxo dos automóveis, proliferação de doenças de veiculação hídrica, desmoronamentos, não sendo exagero dizer que em muitos casos existe perda de vidas. Tucci (2012) diz que as inundações em uma bacia hidrográfica são devido ao excesso da precipitação que não é drenada, essas águas por sua vez, vão inundar a várzea conforme a topografia das áreas

ribeirinhas. Esses processos ocorrem de forma aleatória de acordo com os processos climáticos, sendo chamadas de inundações ribeirinhas. Para Paraná (2002), as inundações ribeirinhas se dão quando as populações ocupam o leito maior dos rios, uma vez que os rios possuem dois leitos (Figura 3-8), leito menor que é onde o rio escoar a grande parte do tempo e o leito maior que ele é inundado em média a cada dois anos.

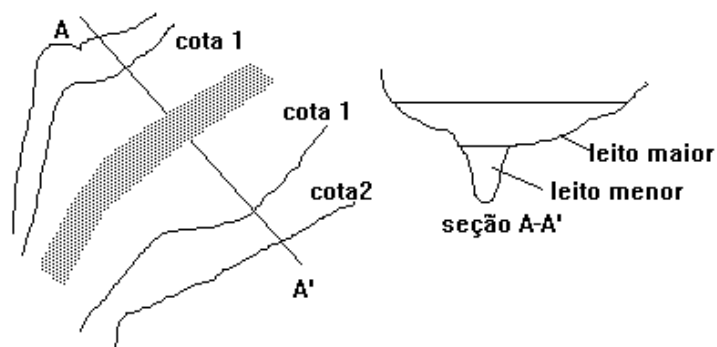


Figura 3-8- Seções do leito do rio

Fonte: Tucci (1997)

Conforme uma bacia hidrográfica vai se desenvolvendo ocorre o aumento da impermeabilização do solo, Tucci (2012) e Paraná (2002) chegaram a conclusão que a impermeabilização do solo acelera o escoamento pelos condutos, aumentando a quantidade de água que chegam ao mesmo tempo nos sistemas de drenagem, causando inundações mais freqüentes do que as que já existiam anteriormente, agravando quando há obstruções do escoamento com aterros, pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos, atrelando a inundação devida à urbanização ou a drenagem urbana.

Enchentes devido à urbanização ou em áreas ribeirinhas podem ocorrer juntas ou separadamente. Tucci (2012) diz que “as inundações ribeirinhas ocorrem em bacias de grande e médio porte no trecho onde a declividade é baixa e a seção de escoamento é pequena, enquanto na drenagem urbana ocorrem em pequenas bacias urbanizadas, com exceção de grandes cidades, a exemplo da cidade de São Paulo”. Na Figura 3.9 e Tabela 3.3 observamos um resumo das causas e efeitos devido a urbanização.

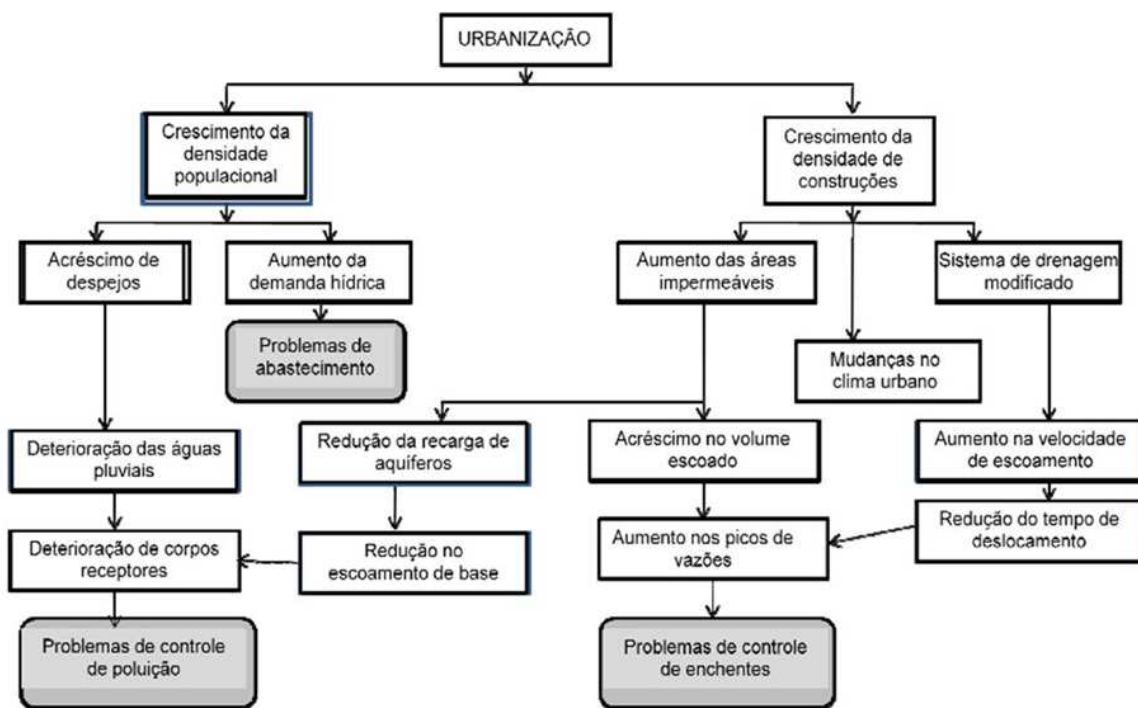


Figura 3. 9- Efeitos da Urbanização nos Processos Hidrológicos

Fonte: adaptado de Tucci e Marques, 2005

Tabela 3. 3– Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização	Maiores picos de vazões
Redes de drenagem	Maiores picos a jusante
Resíduos sólidos urbanos	Entupimento de galerias e degradação da qualidade das águas
Redes de esgotos sanitários deficientes	Degradação da qualidade das águas e doenças de veiculação hídrica
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes, maior erosão e assoreamento
Ocupação das várzeas e fundos de vale	Maiores picos de vazão, maiores prejuízos e doenças de veiculação hídrica

Fonte: Tocantins (2010)

Os impactos decorrentes das enchentes são associados à alteração da cobertura vegetal para pavimentos impermeáveis e a introdução de condutos para o escoamento pluvial, que causa aumento das vazões máximas, como ver apresentado na Figura 3-10 (PARANÁ, 2002).

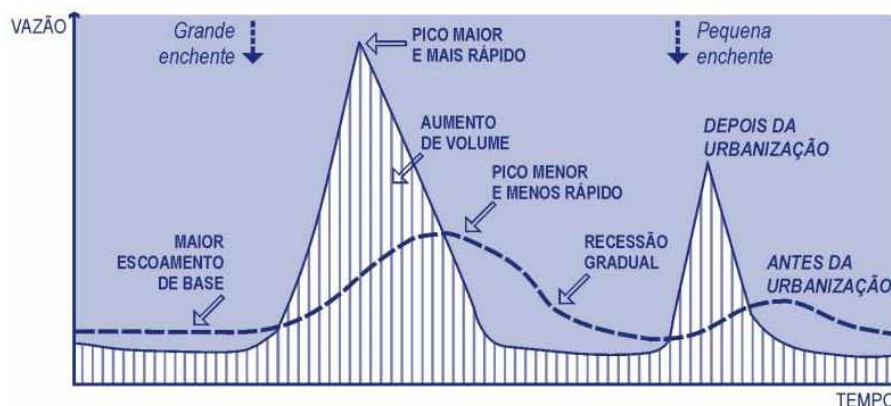


Figura 3-10 - Relação do escoamento antes e depois da urbanização

Fonte: SCHUELER, 1987 *apud* PARANÁ, 2002

Leopold (1968, *apud* Tucci, 2007) estimou o aumento da vazão de enchentes (média de todas as inundações de uma bacia, com T da ordem de 2 anos) por milha quadrada em função dos parâmetros principais da urbanização: percentagem da área impermeável e percentagem de áreas com condutos. Este aumento chega, nesta avaliação, a sete vezes as condições de pré-urbanização, como apresentado na Figura 3-11

Tucci (2012) reforça o que Paraná (2002) abordou que a urbanização tende a impermeabilizar o solo e acelerar o escoamento pluvial pelos condutos, produz os seguintes fatores: (a) aumento da vazão máxima e a frequência das inundações na zona de riscos; (b) maior velocidade do escoamento, provocando a erosão do solo e conseqüentemente a produção de sedimentos para nos sistema de drenagem urbana; (c) maior quantidade de resíduos sólidos que irão escoar nos condutos, reduzindo o diâmetro efetivo das canalizações, quando não entupidos, produzindo maiores inundações; e (d) deteriorização da qualidade da água pluvial devido ao carreamento das impurezas contida nas superfícies urbanizadas.

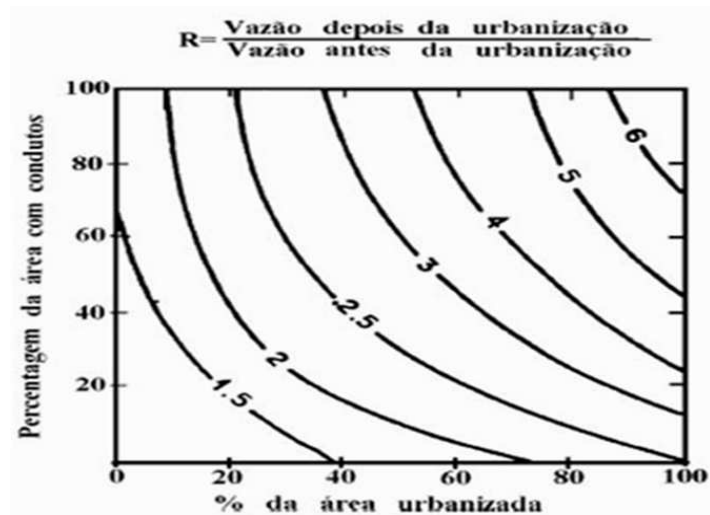


Figura 3-11– Aumento da vazão máxima

Fonte: Leopold (1968) *apud* Tucci (2002)

O modelo atual de concentração urbana demonstra a grande falta de sustentabilidade, causando o conjunto de impactos citados acima, agrava ainda mais pela ausência de esgotamento sanitário e resíduos sólidos. Contudo a população tende a solicitar canalizações próximas as suas residências e os recobrimentos de canais para evitar as áreas degradam, transferindo dessa forma o problema para a jusante, retornando desta forma quando os condutos estiverem entupidos. Para Filho et al (2000) o controle de inundações faz se necessário para acabar ou mitigar os problemas causados pelas mesmas, sendo esse controle formado por um conjunto de medidas que tem por objetivo minimizar os riscos que aos s populações estão sujeitas.

### 3.6.1 MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO ESTRUTURAIS DE CONTROLE E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Com a urbanização das bacias tornam-se necessárias medidas de controle das inundações, uma vez que as inundações, caso não exista técnicas de controle, serão rotineiras e cada vez com maiores intensidades e conseqüentemente com maiores impactos, pois a urbanização das bacias só tende a crescer. De acordo com Lou (2010), os projetos de drenagem não podem assegurar uma ampla proteção às enchentes, pois se torna economicamente inviável, logo os profissionais elaboram projetos com riscos de enchentes com níveis aceitáveis para cada ocasião. Para a proteção da população é recomendado estudos que analisem qual medida ou conjunto de medidas seja mais eficiente frente aos benefícios, custos marginais e ao risco de inundação aceitáveis, conclui.



Para São Paulo (1999), as escolhas das medidas, estruturais e não estruturais, deve ser levada em consideração o processo de urbanização da área em questão, pois em áreas em processo de urbanização a implantação de medidas não estruturais torna-se mais fácil, ao passo que uma área urbanizada torna-se mais difícil a implantação dessas medidas.

A escolha de medidas estruturais, como a criação de bacias de retenção, para áreas em processo de urbanização torna-se um grande aliado à redução do escoamento superficial na bacia, pois existe a possibilidade de deixar as áreas destinadas para esses tipos de medidas. Esses conjuntos de medidas são técnicas que tem como objetivo o controle do escoamento superficial que é gerado nos períodos de precipitações pluviais. Lou (2010), São Paulo (1999) trazem que as medidas são classificadas em estruturais e não estruturais.

As medidas estruturais são fundamentalmente construtivas, obras de engenharia, que possui o intuito de conter, reter ou melhorar a condução do escoamento, reduzindo dessa forma os riscos das enchentes, envolvendo assim construções de barragens, diques, canalizações, reflorestamento, entre outros, Paraná (2002).

São Paulo (1999) traz o significado de medidas estruturais com uma visão higienista, considerando como medidas físicas de engenharia que tem a função de desviar, deter, reduzir ou escoar com maior rapidez e menores níveis as águas do escoamento superficial direto, é notável que não existe a preocupação da redução ou medidas de amortecimento das cheias, chegando dessa a conclusão que evitará os danos e interrupções das atividades causadas pelas inundações.

Para Tocantins (2010), as medidas estruturais podem dar falsa sensação de proteção, acarretando em ocupação das áreas de alagamento, pois essas medidas não são projetadas para grandes precipitações, o que seria inviável economicamente. Devido a esse fato e atrelado as preocupações com o meio ambiente, as medidas passaram a desempenhar funções importantes no manejo das águas pluviais e na drenagem urbana, sendo assim, dividida em medidas estruturais convencionais e compensatórias. De acordo com esse autor, as medidas convencionais geralmente são obras de grande porte, compondo o papel de afastamento das águas precipitadas, podendo ser:

- Obras de micro e macrodrenagem;
- Galerias de águas pluviais;

- Canalização de córregos;
- Limpeza e desassoreamento de córregos;
- Diques de contenção;
- Readaptação de obras de galerias e de travessias;
- Bacias de detenção e retenção (piscinões).

A técnica de medidas estruturais compensatórias por sua vez visa o restabelecimento das vazões de pré-desenvolvimento com a implantação de dispositivos proporcionando a retenção e infiltração das águas precipitadas antes de atingir a rede de drenagem. Essas técnicas podem ser utilizadas em pequenas ou em grandes áreas, (ALVES; COSTA, 2007).

Já as medidas não-estruturais elas não empregam uma obra física para o controle das cheias, englobam as medidas institucionais, tais como: planos diretores, legislações, educação da população, zoneamento de áreas de inundação, sistemas de prevenção e alarme de eventos de enchente, são fundamentalmente constituídas por ações de controle do uso e ocupação do solo (TOCANTINS, 2010). De acordo com Tocantins (2010) e Lou (2010), as medidas não-estruturais, são de caráter extensivo e preventivo, que abrange toda a bacia, de natureza institucional, administrativa ou financeira, adotada individualmente ou coletivamente, ou seja, aplicadas juntamente com as estruturais podendo ser empregadas espontaneamente ou por força de legislação, destinadas a diminuir as vazões ou adaptar moradores das áreas inundáveis a conviverem com a ocorrência freqüente do fenômeno.

Tocantins (2010) classifica as medidas não-estruturais em emergencial, temporária e definitiva, citando exemplo de cada um, como demonstrado a seguir:

#### **Emergencial:**

- Instalação de vedação ou elemento de proteção temporária ou permanente nas aberturas das estruturas;
- Sistema de previsão de cheias e plano de procedimentos de evacuação e apoio à população afetada.

#### **Temporária:**

- Criar e tornar o Manual de Drenagem um modelo dinâmico de como tratar a drenagem da bacia, para o qual foi definido;

- Regulamentação da área de inundação, delimitar por cercas, por obstáculos, se possível naturais, constante divulgação de alertas, avisos e fiscalização para não ocupação da área de risco, na comunidade, nas escolas e através da mídia local com aplicação de penas alternativas para infratores.

**Definitiva:**

- Estudos hidrológicos atualizados da bacia de contribuição e dos efeitos sofridos a jusante;
- Reserva de área para lazer e atividades compatíveis com os espaços abertos;
- Seguro inundação;
- Programa de manutenção e inspeção das estruturas à prova de inundação, juntamente com o acompanhamento da quantidade e qualidade da água drenada;
- Adequação das edificações ribeirinhas ao convívio de eventuais inundações e/ou alagamentos, como estruturas sobre pilotis;
- Regulamentação dos loteamentos e códigos de construção;
- Desocupação de construções existentes em áreas de inundação e realocação de possíveis ocupantes;
- Política de desenvolvimento adequada ao município, evitando prejuízos da inundação ou alagamento;
- Educação ambiental dinâmica e constante.

Porém para a implementação de tais ações torna-se necessário o conhecimento do meio físico, da extensão territorial das bacias hidrográficas que o compõem, além das informações de georreferenciamento da superfície do solo e subsolo, tornado imprescindíveis para o planejamento dessas ações.

No Quadro 1 pode-se observar de forma resumida os exemplos das medidas, conforme (SÃO PAULO, 1999).

## Quadro 1- Medidas estruturais e não estruturais

<b>Medidas estruturais</b>		
Aumento da capacidade de escoamento das calhas	Diques marginais ou anulares; Melhoria das calhas (aumento da seção transversal, desobstruções e retificações); Canalização (melhoria da calha e revestimento, substituição da calha por galeria/ canal, canal de desvio)	
Redução das Vazões de Cheia	Reservatórios nos cursos d'água principais	
	Medidas para controle do escoamento superficial direto:	Medidas para detenção das águas pluviais
		Medidas para infiltração das águas pluviais
	Medidas locais (armazenamento em telhados, cisternas, bacias de detenção em parques, etc.); Medidas fora do local (armazenamento em leitos secos ou em reservatórios implantados em pequenos cursos d'água.)	
	Medidas locais (poços, trincheiras, bacias de infiltração, escoamento dirigido para terrenos gramados, etc.)	
<b>Medidas Não Estruturais</b>		
Regulamentação do uso e ocupação do solo (principalmente em fundo de vale)		
Proteção contra inundações (medidas de proteção individual das edificações em áreas de risco)		
Seguro contra inundações		
Sistemas de alerta, ações de defesa civil, realocações		

Fonte: São Paulo (1999)

De acordo com São Paulo (1999) o que acarreta um dos maiores problemas na drenagem nos grandes centros urbanos, atualmente, é a ausência de apoios de medidas não estruturais. Porém a utilização igualitária de investimentos, tanto em medidas estruturais quanto não estruturais, pode reduzir consideravelmente os prejuízos causados pelos alagamentos nos centros urbanos.

### 3.7 O CONCEITO DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Diversas estratégias são necessárias para solucionar os problemas de drenagem. Estes não podem ser resolvidos simplesmente através da construção de grandes obras. Estudos recentes realizados principalmente a partir dos anos 1970-1980 em países desenvolvidos, têm apresentado um novo conceito nos projetos de drenagem urbana (UFG – WEVC, 2003). Trata-se do desenvolvimento sustentável da drenagem urbana com o objetivo de “imitar o ciclo hidrológico natural” (Figura 3-12).

<p><b>a partir de 1970 ...</b>  <b>Medidas Compensatórias</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Atenuação de picos de vazão</li> <li>▪ Bacias de retenção</li> <li>▪ Bacias de detenção</li> </ul>
<p><b>a partir de 1980 ...</b>  <b>“ Soluções desejáveis são aquelas que atuam sobre as causas”</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ controle de fluxos na origem</li> <li>▪ redução de volumes escoados</li> <li>▪ armazenamentos localizados no lote urbano</li> <li>▪ sistemas para infiltração</li> <li>▪ novas posturas tecnológicas</li> <li>▪ manutenção permanente</li> <li>▪ comprometimento dos cidadãos</li> </ul>

Figura 3-12– Evolução do conceito de drenagem sustentável

Fonte: Adpatado de Lazari, Pereira e Labdren, 2007

O enfoque ambiental da drenagem urbana moderna preocupa-se com a manutenção e recuperação de ambientes saudáveis interna e externamente à área urbana, ao invés de só procurar sanear o interior da cidade, segundo preceitos meramente sanitarias (Silveira, 1999). Evidentemente, o conceito de saúde evoluiu da abordagem sanitaria (higienista) à abordagem ambientalista, entretanto ambas concordam no objetivo saúde só que houve uma extensão ao meio ambiente.

De acordo com Silveira (1999) uma boa concepção e gestão da drenagem pluvial surgem neste contexto como uma necessidade coletiva e indispensável ao funcionamento das aglomerações urbanas. Isto conduz à noção de auto-sustentabilidade das cidades com respeito ao ambiente interno e externo. A cidade torna-se viável pelos equipamentos de saneamento e drenagem, mas estes mesmos equipamentos preservam a qualidade dos cursos d'água internos e de jusante (externos).

Em suma, a cidade deve ser autônoma em relação ao meio ambiente hidrológico e vice-versa (Sangaré, 1995). É necessário, idealmente, que se faça a gestão integrada do saneamento ambiental por uma única entidade municipal, que gerencie os cinco componentes: i) águas de abastecimento, ii) sistema de esgotamento, iii) drenagem urbana, iv) resíduos sólidos e v) riscos ambientais, como apresentado na Figura 3-13 (UFG – WEVC, 2003).



Figura 3-13– Representação do planejamento integrado dos setores essenciais relacionados com a água no meio urbano

Fonte: UFG – WEVC, 2003

Do ponto de vista do meio receptor (cursos d'água) a sua autonomia com relação à cidade passa pela sua conservação de modo a permitir o desenvolvimento biológico habitual e permanente das espécies que nele vivem naturalmente. A gestão disto deve monitorar o estado do meio receptor, o estado das fontes poluidoras, avaliar o impacto dos poluentes urbanos sobre os cursos d'água, gerando informações que condicionem a regulação dos níveis de tratamento dos rejeitos urbanos em função do estado atual do meio receptor, de como estes rejeitos podem impactar e das metas de qualidade para ele estabelecidas.

A drenagem urbana moderna deve ter os seguintes princípios (Tucci e Genz, 1995):

- Não transferir impactos para jusante;
- Não ampliar cheias naturais;
- Propor medidas de controle para o conjunto da bacia;
- Legislação e Planos de Drenagem para controle e orientação;
- Constante atualização de planejamento por estudo de horizontes de expansão;
- Controle permanente do uso do solo e áreas de risco;
- Competência técnico-administrativa dos órgãos públicos gestores;
- Educação ambiental qualificada para o poder público, população e meio técnico.

### 3.7.1 A UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS

À medida que a cidade vai crescendo, ocorrem proliferações de loteamentos sem planejamento adequado, aumentam a ocupação de áreas de risco impróprias para construções como beira de córregos, várzeas e áreas com declividade acentuada. Com isso, o adensamento populacional se torna excessivo, dificultando a construção de uma rede de drenagem adequada e eliminando possíveis áreas de armazenamento para conter cheias urbanas. Pode ser gerada por isso uma sobrecarga dos condutos pluviais com aumento dos picos de cheia em até 7 vezes, ocorrendo transbordamentos e inundações em diversos pontos das cidades(Tucci e Genz, 1995).

A condução dos diversos aspectos da gestão da drenagem urbana leva à utilização de tecnologias mais sustentáveis que são as Medidas de Controle (MCs), chamadas no

Brasil de Tecnologias Alternativas ou Compensatórias. Para tanto, é necessário adotar uma abordagem mais integrada das questões da drenagem urbana, ou seja, além dos aspectos hidrológicos e hidráulicos, tradicionalmente considerados, é necessário conduzir essa análise para os aspectos sanitários, ambientais e paisagísticos (UFG – WEVC, 2003).

Atualmente, podem-se utilizar medidas de controle sustentáveis que buscam o controle do escoamento na fonte através da recuperação da capacidade de infiltração ou da detenção do escoamento adicional gerada pelas superfícies impermeabilizadas urbanas (ReCESA, 2007). Dentre as técnicas compensatórias possíveis de ser utilizadas para o controle da drenagem urbana, existem os micro-reservatórios domiciliares, os pavimentos permeáveis, os valos e trincheiras de infiltração, as bacias de detenção e de retenção. A Figura 3 -14, Figura 3 -15 e Figura 3 -16 apresentam exemplos de algumas dessas MCs, todas de disposição local (ou na fonte).

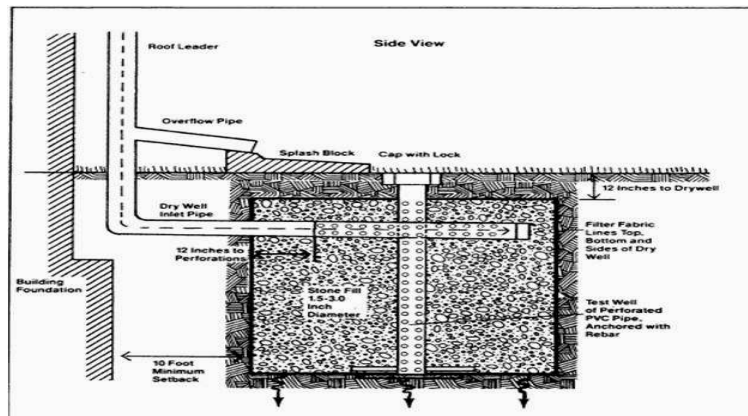


Figura 3-14– Micro-reservatório

Fonte: Schueler (1987) *apud* Tucci (2007)

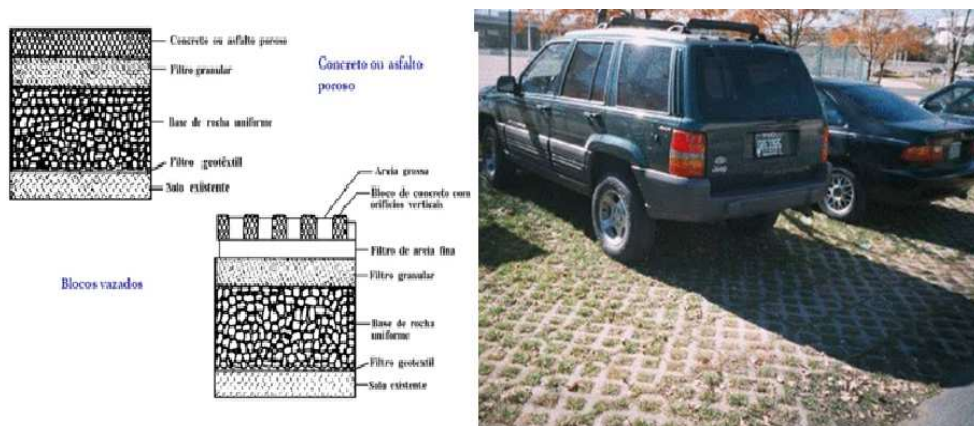


Figura 3-15– Pavimentos permeáveis

Fonte: Adaptado de Tucci, 2007

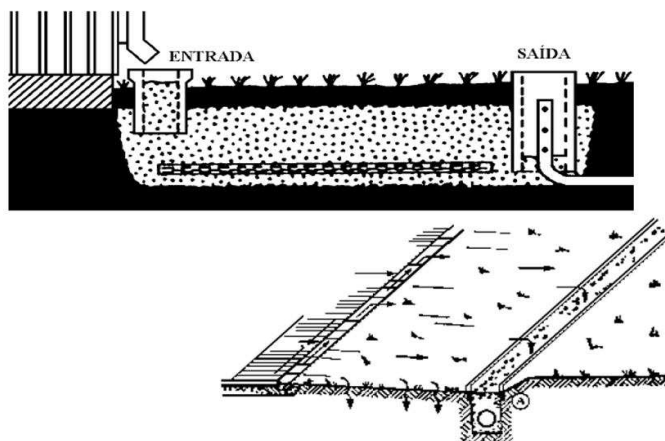


Figura 3-16- Valos de Infiltração

Fonte: Holmstrand, 1984 *apud* Tucci, 2007

A bacia (ou reservatório) de detenção, Figura 3-17, situado sempre a jusante, visam controlar os escoamentos das bacias ou sub-bacias de drenagem (Canholi, 2005). Trata-se de um dispositivo de armazenamento temporário, sendo mantido seco nas estiagens, destinando-se a laminar os picos de escoamento superficial, liberando mais lentamente os volumes afluentes. Pode ser escavado ou materializado por uma pequena barragem de terra ou de concreto, aproveitando ou não depressões naturais dos terrenos.

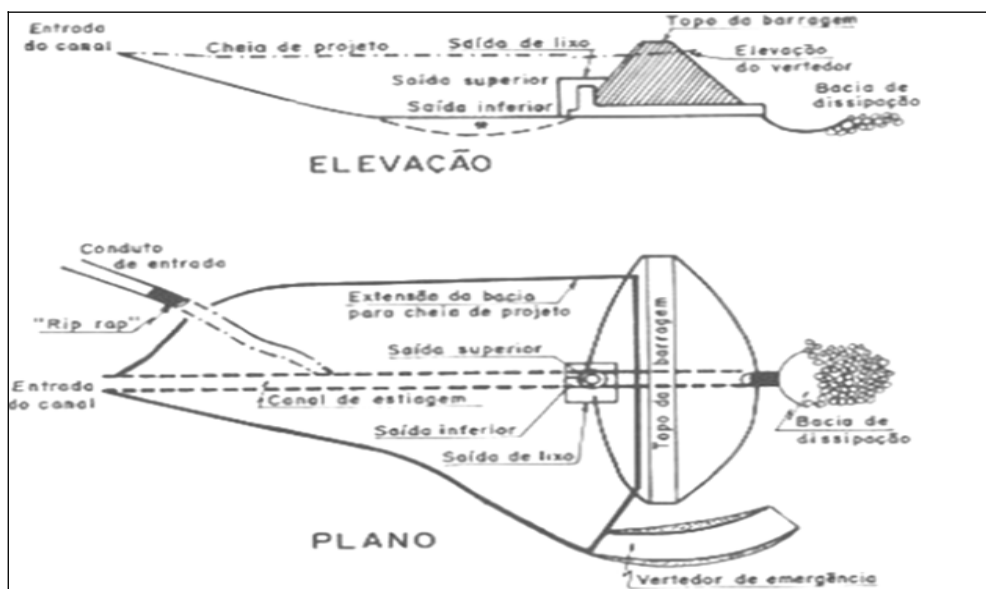


Figura 3-17– Bacias de detenção

Fonte: Adaptado de Tucci, 2007



O reservatório de detenção, como estrutura de armazenamento do escoamento superficial oriundo das águas pluviais, pode ser utilizado para: controle da vazão máxima, controle do volume, controle de material sólido e da erosão, controle da qualidade da água e ainda uma possível função de infiltração dessas mesmas águas quando instalados diretamente em solo exposto (CANHOLI, 2005).

De acordo com Tucci (2007), os reservatórios de retenção são dimensionados para manterem uma lâmina permanente de água, construído para não secar entre uma enxurrada e outra. São estruturas destinadas não só para o controle de cheias, mas também para melhorar a qualidade da água das enxurradas. De acordo com Baptista et al. (2005), sua forma básica envolve um volume livre deixado para a acumulação das águas superficiais e/ou eventual infiltração denominado volume de espera, ver Figura 3-18, uma estrutura hidráulica de controle da vazão de saída, usualmente um descarregador de fundo, e um vertedor de emergência.



Figura 3-18– Bacias de retenção implantadas em praças do setor Jaó – Goiânia/ GO

Fonte: Adaptado de ReCESA, 2007

No geral, as bacias de detenção e de retenção exercem praticamente a mesma função que os micro-reservatórios domiciliares, entretanto, possuem maior capacidade de armazenamento, podem promover a infiltração das águas pluviais e controle da poluição difusa. O efeito de um reservatório de detenção, por exemplo, sobre um hidrograma de cheia é o de amortecimento conforme figura

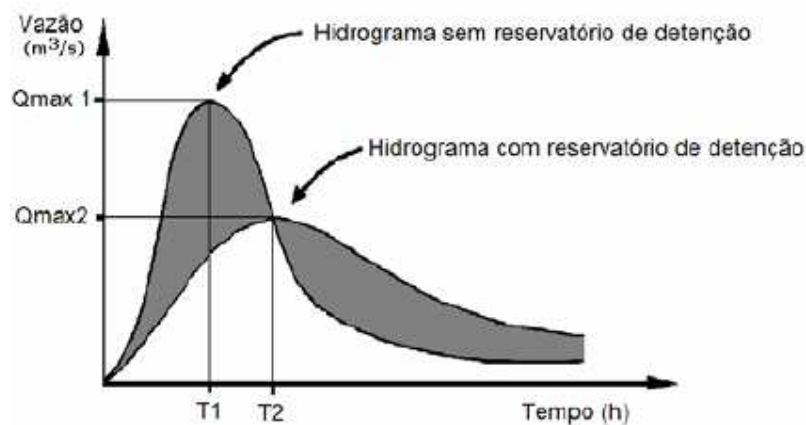


Figura 3-19– Amortecimento da onda de cheia devido a um reservatório de detenção

Fonte: ReCESA, 2007

### 3.7.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS DE DRENAGEM PLUVIAL

No Brasil, um dos maiores problemas das águas urbanas é a deficiência de coleta de esgoto cloacal, além de um baixo índice de tratamento daquele que é coletado, resultando na contaminação das águas de drenagem pluvial e dos mananciais pelo esgoto. Segundo informações da última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), ano de referência 2008, o País possui, aproximadamente, 78,6% e 45,7% dos domicílios atendidos por rede geral de água e por rede coletora de esgotos sanitários, respectivamente. Porém, vem crescendo a importância dos estudos de qualidade da água de drenagem no Brasil, na medida em que os municípios estabelecem estações de tratamento de águas residuárias.

Nos países economicamente desenvolvidos houve uma redução significativa das fontes poluidoras pontuais na década de 1980, com a implementação de legislações ambientais, processo este que ocorre atualmente no Brasil. Tucci (2002) fazendo uma comparação dos aspectos da água no meio urbano entre países desenvolvidos e em desenvolvimento observa que nos países desenvolvidos a prioridade é o controle da poluição difusa devido às águas pluviais. Já nos países em desenvolvimento a prioridade é o tratamento de esgoto (Quadro 2).

Quadro 2 - Infraestrutura urbana em países desenvolvidos e em desenvolvimento

<b>Infra-estrutura urbana</b>	<b>Países desenvolvidos</b>	<b>Brasil</b>
<i>Abastecimento de água</i>	Resolvido, cobertura total	Grande parte atendida, tendência de redução da disponibilidade devido a contaminação, grande quantidade de perdas na rede
<i>Saneamento</i>	Cobertura quase total	Falta de rede e estações de tratamento; as que existem não conseguem coletar esgoto como projetado;
<i>Drenagem Urbana</i>	Controlado os aspectos quantitativos; Desenvolvimento de investimentos para controle dos aspectos de Qualidade da água	Grandes inundações devido a ampliação de inundações; Controle que agrava as inundações através de canalização; Aspectos de qualidade da água nem mesmo foram identificados.
<i>Inundações Ribeirinhas</i>	Medidas de controle não-estruturais como seguro e zoneamento de inundação	Grandes prejuízos por falta de política de controle

Fonte: adaptado de Tucci, 2002

Há uma grande diversidade de poluentes nas águas de drenagem. A precipitação remove da atmosfera os poluentes presentes no ar levando-os à superfície. Ao atingir a superfície a água desloca partículas sólidas e se mistura com uma série de outros poluentes ao longo de seu percurso. Os poluentes misturados com a água são então conduzidos às águas superficiais e subterrâneas (ReCESA, 2007).

Os processos que podem levar a problemas de qualidade das águas de drenagem são: (1) lavagem atmosférica pela chuva; (2) erosão e fricção por escoamento; (3) lavagem do solo; (4) deposição/acúmulo; (5) transformação. No Quadro 3 estão também listadas outras fontes poluidoras das águas de drenagem (ReCESA, 2007).

Quadro 3 - Fontes poluidoras das águas de drenagem

Partículas sólidas sobre a superfície do solo	Infiltração de águas provenientes de sistemas de esgotos sanitários nos sistemas de drenagem
Restos vegetais	Vazamento proveniente de sistemas individuais de tratamento de esgotos (e.g. fossas sépticas)
Erosão e lixiviação do solo	Combustível e óleo de veículos e postos de gasolina
Animais mortos ou resíduos gerados pelos mesmos	Disposição inadequada de tintas
Fertilizantes	Acidentes com veículos transportando produtos perigosos
Pesticidas e Herbicidas	Infiltração de chorume
Estacionamentos	Poluentes atmosféricos
Lixo	Telhados

(Fonte, ReCESA, 2007)

As fontes poluidoras são classificadas em dois grupos quanto à forma de ocorrência: (1) fontes pontuais e (2) não-pontuais ou difusas. A poluição difusa é conceituada por Porto (1995, apud TOMAZ, 2006) como sendo o escoamento superficial urbano gerado na área de contribuição da bacia que provem de atividades que geram poluentes de forma esparsa. Com isso convém que a drenagem urbana não deva ser apenas um sistema para redirecionar as águas de escoamento superficial, ela deve ser coletada e tratada de forma adequada. Para que existam soluções eficazes de drenagem urbana, 6 fatores são definidos por Tucci (2007), sendo eles:

1\_ A existência de uma política para o setor que defina objetivos a serem alcançados e os meios para atingi-los;

2\_ Existência de uma política para ocupação do solo urbano devidamente articulado com a política de drenagem urbana, principalmente no que se refere à ocupação das várzeas de inundações;

3\_ Processo de planejamento que contemple medidas de curto, médio e longo prazos em toda a bacia, integre as medidas de drenagem de águas pluviais no complexo maior do ambiente urbano;

4\_ Existência de entidade eficiente que domine as tecnologias necessárias, implante obras e medidas, desenvolva atividades de comunicação social, promova a participação pública, estabeleça critérios, aplique leis e normas e enfim, exerça, de forma positiva, a lideranças do setor;

5\_ Domínio da tecnologia adequada para planejamento, projeto, construção e operação das obras;

6\_ Organização de campanhas de educação e esclarecimento da opinião pública.

Essas ações que são apontadas por Tucci, apesar de quantitativamente serem poucas, têm um grau de articulação muito elevado, pois na maioria das cidades brasileiras existe um grande déficit de mão de obra qualificada, existindo assim, na maioria das vezes, planejamento e gestão dos projetos de drenagem urbana ineficiente.

Como se pode notar, pelo o aqui exposto, é importante que os profissionais vejam as águas de escoamento como potenciais fontes poluidoras, uma visão diferente daquela das últimas décadas. Países desenvolvidos têm estabelecido crescentes medidas de controle de poluição das águas de drenagem. Para a FUNASA (2008), um sistema de drenagem ineficiente é perceptível logo após as precipitações significativas, trazendo transtornos à

população de inundações e alagamentos o que propicia o aparecimento de doenças como a leptospirose, diarréias, febre tifóide e a proliferação dos insetos vetores.

Com isso nota-se a grande importância sanitária que a drenagem urbana tem sobre a sociedade, visto que a drenagem visa principalmente a desobstrução dos cursos d'água dos igarapés e riachos, para eliminação dos criadouros (formação de lagoas) combatendo, por exemplo, insetos vetores e a não propagação das doenças de veiculação hídrica.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

No intuito de alcançar os objetivos do presente trabalho a pesquisa foi desenvolvida a partir de revisão bibliográfica e documental, realização de estudos hidrológicos para diferentes cenários, análise dos possíveis impactos e medidas compensatórias visando o aproveitamento.

A pesquisa bibliográfica foi baseada em artigos técnicos, dissertações, teses, monografias, legislações vigentes e análise documental dos projetos referentes à construção e implantação do empreendimento em questão. A partir disso foi possível realizar a caracterização do município e da área de estudo além de fornecer embasamento teórico para a definição de alternativa de aproveitamento do volume de água excedente.

Após a pesquisa bibliográfica foram realizados os estudos hidrológicos utilizando a fórmula racional para o cálculo das vazões máximas de projeto. Em seguida verificou-se a possibilidade de geração de impactos, definiu-se a alternativa de aproveitamento englobando o dimensionamento da estrutura escolhida.

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CRUZ DAS ALMAS**

#### **4.1.1 ASPECTOS GERAIS**

A área de interesse está situada no município de Cruz das Almas, região do recôncavo baiano, planalto pré-litorâneo conforme Figura 4 -20. O município possui uma área territorial de 145,742 km<sup>2</sup>, com uma população de 58.606 habitantes no ano de 2010 e uma população estimada para 2014 de 63,761. Segundo o Censo Demográfico do IBGE no ano de 2010, sua densidade demográfica é de 402,12 habitantes/km<sup>2</sup>. O seu perfil geográfico é limitado pelos municípios de Muritiba (Norte), São Felipe (Sul), São Felix (Leste) e Sapeaçu (Oeste) e a sua sede dista 146 km da capital do Estado, Salvador.



Figura 4-20: localização do município de Cruz das Almas

Fone: Adaptado IBGE

O clima da região de Cruz das Almas pode ser caracterizado como um clima tropical quente e úmido, com estação chuvosa bastante definida, precipitações médias mensais de 95,2 mm e anuais de 1143 mm, segundo a classificação climática proposta por Koppen, (D'ANGIOLELLA *et al.*,1998). A umidade relativa do ar é de aproximadamente 80 % e a temperatura média anual é de 24,5°C, ver Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Médias de precipitação, temperatura e umidade

Precipitação (média mensal)	95,2mm/ano
Precipitação (média anual)	1143mm/ano
Temperatura (média anual)	24,5°C
Umidade relativa do ar (média anual)	80 %

Fonte: Adaptado D'ANGIOLELLA *et al.*,1998

A região apresenta uma vegetação nativa (Floresta Estacional Semi-decidual) bastante degradada relacionada a um tipo climático com duas estações distintas (uma seca e outra chuvosa) (FIGUEREDO, NACIFE e COSTA, 2009).

#### 4.1.2 SOLO

O município de Cruz das Almas apresenta cinco classes de domínio pedológico, porém destacam-se o Latossolo Amarelo, Argissolo Amarelo e o (FIGUEREDO, NACIFE e COSTA, 2009)

#### 4.1.3 HIDROGRAFIA

Em conformidade com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH, 2012), que tem como base a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), o estado da Bahia está dividido hidrograficamente em 25 Regiões de Planejamento e Gestão das Águas (RPGAs). Das 25 RPGA's existentes, 10 ainda não possuem Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) instalados, conforme Figura 4-21.



Figura 4-21 – RPGA's e comitês de bacia

Fonte: Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) 2013

A cidade Cruz das Almas, delimitada em vermelho na Figura 4-22, faz parte de duas das 25 RPGA's do estado da Bahia, sendo elas RPGA IX (Recôncavo Sul) e X (Rio Paraguaçu). Destaca-se que a maior parte do seu território está inserida na RPGA X, correspondendo a mais de 60% (INEMA, 2014).





Figura 4-22- Inserção do município de Cruz das Almas nas RPA IX e X.

Fonte: Adaptada INEMA, 2014

A RPA IX é constituída pelas bacias hidrográficas de rios estaduais os quais deságuam no Oceano Atlântico, na contra-costa da Ilha de Itaparica, do Arquipélago de Tinharé-Boipeba e na Baía de Camamu (INEMA, 2014).

Segundo o INEMA (2014), a RPA IX apresenta uma população estimada de 906.292 habitantes abrangendo 56 municípios total ou parcialmente, conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5-Área territorial e quantidade de municípios

Área territorial (%)	Quantidade de municípios
=100	32
At >60	13
40>At< 60	2
At <40	9
Total	56

Fonte: Adaptada INEMA, 2014

A região de planejamento apresenta também clima semi-árido, com distribuição pluviométrica irregular, e uma cobertura vegetal de mata Atlântica, caatinga, extensos manguezais, restingas, e um amplo estuário. A região do semi-árido tem uma alta

suscetibilidade à desertificação, o que, portanto, demanda atenção redobrada ao manejo das águas (INEMA, 2014).

Devido às características climáticas do local, a maioria dos cursos d'água é intermitente, sendo os principais rios: as sub-bacias do rio Jaguaripe, Mocambo, Rio da Dona, Rio do Jacaré, Rio Corta Mão, rio Jequiriçá, Rio Ribeirão, Rio Geléia, Rio Preto das Almas, Rio Velho, Rio Gandu, Rio do Peixe, Rio da Mariana, Rio Igrapiúna, Rio do Engenho, Rio Una, Rio Caranguejo, Rio Piau, Riacho do Meio, Riacho Caboclo, Riacho da Barriguda, Riacho da Areia (INEMA, 2014).

De acordo com o INEMA (2014), a RPGA X está localizada no centro oeste baiano, possui uma área de 54.877 km<sup>2</sup> ocupando 10% do território da Bahia e abrangendo 86 municípios da Bacia do Paraguaçu, sendo que esses municípios possuem suas áreas territoriais (At) totalmente ou parcialmente inseridos na RPGA, conforme Tabela 4.6:

Tabela 4.6–Percentual por área territorial

Área territorial (%)	Quantidade de municípios
=100	40
At >60	14
40 > At < 60	14
At < 40	18
Total	86

Fonte: Adaptada INEMA, 2014

O clima predominante é o Semi-Árido correspondendo a um área de 67% com chuvas anuais de 700 mm, porém na parte superior da região, o clima torna-se mais ameno, passando a ser subúmido a seco, os totais pluviométricos chegam a atingir 1200mm (INEMA, 2014).

A RPGA X possui uma cobertura vegetal com remanescentes de florestas estacionárias, vegetação de Caatinga, espécies florestais secundárias da Mata Atlântica e campos rupestres, com predominância, em algumas áreas, de pastagens e tendo como principais rios: Jacuípe, Santo Antônio, Utinga, Cochó, Una e Capivari (INEMA 2014). Vale ressaltar que o município de Cruz das Almas contempla 10 riachos, Capivari, de Tomaz, Jaguaripe, Caminhoá, Poções, Araçás, da Estiva, Laranjeira e as lagoas da Tereza

Ribeiro e do Engenho da Lagoa, que fazem parte das vertentes do rio Paraguaçu (FONSECA, 2011).

#### 4.1.4 LEGISLAÇÃO MUNICIPAL

A lei complementar nº 12 de dezembro de 2008 do município de Cruz das Almas dispõe sobre o plano diretor, revoga as leis complementares nº 03 e 04 de 19 de dezembro de 2001, e dá outras providências.

O artigo 15, da referida lei, especifica as diretrizes para a saúde sendo uma delas: a universalização dos serviços de saneamento básico mediante a busca de soluções técnicas compatíveis com a realidade local, bem como a busca de soluções alternativas para implantação de esgotamento sanitário e oferta de água potável nas áreas com maior incidência de doenças ou onde o sistema convencional não seja viável.

No planejamento urbano não se observa a preocupação com a drenagem urbana, como um dos fatores contribuintes para a incidência de doenças de veiculação hídrica.

O artigo 18 traz a preocupação com o uso e controle do solo para a preservação do meio ambiente, fator esse que poderá contribuir para a elaboração de projetos de drenagem. Dispõe sobre as diretrizes gerais da qualificação ambiental, nos incisos I e II, respectivamente, discorre sobre a qualificação do ambiente urbano e rural através da implementação de programas e projetos que reduzam ou eliminem os efeitos da degradação ambiental no cotidiano das comunidades do Município e protejam o patrimônio natural, bem como o manejo adequado das áreas agrícolas e das áreas de transição urbano-rural com o controle do uso do solo.

A lei orgânica do município de Cruz das Almas é uma lei ampla, a qual aborda diversos fatores para o crescimento da região, bem como uma melhoria na qualidade de vida e manutenção da fauna, flora e dos recursos hídricos.

O artigo 19 estabelece as diretrizes específicas da qualificação e proteção ambiental:

- I – promoção da gestão dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos com vistas ao estabelecimento de critérios, normas, parâmetros e diretrizes para a recuperação, preservação e conservação dos recursos hídricos, através da

execução de medidas de prevenção e controle nas atividades econômicas, envolvendo:

a) a identificação, mapeamento e diagnóstico das nascentes;

b) proteção dos recursos hídricos;

d) adequação do saneamento básico ao novo marco regulatório de saneamento referente à Lei Federal 11.445/2007, com ênfase para a implantação, conclusão e operação dos sistemas de esgotamento sanitário da sede e zona rural;

d) educação ambiental sobre a gestão dos recursos hídricos.

V – gestão adequada da qualidade ambiental do saneamento básico do Município, destacando-se os resíduos sólidos, líquidos, bem como substâncias tóxicas, de forma a melhorar as condições habitacionais e de saneamento no Município, compreendendo as seguintes ações:

b) implantação de sistema de esgotamento sanitário e melhoria do sistema de drenagem das águas pluviais;

Art. 20. As diretrizes gerais e específicas de qualificação ambiental deverão ser implementadas através dos seguintes programas e projetos, detalhados no Anexo VI desta Lei e priorizados na seguinte ordem:

I – Programa para estabelecimento de critérios, normas, parâmetros e diretrizes para a recuperação, preservação e conservação dos recursos hídricos, Projeto de recuperação das vertentes dos morros desestabilizadas por ocupações irregulares, Projeto Parques Urbanos, Programa de saneamento básico e controle da qualidade ambiental nas áreas urbanas e Projeto de abastecimento de água nas comunidades rurais e construção de unidade sanitária nas habitações da zona rural;

II – Projeto de recuperação das planícies de inundação, Projeto de implantação de faixas de proteção hídrica ao longo dos cursos d'água principais, Projeto de recuperação e preservação das áreas das fontes e nascentes e Programa de controle de ruído e qualidade do ar.

A lei orgânica, ainda, apresenta instrumentos que tem o objetivo de contribuir para a salubridade do meio ambiente, bem como da população residente, evitando principalmente os aglomerados urbanos desordenados, sendo abordados a seguir alguns princípios:

-controle da ocupação urbana da área conhecida como “Além – BR” (Pumba e Toquinha) e das localidades Sapucaia e Embira;

-divisão do município em zonasfavorecendo o controle da expansão urbana, assim como a preservação ambiental (Figura 4 -23)

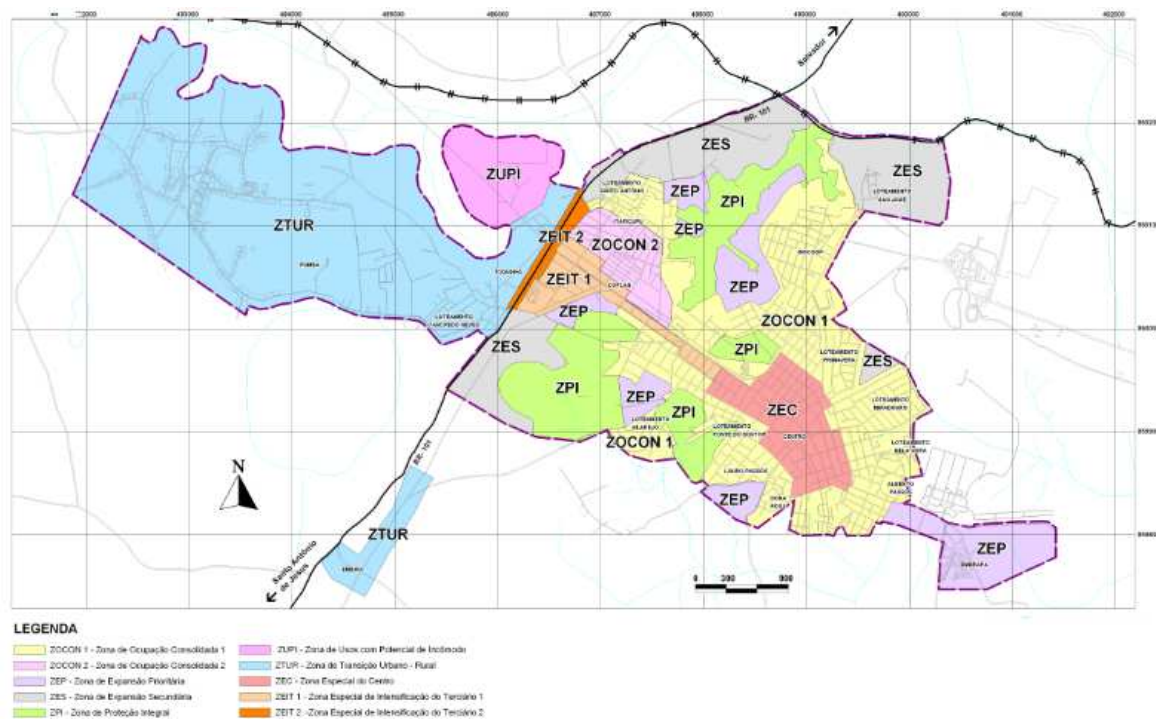


Figura 4-23: Divisão das Zonas do município

Fonte: Cruz das Almas. Prefeitura Municipal.Secretaria Municipal

As zonas compreendem os bairros ou áreas com características distintas, cada zona tem por objetivo manter uma determinada área ou prever área de expansão para que o município possa crescer de forma sustentável e igualitária. As zonas têm suas especificidades, conforme a lei complementar do município, especificada abaixo:

I – Zona de Ocupação Consolidada (ZOCON): compreende os bairros e nucleações já consolidados no que diz respeito ao tempo de ocupação, infraestrutura e serviços disponíveis, sendo subdividas em ZOCON 1 e ZOCON 2, de acordo com a definição de parâmetros urbanísticos diferenciados;

II - Zona de Expansão Prioritária (ZEP): compostas por áreas em processo de consolidação e próximas à porção mais estruturada da cidade e que, portanto, devem ser prioritariamente ocupadas de forma a concentrar a oferta de equipamentos e elementos da estrutura urbana;

III - Zona de Expansão Secundária (ZES): áreas com tendência de intensificação da ocupação em médio prazo e que, embora não apresentem restrições ambientais significativas à ocupação, demandam custos maiores de implantação da infra-estrutura e provisão dos serviços urbanos;

IV - Zona de Transição Urbano-Rural (ZTUR): áreas onde se pretende manter as condições atuais de ocupação, inclusive com a mesma densidade, em razão de limitações de ordem físico-ambiental e de implantação de infra-estrutura, abrangendo as localidades de Embira, Sapucaia, Toquinha/ Tancredo Neves, Loteamento Lisboa e Pumba;

V - Zona de Proteção Integral (ZPI): áreas de importância ambiental e paisagística da cidade que necessitam de ações de preservação e recuperação como: vale do Riacho Rebouças e entorno, Mata do Cazuzinha e as formações florestais ao norte da mesma, e a área onde está localizada a Fonte do Doutor;

VI - Zona de Usos com Potencial de Impacto (ZUPI): área onde são previstas intervenções e/ou atividades causadoras de impacto, seja pelo seu potencial poluente (por ruído, por comprometer a qualidade do ar e/ou dos demais recursos naturais), seja por provocarem conseqüências indesejáveis à estrutura urbana, como a capacidade de atração de pessoas e veículos, ou por caracterizar tipo de ocupação ou uso restrito;

VII - Zona Especial do Centro (ZEC): zona situada na porção central da cidade, estendendo-se às proximidades da Avenida Getúlio Vargas, passível de um maior adensamento construtivo e de maior diversificação de usos de serviços e comerciais;

VIII – Zona Especial de Intensificação do Terciário (ZEIT): compreende as zonas onde já se observa a existência de atividades comerciais de serviços e onde se propõe a intensificação desses usos de forma ordenada e dentro os parâmetros estabelecidos, sendo subdividas em ZEIT 1 e ZEIT 2, definidas a partir das características e tendências do uso e ocupação existentes, definidas a seguir:

a) ZEIT 1: faixa localizada à margem da Av. Getúlio Vargas onde já se verifica a tendência à implantação de empreendimentos de comércio e serviços, de fácil acesso a nível intermunicipal;

b) ZEIT 2: faixa localizada às margens da BR-101.

IX - Zona Especial de Interesse Social (ZEIS): zonas destinadas à produção e manutenção de habitação de interesse social, visando qualificar os espaços como favelas, assentamentos precários, loteamentos irregulares ou clandestinos e outras formas de moradia precária, devendo atender à função social da moradia para fins de habitação de interesse social.

## 4.2 -CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 4.2.1 ÁREA PRÉ URBANIZADA

A área de estudo está localizada às margens da rodovia BR-101, Km 225, nas coordenadas geográficas correspondentes a 12°40'47'' de latitude Sul e 39°08'29'' de longitude Oeste com altitude de 208 metros, no Bairro Embira., como destacado na Figura- 4-24



Figura-4-24-Área original onde se implantou o Residencial Imbira I e II

Fonte: Adaptado Google Earth, 2014

O empreendimento possui uma área de drenagem correspondente a 76.093,25 m<sup>2</sup> (Tabela 4.7), com construção de sobrados residenciais unifamiliares, constituídos com dois pavimentos com quatro apartamentos cada um. Quanto à legislação municipal aplicável ao uso, ocupação e parcelamento do solo do município de Cruz das Almas vale ressaltar que o empreendimento, exclusivamente de interesse social, pertence a área à zona de transição urbana rural (ZTUR), em conformidade com as características dessa área (MELO FILHO, 2012).

Tabela 4.7 - Característica fisiográficas da área de estudo

DESCRIÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO	
Altitude máxima*	194 m
Altitude mínima*	182 m
Área de drenagem	0,76 Km <sup>2</sup>
Comprimento do percurso d'água	315m
Declividade do terreno	0 e 10%
* com referência ao nível do mar	

Fonte: Próprio Autor

#### 4.2.1.1 Relevo

O relevo regional do entorno do Residencial Jardim Imbira I e II apresenta-se plano com suaves ondulações, sendo o relevo local do empreendimento suave ondulado, com declividade entre 0 e 10%(MELO FILHO, 2012). A Figura 4 -25 ilustra a declividade aparente do terreno

A inclinação favorece o escoamento superficial e o surgimento de erosão laminar ligeira, aliado a esse fator tem-se a exposição do solo às intempéries. Trata-se de processo pouco significativo, sem necessidade de controle específico para o uso pretendido (MELO FILHO, 2012).



Figura 4-25- Declividade do terreno

Fonte: Melo Filho, 2012.



#### 4.2.1.2 Solo

O solo da área de implantação do Jardins Imbira I II foi classificado através da abertura de duas trincheiras. Para tanto, foram descritos 02 perfis de solos, os quais permitiram identificar solos minerais não arenosos, profundos, com fertilidade natural baixa. Não se identificou processos pedogenéticos específicos que os diferenciasssem daqueles predominantes no entorno da área (MELO FILHO, 2012). A hidrografia do terreno considerou-se a mesma do município cruzalmense

#### 4.2.1.3 Flora e Fauna

Anteriormente à implantação do Residencial a área funcionou como fazenda para criação semi intensiva e com baixo nível tecnológico de bovinos e suínos por um extenso período de tempo, em razão a essa exploração a vegetação da área foi totalmente suprimida para a utilização da pastagem (MELO FILHO, 2012). Como pode ser observada Figura 7, a vegetação apresentava baixa diversidade biológica, com predominância de capim

Desta forma para a construção do residencial não houve a necessidade de supressão de vegetação, remoção de morros e ou aterro de áreas de interesse para a preservação do meio ambiente



Figura 4-26- Vegetação da gleba.

Fonte: Melo Filho, 2012

Em consequência do uso anterior, criação de gado, não foi encontrada na área exemplares de animais, aves e mamíferos ou outras espécies da fauna da região. (MELO FILHO, 2012).

#### 4.2.2 ÁREA URBANIZADA (CONCEPÇÃO URBANÍSTICA)

A gleba do Jardins Imbira I II possui uma área total de 76.093,25 m<sup>2</sup>, que por sua vez

está dividida em área residencial: Jardins Imbira I e II, com 33.750,11 m<sup>2</sup> e 34.881,20 m<sup>2</sup>, respectivamente; Área institucional: 01, 02 e 03, com 1.284,15 m<sup>2</sup>, 1.492,15 m<sup>2</sup> e 2.693,14 m<sup>2</sup>, respectivamente e Área comercial: 00 com 1.992,50 m<sup>2</sup>, ocupando assim 100% da gleba.

O empreendimento conta com seiscentas unidades residenciais, sendo trezentas unidades para cada residencial. A área institucional será destinada à instalação de infraestruturas municipais de apoio e atendimento às demandas da população residente, como por exemplo: escola, posto de saúde, creche, etc. Tendo em vista que o residencial será de grande impacto na economia local, pelo aumento da demanda por serviços, a área comercial será destinada a instalação de empreendimentos comerciais. Com relação ao convívio social e a organização dos residentes foram construídos dois centros comunitários e duas quadras poliesportivas, ver Figura 4-27.



Figura 4-27- Planta baixa.

Fonte: Serrano (2013)

Ainda em relação à urbanização do terreno, a divisão do mesmo baseou-se em quadras de tamanho similar interligadas por ruas de sete metros de largura, compondo uma área de 1.2193,59 m<sup>2</sup> pavimentadas com paralelepípedos, delimitadas por passeio com largura de 1,5 m de largura e área de 5.122,5 m<sup>2</sup> e uma área gramada com 0,5 m de largura ocupando um total de 1.707,5 m<sup>2</sup>, da gleba. Na Figura 4-28 observa-se a pavimentação, passeio e faixa gramada.



Figura 4-28- pavimentação, passeio e faixa gramada

Fonte: A autoria própria

Em atendimento à legislação destinou-se 36.335,65m<sup>2</sup> (47,75% da área total), para a implantação de áreas verdes, praças e de servidão, espaçosessesse que possibilitam a infiltração das águas pluviais.

### **4.3 DELIMITAÇÃO E CÁLCULO DAS ÁREAS**

As áreas do empreendimento foram obtidas com auxílio do programa de imagens em satélite Google Earth e do acesso às plantas e projetos referentes à obra do empreendimento Jardins Imbira I e II.

#### **4.3.1 ÁREA PRÉ URBANIZADA**

No Programa utilizou-se a ferramenta “adicionar marcador” e inseriu-se marcadores indicando as coordenadas geográficas obtidas no Estudo Ambiental do Empreendimento Jardins Imbira I e II. Com isso foi possível delimitar o polígono referente à área total do empreendimento.

A análise da imagem do local antes da construção do empreendimento possibilitou a identificação diferentes tipos de cobertura do solo. Com isso foram traçados polígonos a partir da ferramenta “adicionar polígono” referentes aos diferentes tipos de cobertura do solo.

Os polígonos obtidos no Google Earth no formato kmz foram transformados para shapefile e utilizados no Programa ArcGis. A tabela de atributos possibilitou o cálculo das áreas de cada polígono com fragmentos de vegetação arbustiva.

#### 4.3.2 ÁREA URBANIZADA

As áreas do empreendimento foram obtidas a partir da análise das plantas do projeto arquitetônico.

#### 4.4 CÁLCULOS DAS VAZÕES

O cálculo das vazões foi realizado pelo método Racional, recomendável para áreas de até 3 km<sup>2</sup>.

$$Q=0,00278 * C * i * A \quad \text{Equação 6}$$

Onde,

Q= vazão (m<sup>3</sup>/s);

C= coeficiente de escoamento superficial;

i= intensidade da chuva (mm/h)

A= área da bacia contribuinte (ha)

##### 4.4.1 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (C)

De acordo com RECESA (2007), para a determinação do coeficiente de escoamento superficial diversos fatores são levados em consideração, tais como, tipo, ocupação, umidade do solo, antecedente e intensidade pluviométrica. A determinação desse coeficiente deve ser criteriosa observando as condições da superfície e ocupação do solo, Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Valores do coeficiente “C” em função do tipo de superfície

Superfície	C	
	Intervalo	Valor esperado
Pavimento		
Asfalto	0,70 - 0,95	0,83
Concreto	0,80 - 0,95	0,88
Calçadas	0,75 - 0,85	0,8
Telhado	0,75 - 0,95	0,85
<b>Cobertura: grama, arenoso</b>		
Plano (2%)	0,05 - 0,10	0,08

Declividade Média (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
Declividade Alta (7%)	0,15 - 0,20	0,18
<b>Grama, solo pesado</b>		
Plano (2%)	0,13 - 0,17	0,15
Declividade Média (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,2
Declividade alta (7%)	0,25 - 0,35	0,3

Fonte: ASCE (1969) *apud* RECESA (2007)

#### 4.4.2 INTENSIDADE DE CHUVA (I)

A intensidade de chuva foi calculada a partir da curva Intensidade, Duração e Frequência (IDF) do município de Cruz das Almas (MATOS, 2006).

$$I = \frac{A}{(tc+c)^b} \quad \text{Equação 7}$$

Onde,

Tc= tempo de concentração

A, b = são parâmetros regionais que dependem apenas do Tr

##### 4.4.2.1 Cálculo dos coeficientes

$$A = d(Tr)^k \quad \text{Equação 8}$$

Onde,

D, k e c= são parâmetros que descrevem características locais

d= 1217,1

k= -0,2661

c=9,

$$b = m(Tr)^n \quad \text{Equação 9}$$

Onde,

m= 1,14

n= -0,2622

Tr= tempo de retorno

Para o cálculo das vazões considerou-se dentre os tempos de retorno recomendados para estruturas de micro drenagem, 5 e 10 anos afim de ter dois cenários distintos para comparação das vazões encontradas.

#### 4.4.2.2 Cálculo do tempo de concentração (Tc)

O tempo de concentração foi calculado a partir da equação desenvolvida pelo DNOS e apresentada no Manual de Hidrologia Básica para estruturas de drenagem elaborado pelo DNIT no ano de 2005.

$$T_c = \frac{\frac{10}{K} * A^{0,3} * L^{0,2}}{I^{0,4}} \quad \text{Equação 10}$$

Sendo, tc=tempo de concentração em minutos;

A= área da bacia, em ha;

I=declividade, em %; e

K= depende das características da bacia, conforme descrito a seguir:

- Terreno areno-argiloso, coberto de vegetação intensa, elevada absorção...K=2,0
- Terreno comum, coberto de vegetação, absorção apreciável.....K=3,0
- Terreno argiloso, coberto de vegetação, absorção média.....K=4,0
- Terreno argiloso coberto de vegetação média, pouca absorção.....K=4,5
- Terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção.....K=5,0
- Terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção.....K=5,5

A escolha o valor do “K” foi feita de forma que representasse,o mais real possível, a área estudada.Dessa forma adotou-se para a área pré-urbanizada um valor para K=3,0, considerando que o solo tinha uma absorção apreciável e na área urbanizada um valor de K=5,5, referente a uma absorção reduzida.

A declividade foi calculada de duas maneiras distintas para área pré urbanizada e para a área urbanizada. Isso porque a área pré urbanizada apresentou um terreno com topografia considerada regular.A distância adotada para o cálculo do Tc e da declividade

foi a diagonal do terreno, medida pelo Google Earth. Para a área urbanizada por ter sofrido modificações de declividade com as movimentações de terra(corte e aterro) para a construção do empreendimento, calculou-se a declividade equivalente, considerando os diversos trechos,e suas declividades correspondentes, delimitados por estacas e o comprimento foi medido na planta (ver no apêndice,).

**a) Área pré urbanizada**

$$I = \frac{CM - CJ}{L} \quad \text{Equação 11}$$

CM= cota a montante

CJ= cota a jusante

L= comprimento do talvegue

**b) Área urbanizada**

Segundo Machado (2013) a fórmula de Chézy aponta o tempo sendo uma função do inverso da raiz quadrada da declividade, com a equação a seguir obtém a declividade equivalente constante:

$$I_e = \left( \frac{L}{\left( \sum l_j * i_j^{\frac{-1}{2}} \right)} \right)^2 \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

I<sub>e</sub>= declividade equivalente, em m/m;

L=comprimento total, em m;

l<sub>j</sub>= comprimento de cada subtrecho, em m;

i<sub>j</sub>=declividade de cada subtrecho, em m.

**4.5 CALCULO DO VOLUME EXCEDENTE**

Devido à impermeabilização da área haverá um incremento no volume excedente, o qual poderá causar impacto a jusante. Com o intuito de manter o mesmo volume superficial anteriormente escoado, como sugerido por Tucci e Genz (1995), foi calculado o

aumento do volume de escoamento superficial gerado no residencial Jardins Imbira I II para os tempos de retorno correspondentes a 5 e 10 anos.

De acordo com Tucci (1998), apud Oliveira, Menezes Filho, Costa (2007), calculada a vazão excedente (Q) constrói-se o hidrograma do volume do escoamento superficial, ver Figura 4-29. O cálculo do volume pode ser feito simplificando as estimativas de tempo de pico (tp) e de tempo de base (tb), e colocando as duas em função do tempo de concentração tc:

$$t_p = T_c \quad \text{Equação 13}$$

$$t_b = 2 T_c \quad \text{Equação 14}$$

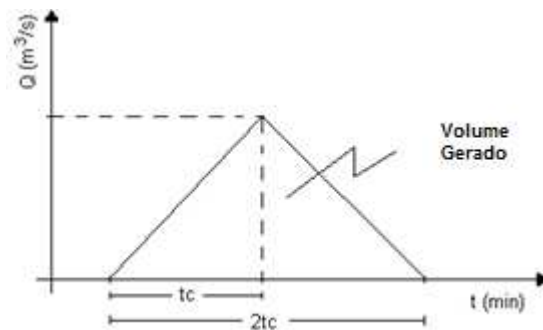


Figura 4-29: Hidrograma triangular do volume de armazenamento

Fonte: Adaptado ReCESA 2007

Sendo assim, com posse das vazões máxima de projeto da área do empreendimento, nos períodos de retorno estabelecidos, calculou-se os volumes para as duas condições pré urbanizada e urbanizada, conforme a equação 11.

Os volumes gerados são diretamente proporcionais as vazões geradas, salientando que os mesmos estão condicionados apenas ao tempo de concentração.

A utilização do tempo de concentração igual a 5 minutos, para a chuva de projeto também torna-se viável para a simplificação dos cálculos, entretanto neste estudo utilizou-se o tempo de concentração calculado (AZEVEDO NETTO ET AL.,1998).

O volume de armazenamento é dado pela seguinte expressão:

$$Vol = \frac{Q * 2tc}{2} \quad \text{Equação 15}$$



$$Vol = Q * t_c$$

Equação 16

Onde:

Vol = volume do escoamento superficial (m<sup>3</sup>)

Q = vazão máxima de entrada (m<sup>3</sup>/s)

Tc = tempo de concentração = tempo, será igual ao tempo de duração da chuva t (s)

Na tentativa de minimizar os impactos gerados decorrentes da impermeabilização do residencial serão dimensionados reservatórios de retenção que terá como destinação final a sua utilização para fins não potáveis, como a rega das áreas verdes.

#### **4.6 LOCALIZAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS**

Optou-se pela construção de dois reservatórios de modo que favoreça a realização de manobras em caso de manutenção dos reservatórios. A sugestão de localização do reservatório foi feita analisando-se a topografia do terreno para garantir o escoamento das águas pluviais por gravidade.

Para o dimensionamento dos reservatórios foram considerados apenas os volumes excedentes, ou seja, a diferença entre o escoamento superficial gerado nos dois cenários, pré-urbanização e na área urbanizada com tempos de retorno de 5 e 10 anos. A escolha apenas do volume excedente para o armazenamento foi devido ao interesse de manter a vazão de jusante, conforme sugerido por Tucci e Genz (1995) e manter o ciclo hidrológico, uma vez que a área de estudo, assim como qualquer outra área tem sua contribuição para a manutenção da fauna e flora de um habitat.

Para a definição das dimensões dos reservatórios levou em consideração o formato retangular e uma altura razoável para manutenção, de 1,90 m. Já para as dimensões da base buscou-se um comprimento maior que a largura de forma que o reservatório possuísse dimensões retangulares.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 DELIMITAÇÃO E CÁLCULO DAS ÁREAS

#### 5.1.1 ÁREA PRÉ URBANIZADA

A área delimitada em vermelho indica a área total do empreendimento, enquanto que as áreas em azul referem-se aos 5 polígonos com resquícios de vegetação arbustiva, conforme Figura 5-30.

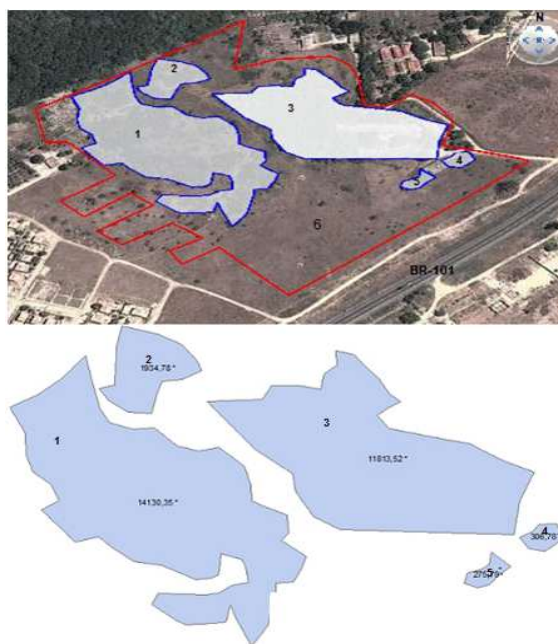


Figura 5-30 – Polígonos referentes à cobertura do solo

Fonte: Adaptado Google Earth (2014)

Os valores das respectivas áreas estão descritos na Tabela 5.9, conforme calculado.

Tabela 5.9 – Áreas pré urbanizadas

Polígono	Cobertura	Área (m <sup>2</sup> )
1	Arbustiva	14.130,35
2	Arbustiva	1.934,78
3	Arbustiva	11.813,52
4	Arbustiva	275,79
5	Arbustiva	306,78
6	Pastagem	47.600,14

Fonte: Próprio Autor

A área de pastagem foi obtida a partir da diferença entre a área total do empreendimento e a soma das áreas arbustivas calculadas.

A Tabela 5. 10 apresenta faixas de valores para o coeficiente de escoamento superficial. A partir dessas faixas foram adotados os valores de 0,2 para a área de pastagem e 0,13 para a área arbustiva. A partir das porcentagens e valores de “C” para cada área obteve-se um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,17.

Tabela 5. 10 – Valores de “C” adotados para a área pré urbanizada

Área	Uso do solo	Área da gleba (M <sup>2</sup> )	%	C
1	Pastagem	47600	62,58	0,2
2	Área arbustiva	28.461,22	37,42	0,13
ΣT		76.061,22	100	
			C̄	0,17

Fonte: Próprio Autor

### 5.1.2 ÁREA URBANIZADA

De acordo com o projeto arquitetônico do Residencial Jardins Imbira I e II, as áreas do empreendimento estão descritas. Na área urbanizada foram identificadas 10 áreas com coberturas diferentes de solo, para cada uma delas foi adotado um valor de “C”, sendo que o “C” médio resultou em 0,5, como pode ser observado na Tabela 5 .11.

Tabela 5.11 - Valores de “C” adotados para a área urbanizada

Áreas	Uso e ocupação do solo	Jardins Imbira I (m <sup>2</sup> )	Jardins Imbira II (m <sup>2</sup> )	Total (ha)	%	C
Área de construção das unidades habitacionais	Concreto/telhados	7.309,27	7.310,19	1,46	19,22	0,85
Área de domínio público	Áreas verdes, praças e servidão	17.635,48	18.700,17	3,63	47,77	0,13
	Área do sistema viário-rolamento (Paralelepípedo)	6.066,30	6.127,29	1,22	16,03	0,8
	Áreas de passeios	2.559	2.563,50	0,51	6,73	0,88
	Centro comunitário	120,06	120,06	0,02	0,32	0,85
	Arquibancada	60	60	0,01	0,16	0,88
Área institucional + área comercial	Área institucional 1	3.142,76		0,31	4,13	0,88
	Área institucional 2	1.546,83		0,15	2,03	0,88
	Área institucional 3	908,89		0,09	1,19	0,88
	Área comercial	1.831,56		0,18	2,41	0,88
<b>Σ ÁREA TOTAL O EMPREDIMENTO</b>		76.061,36		7,61	100	
					<b>C̄</b>	0,50

## 5.2 CÁLCULOS DAS VAZÕES

O cálculo das vazões envolveu a definição de diversos parâmetros e cálculo de alguns fatores intervenientes.

### 5.2.1 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O cálculo do tempo de concentração, foi realizado a partir da equação 5, que independe do período de retorno. Foram considerados dois cenários pré e pós implantação do empreendimento, os valores obtidos estão dispostos na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Tempos de Concentração

Tc Pré-urbanizada (min)	12,1
Tc Urbanizada (min)	6,5

Fonte: Próprio Autor

A partir dos resultados pôde-se perceber que o tempo de concentração sofreu um acentuado acréscimo no tempo de concentração da área pré urbanizada para a área urbanizada uma vez que a velocidade de escoamento das águas depende da superfície de contato. No caso do residencial a impermeabilização do solo natural a partir das construções ocasionou a redução do atrito entre a superfície e a água escoada, elevando assim a sua velocidade de escoamento e conseqüentemente a redução no Tc,

A intensidade da chuva é influenciada tanto pelo tempo de retorno quanto pelo tempo de concentração, para o efeito de cálculo com a duração da chuva para os tcs obtidos, chegou-se às intensidades de precipitação conforme equação 7. Percebeu-se aí as alterações nos valores para as áreas pré urbanizada e urbanizada para os tempos de retorno de 5 e 10 anos, ver Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Intensidades de chuva

	<b>Tr= 5 anos</b>	<b>Tr= 10 anos</b>
Intensidade da chuva -Pré-urbanizada (mm/h)	81,23	98,64
Intensidade da chuva- urbanizada (mm/h)	102,27	119,53

Fonte: Próprio Autor

De posse dos dados de intensidade de precipitação de projeto, calculou-se a vazão máxima a jusante do empreendimento método racional, a partir da equação 06. As vazões calculadas para a área ocupada pelo empreendimento e antes da ocupação podem ser conferidas na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Vazões de escoamento

	Tr= 5 anos	Tr= 10 anos
Vazão Pré-urbanizada(m <sup>3</sup> /s)	0,27	0,33
Vazão Urbanizada(m <sup>3</sup> /s)	1,09	1,27

Fonte: Próprio Autor

Com a impermeabilização das áreas a quantidade de água escoada foi significativamente maior, para um mesmo período de retorno, uma vez que a área urbanizada apresenta impermeabilização de superfícies, reduzindo a capacidade de infiltração.

A impermeabilização se deu em decorrência de mudanças na cobertura o solo, como as construções das vias de rolamento, construção dos blocos residenciais, centro comunitários, etc. Resultando em aumento de aproximadamente 53% de área impermeabilizada em relação ao cenário de referência (antes a implantação do empreendimento). Com isso a vazão de escoamento foi acrescida em 0,82 m<sup>3</sup>/s para o tempo de retorno de 5 anos e 0,94 m<sup>3</sup>/s para o tempo de retorno de 10 anos.

Esse resultado reforça o que muitos autores já vêm discutindo. Tocantins (2010) ressalta que os efeitos da urbanização, sobre as respostas na bacia de drenagem, proporcionam um incremento nas vazões geradas, bem como o tempo de trânsito das águas. De acordo com Leopold (1968, apud Tucci e Collischonn, 1998) a urbanização pode gerar grandes aumentos das vazões máximas, esse valor pode chegar até 7 vezes mais, a depender da situação.

De acordo com Tucci (2000) a impermeabilização do arruamento produz aumento do volume e do coeficiente de escoamento de 260 % e a cada acréscimo de 13% de área impermeável no lote tem-se um aumento de 115 % no coeficiente de escoamento.O referido autor diz que esses números são valores médios e que dependem de toda uma

análise da área de estudo, contudo permite analisar o impacto quantitativo da urbanização sobre a dinâmica da água na bacia hidrográfica.

Os resultados encontrados para o estudo de caso residencial jardins Imbira I II estão em sintonia com os estudos realizados pelos autores citados. O aumento na vazão sobre a superfície da área do residencial corresponde a 303,7% e 284,84% para os tempos de retorno  $Tr=5$  anos e  $Tr=10$  anos respectivamente. A grandeza de incremento de vazão apresentada por Tucci (2000) mostrou-se inferior ao encontrado no presente estudo. A diferença pode ter ocorrido por diversos motivos, um deles é o fato desse autor se referir apenas ao arruamento enquanto que para essa pesquisa foram consideradas todas as áreas impermeabilizadas, como áreas de lazer, institucional, comercial, habitacional, etc. Outro fator significativo é o tamanho da área, variável para cada caso estudado. É importante ressaltar que a urbanização ocasiona aumento considerável nas vazões de escoamento das águas pluviais.

A partir das análises dos resultados percebeu-se que os aumentos de vazão já são grandezas conhecidas pela literatura. Dessa forma, deve-se atentar para este fato. Uma vez que esse aumento causará impacto na dinâmica hidrológica natural a jusante do empreendimento.

Para a minimização dos impactos gerados pela impermeabilização do residencial Tucci e Genz (1995) dizem que se pode utilizar medidas sustentáveis que buscam o controle do escoamento na fonte através da recuperação da capacidade de infiltração ou da detenção do escoamento adicional gerado pelas superfícies impermeabilizadas urbanas. O princípio fundamental de controle é que qualquer novo empreendimento deve manter as condições naturais pré existentes de vazão para um determinado risco.

### **5.3 CALCULO DO VOLUME ESCOADO**

De acordo com Tucci (2000), a cada 10% de incremento de área impermeável existem um aumento no coeficiente de escoamento e no volume de cheia em torno de 100%. A Tabela 5.15 mostra o aumento em número de vezes frente à condição rural. Uma vez que o volume está ligado diretamente com a vazão nota-se que houve um aumento no escoamento superficial para os dois cenários, pré urbanização e urbanização, com os diferentes tempos de retorno.

Tabela 5.15- Aumento do volume escoado

Área impermeável no lote (%)	Aumento do volume de escoamento em relação condição rural
7,0	2,1
20,0	3,2
33,3	4,3
46,7	5,4
60,0	6,4
73,3	7,5
80	8,6

Fonte: Tucci (2000)

No caso do Residencial Imbira I e II foram encontrados aumentos de volumes na ordem de 2,2 e 2,1 para os tempos de retorno de 5 e 10 anos respectivamente (Figura 5 - 31).

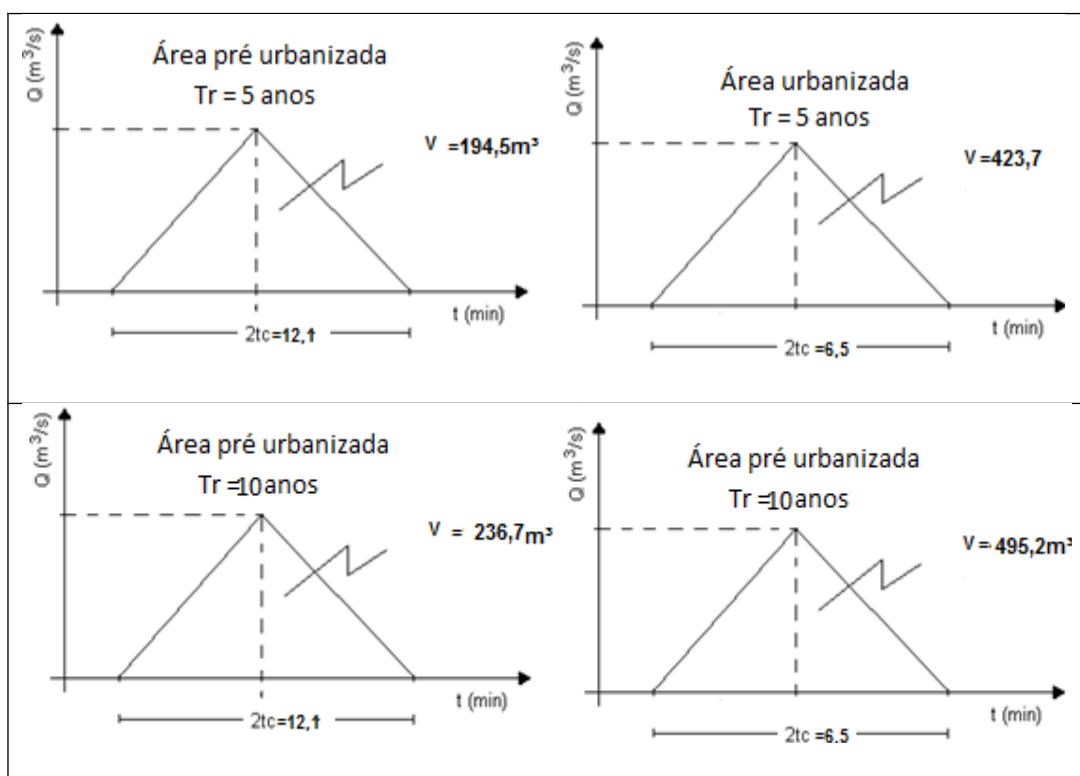


Figura 5-31- Hidrograma do volume gerado superficialmente,

Fonte: Adaptado ReCESA 2007 (2007)



Os valores encontrados por Tucci (2000) existe uma diferença nos valores calculados pelo presente trabalho deve ser a diversos fatores, dentre eles pode ser os valores escolhidos dos “Cs”, a dimensão da bacia estudada pelo autor poderia ter maiores dimensões.

Como mencionado anteriormente, o aumento do volume de água escoado pode ocasionar diversos impactos sobre a área em questão. Dessa forma é importante atentar para esses efeitos da urbanização e consequente impermeabilização dos solos.

#### **5.4 IMPACTOS AMBIENTAIS**

De acordo com Tomaz (2006) o lançamento de águas provenientes da drenagem urbana sobre um corpo receptor causa grandes impactos, uma vez que água apresenta certo grau de carga poluidora, podendo conter grandes quantidades de nutrientes como também óleos, graxas, microrganismos patogênicos, assim como favorecer o surgimento de doenças de veiculação hídrica.

A esse tipo de poluição pela drenagem natural das águas de chuva, sem direcionamento pontual, atribui-se o tipo de poluição denominada difusa. Tomaz (2006) diz que existem três formas de controlá-las:

1. Prevenir a entrada de poluentes no Runoff, através da redução de tráfego de veículos, não jogar lixo nas ruas, não jogar óleos e graxas nas ruas, são as chamadas BMP (*Best Management Practices*), são medidas não estruturais;
2. Aumentar as áreas permeáveis, esse tipo de controle se torna mais eficiente quando previsto na fase de construção, que também é chamado de BMP não-estrutural;
3. Tratar o runoff através de BMPs, e também antes que a carga poluidora atinja os corpos d'água deve ser feito o tratamento através dos BMPs estruturais.

Reforçando o que foi citado por Tomaz (2006), Tucci e Collischonn (1998) dizem que as águas de drenagem trazem consigo uma carga de poluentes agregada aos sedimentos além de causar impactos físicos. A associação de poluentes tóxicos com materiais finos produz redução da qualidade da água. Da mesma forma que os depósitos de sedimentos associados com esgotos sanitários, devido às interligações clandestinas dos sistemas pluviais com as redes de esgoto, são fontes de ocorrência de degradação anaeróbia nas redes de drenagem.

No empreendimento Residencial Imbira I e II as áreas mais afetadas são os próprios arruamentos que deverão suprir toda a necessidade de condução das águas de chuva para as áreas mais baixas. Além da área que receberá toda a contribuição do aumento o escoamento, sinalizada na Figura 5-32.



Figura 5-32 – Fluxo da água de drenagem do residencial

Fonte: Adaptado Google Earth (2014)

Atualmente é de grande importância a utilização de medidas sustentáveis que buscam o controle do escoamento na fonte através da recuperação da capacidade de infiltração ou da detenção do escoamento adicional gerado pelas superfícies impermeabilizadas urbanas. (TUCCI; GENZ, 1995).

#### 5.4.1 DIMENSIONAMENTO E LOCALIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO

Analisando a área do empreendimento percebeu-se que o local onde está implantada a quadra poliesportiva apresenta as menores cotas, logo seria o local ideal para garantir o escoamento das águas pluviais por gravidade. Dessa forma optou-se por sugerir a construção dos reservatórios abaixo da superfície da quadra.

As dimensões de projeto dos reservatórios dependerão do volume de água a serem armazenados, os volumes encontrados para o presente estudo estão explícitos na Tabela 4.7.

Tabela 5.16 - Volume para reserva

	TR= 5 anos	TR= 10 anos
$V_{\text{Excedente}} \text{ (m}^3\text{)}$	229,00	258,8

Fonte: Próprio Autor

Os locais sugeridos para a construção dos reservatórios serão as duas quadras poliesportivas, ver Figura 5-33.

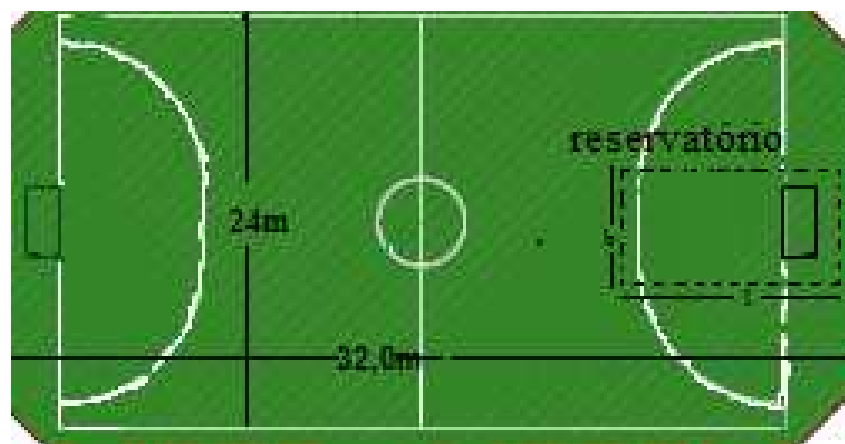


Figura 5-33 - representação das dimensões do reservatório e localização

Fonte: Serrano (2013)

Tabela 5.17 - Dimensões do reservatório

	Altura(h)	Área da base	
		l(m)	b (m)
TR= 5 anos	1,9m	10	6,03
TR= 10 anos	1,9m	10	6,81

Fonte: Próprio Autor

## 5.5 PROPOSTAS PARA UTILIZAÇÃO DO VOLUME EXCEDENTE

A água para consumo residencial possui diversos usos, um deles é destinado ao consumo humano, podendo ser para fins potáveis (higiene pessoal, para beber e na preparação de alimentos) ou não potáveis, como lavagem de roupas, carros e calçadas (limpeza), irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários

A demanda de água pluvial em uma edificação é uma estimativa e pode ser obtida mediante a determinação do consumo mensal de água nos aparelhos sanitários, jardins, pisos, calçadas, etc., para esses fins pode-se utilizar água pluvial. Para estimativas de demandas, a Tabela 5.18 apresenta alguns dados sobre o consumo de água em uma residência.

Tabela 5.18– Demanda interna e externa de água não potável em uma residência

<b>Demanda Interna</b>	<b>Unidade</b>	<b>Faixa</b>
Vaso Sanitário – Volume	L/descarga	6 a 15
Vaso Sanitário – Freqüência	Descarga/hab/dia	3 a 6
Máquina de lavar roupa – Volume	L/ciclo	100 a 200
Máquina de lavar roupa – Freqüência	Carga/hab/dia	0,20 a 0,30
<b>Demanda Externa</b>	<b>Unidade</b>	<b>Faixa</b>
Gramado ou Jardim – Volume	L/dia/m <sup>2</sup>	2
Gramado ou Jardim – Freqüência	Lavagens/mês	8 a 12
Lavagem de carro – Volume	L/lavagem/carro	80 a 150
Lavagem de carro – Freqüência	Lavagem/mês	1 a 4

Fonte: Adaptado de Tomaz (2000)

O residencial Jardins da Imbira I e II apresenta grandes áreas verdes, praças e de servidão, necessitando de uma manutenção constante, ou seja, de irrigação para que sejam mantidas suas características estéticas e funcionais.

Em residenciais, como o em estudo, nos quais não há ligação de água conjunta para todos os moradores, o que acabaria gerando ônus para os residentes, uma solução adequada seria a utilização da água excedente devido a urbanização nas regas das áreas verdes do empreendimento.

## 6 CONCLUSÃO

O volume de água que poderá ser armazenado no reservatório, idealizado para o controle e disposição do escoamento superficial adicional gerado pelas superfícies impermeabilizadas do empreendimento, pode ser utilizado na rega de áreas verdes (praças, jardins e faixas gramadas) projetadas para Residencial Imbira I e II, nos meses de estiagem em Cruz das Almas, o que pouparia consumo de água de outras fontes, regra geral com custos elevados.

A partir dos resultados obtidos foi observado um incremento nas vazões de projeto para cenários hidrológicos distintos, consideradas as fases de pré-urbanização e pós-urbanização do Residencial Jardins Imbira I e II.

O incremento de 53% da área impermeabilizada proporcionou para um período de retorno de 10 anos, o aumento da vazão 3,85 vezes a encontrada nas condições de pré-urbanização. Essa realidade caracteriza-se fator preocupante uma vez que o bairro da Imbira passa por processos de expansão, dificultando a construção de redes de drenagem após a constituição dos adensamentos populacionais.

O aumento dessa proporção na área de estudo poderá causar erosão a jusante do empreendimento, uma vez que o ponto de deságüe desse volume será em um ponto concentrado no final da obra. Além da erosão, poderá contribuir de forma significativa para a contaminação de mananciais do bairro.

Com o intuito de compensar o incremento na vazão gerado devido à impermeabilização do solo na área de estudo, sugeriu-se a construção de dois reservatórios de retenção para o volume do excedente e como uma alternativa do uso da água seria a irrigação das áreas verdes, praças e servidão do Residencial Jardins da Imbira I II.

Deste modo, com a construção dos reservatórios pode-se concluir que haverá uma grande mitigação dos impactos a jusante do Residencial Jardins da Imbira I II e o que poderia vir a ser um problema ambiental poderá ser a solução para a manutenção dos espaços públicos.

## 7 APÊNDICE

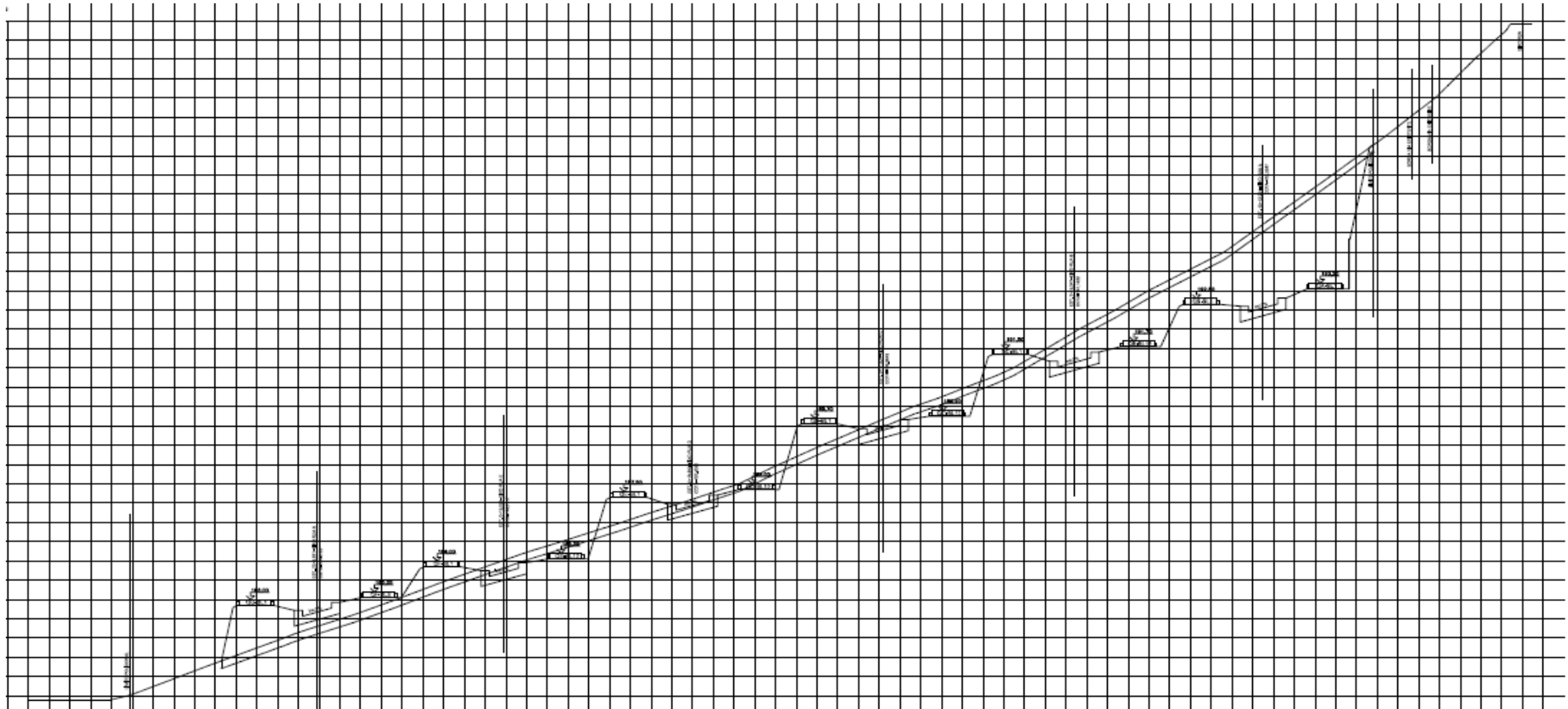


Figura 7-34 – Declividade do Terreno

Fonte: Serrano (2013)

## 8 BIBLIOGRAFIA

ALVES, FLÁVIO AUGUSTO DE OLIVEIRA; MENEZES FILHO, FREDICO CARLOS MARTINS DE; COSTA, ALFREDO RIBERO DA. Estimativa De Volume Para Micro-Reservatório Domiciliar No Controle De Cheias Urbanas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, Campo Grande, Ms.Anais... . Campo Grande, Ms: Abrh, 2007. p. 1 - 10.

AZEVEDO NETTO, R.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. Manual de hidráulica. 8º Edição Atualizada. São Paulo, 1998. Editora Edgard Blucher.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. 1º Edição. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BRASIL. Lei nº 11.455, de 5 de Janeiro de 2007: Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. 2007.

CANHOLLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 301p.

CRUZ DAS ALMAS. Lei nº 10.257, de 2001. Adequação do Plano Diretor do Município de Cruz das Almas – Bahia.

D'ANGIOLELLA, G. L. B.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. Tendências Climáticas Para Os Tabuleiros Costeiros da Região de Cruz das Almas, Ba Bahia agric,V.4,n.1,Nov.2000

DAEE/CETESB. Drenagem Urbana – Manual de Projeto. 2. ed. Corrigida. São Paulo: DAEE/CETESB, 1980. 468p.

FILHO, A. G. A.; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C.F. - Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas. UEPG, 2000.

FILHO, W. M. M.; VENDRAME, I. F.; CARVALHO, R. G. Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos – SP. In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis. p. 3453-3460. 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Diretoria de Pesquisas - Coordenação de População e Indicadores Sociais. 219 p. 2008.

LOPES, Elisa Ribeiro Cunha Armond; GOMES, Júlio. Avaliação do impacto da redução do escoamento superficial sobre a vazão de saída em uma rede de microdrenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. Anais... . Maceió: Abrh, 2011. p. 1 - 20.

LOU, Rodrigo Furtado. MODELAGEM HIDROLÓGICA CHUVA-VAZÃO E HIDRODINÂMICA APLICADA NA BACIA EXPERIMENTAL DO RIO

PIABANHA/RJ.2010. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

MATOS, José de Saldanha. Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano. Engenharia Civil, Lisboa, v. 16, n. 1, p.13-23, 2003.

MELO FILHO, José Fernandes de. Licença Ambiental de Localização e Implantação. Cruz das Almas-ba: -, 2012. 15 p.

PARANÁ. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Plano Diretor de Drenagem Para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 2002. 150 p.**

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, volume 5, no. 1, pag. 15-23, Porto Alegre, RS, 2000.

PORTO, R. L.; BARROS, M. T. – organizadores; Drenagem Urbana, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, volume 5, Editora da Universidade, Porto Alegre. 1995. TUCCI, C. E. Águas no Meio Urbano. In: C. E. Tucci, *Água Doce* (p. 40). (1997).

Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA. Curso Básico de Hidrologia Urbana: nível 3 – Águas Pluviais. Costa, Alfredo Ribeiro da; Siqueira, Eduardo Queija de; Menezes Filho, Frederico Carlos Martins De. Brasília: ReCESA 2007.130 p.; il

RODRIGUES, MARIA DA GLÓRIA FIGUEIREDO, NACIF, PAULO GABRIEL SOLEDADE, COSTA Solos E Suas Relações Com As Paisagens Naturais No Município De Cruz Das Almas - Ba. Cruz das Almas - Ba: Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 9, n. 2, 2009.

ROSEN. G. Uma história da saúde pública. UNESP. p. 36-37. 1994.

SÃO PAULO (cidade). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos. São Paulo: SMDU, 2012. V.2.

SÃO PAULO. Lilian Satiko Murata. Prefeitura do Município de São Paulo (Ed.). Diretrizes Básicas Para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo. São Paulo: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 1999. 289 p.

SEIBT, ANA CAROLINA; SILVA, THÁLITA MARIA FRANCISCO DA; FORMIGA, KLEBBER TEODOMIRO MARTINS. Avaliação Do Impacto Da Rede De Drenagem Da Bacia Hidrográfica Do Córrego Serrinha, Em Goiânia (Go) Empregando O Storm Water Management Model - SWMM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19. 2011, Maceió. Anais. Maceió: Abrh, 2011. p.1 - 18.



- SILVEIRA, A. L. L.; DEBORDES, M. Modelo Hidrológico Distribuído Urbano Com Poucos Parâmetros. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 4 n.1. Jan/Mar 1999. 35-48.
- SILVEIRA, A. L. L. Hidrologia Urbana no Brasil. In: Drenagem Urbana, Gerenciamento, Simulação, Controle. ABRH Publicações nº 3, Editora da Universidade, Porto Alegre. 1998.
- THOMAZ, Plínio. Poluição Difusa. São Paulo: Navegar Editora, 2006.
- TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva. São Paulo: Navegar, 2003.
- TUCCI, C. E. M. Coeficientes e vazão máxima de bacias urbanas. Revista de Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, p.61-68, jan./mar.2000
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia, Ciência e Aplicação. Porto Alegre, ABRH/EDUSP, 943p. (coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4). 1993.
- TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. Porto Alegre: ABRH,/RHAMA (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, V.11). 2007. 393p.
- TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do Impacto da Urbanização. In: TUCCI, C. E. M., UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG); WATER ENGINEERING AND DEVELOPMENT CENTER (WEDC), Loughborough University, Reino Unido. Drenagem Urbana Sustentável no Brasil. Relatório do Workshop em Goiânia-GO. Maio 2003.
- TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle do Impacto da Urbanização. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.) Drenagem Urbana. 1ª Ed. Porto Alegre: Editora da Universidade.1995.
- TUCCI, C.; COLLISCHONN, W. 1998. Drenagem urbana e Controle de Erosão. VI Simpósio nacional de controle da erosão. 29/3 a 1/4 1998, Presidente Prudente, São Paulo
- TUCCI, Carlos E. M.. **ÁGUA NO MEIO URBANO**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 35 p.
- TUCCI, Carlos E. M.. Gestão da drenagem urbana. Brasília: Cepal-ipea, 2012. 50 p.