



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste
(TROPEN)
Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
(PRODEMA)
Subprograma PRODEMA/UFPI/TROPEN
Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente

CIDADE, SOLO URBANO E DRENAGEM: ABORDAGEM SOBRE AS
INUNDAÇÕES EM ÁREA DA ZONA LESTE DA CIDADE DE TERESINA,
PIAUÍ.

JOÃO MACÊDO LIMA JÚNIOR

Teresina – Piauí
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste
(TROPEN)
Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
(PRODEMA)
Subprograma PRODEMA/UFPI/TROPEN
Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente

JOÃO MACÊDO LIMA JÚNIOR

**CIDADE, SOLO URBANO E DRENAGEM: ABORDAGEM SOBRE AS
INUNDAÇÕES EM ÁREA DA ZONA LESTE DA CIDADE DE TERESINA,
PIAUÍ.**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Wilza Gomes Reis Lopes

JOÃO MACÊDO LIMA JÚNIOR

**CIDADE, SOLO URBANO E DRENAGEM: ABORDAGEM SOBRE AS
INUNDAÇÕES EM ÁREA DA ZONA LESTE DA CIDADE DE TERESINA,
PIAUÍ.**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Wilza Gomes Reis Lopes

Teresina, 01 de Julho de 2011

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Wilza Gomes Reis Lopes
Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI)

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva
Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI)

Dedico este trabalho à minha esposa,
Aqueline, e a minha filha, Beatriz.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas bênçãos de cada dia.

Aos meus pais, João Macêdo e Rosa Bento, pela educação e formação de cidadão que puderam me proporcionar.

Aos meus irmãos, Gonçalo e Petronília, pelo convívio.

À tia Nete pela dedicação e amizade.

A minha orientadora, Prof^ª Dr^ª Wilza Gomes Reis Lopes, pela atenção, pelos ensinamentos e compreensão.

A todos os amigos do TROPEN/UFPI – Turma 2009-2011: Accioly Pinto, Antônio Joaquim, Daniel César, Daniel Gomes, Charlene Silva, Elaine Aparecida da Silva, Emiliana Cerqueira, Leonardo Madeira, Letícia Madeira, Marly Cipriano, Reurysson Moraes, Roberta Celestino, Roberth Cipriano, Simone Tupinambá e Victor Meireles, pelos bons momentos proporcionados durante o curso, pelo incentivo mútuo e auxílio em algumas partes do trabalho.

Ao quadro docente do TROPEN, pelo valiosa experiência repassada.

Aos auxiliares do TROPEN, Dona Maridete e Sr. Batista, pela presteza e auxílio nos momentos necessários.

Ao Daniel do IFPI pelo auxílio no *ArcGis*.

Ao Rogério Drummond pelos livros emprestados e pela troca de idéias sobre drenagem.

Ao Álvaro Gustavo “Gaúcho” pela compreensão, apoio e motivação nos momentos complicados de conciliar o mestrado e as atividades da CAIXA.

Aos amigos da CAIXA, amigos de infância, amigos “lobatos”, amigos cunhados e cunhada, sogro, sogra e familiares pelos bons momentos que me ajudaram a relaxar um pouco e ter ânimo para continuar na empreitada.

Finalmente, agradeço à Aqueline pela paciência, dedicação, lições, companheirismo, e por todas as outras coisas que podem se resumir em AMOR. Agradeço também à minha pequena Beatriz pelo sorriso revigorante de cada dia e por não ter dado muito trabalho durante este período. Amo vocês!

RESUMO

Este trabalho tem como objeto principal analisar a influência do aumento das áreas impermeáveis no ciclo hidrológico. Para o estudo foi escolhida área de uma sub-bacia do Rio Poty, bastante urbanizada e localizada na zona leste da cidade de Teresina. Nesta área, apesar da existência de um sistema de captação de águas pluvias, são registrados diversos pontos de alagamento. Considerando que o aumento das áreas impermeáveis é um importante fator na geração das inundações urbanas, foram analisadas fotos capturadas pelo satélite Ikonos em dois períodos históricos, 2000 e 2007. A partir das fotos foi possível quantificar as áreas impermeáveis em cada ano de registro e calcular uma taxa de aumento dessas áreas impermeáveis no período considerado para o estudo. Toda a manipulação das fotos, a delimitação das áreas impermeáveis e a quantificação das mesmas foram feitas com a utilização do software *ArcGis*. Considerando que os estudos mais atuais sobre a drenagem urbana fazem bastante referência às medidas não estruturais de controle do escoamento superficial, dentre as quais está a regulamentação do uso do solo urbano, estudou-se a legislação urbana de Teresina, a fim de que se pudesse verificar se a mesma possui referências a itens que favorecem a redução do escoamento superficial, seja por fixação de cotas de áreas permeáveis em imóveis de acordo com o uso e ocupação do solo; por regulamentação de limitações à ocupação de áreas propensas à inundações; ou por determinação de vazões máximas de escoamento geradas nos imóveis. Ainda foi analisada a legislação de outras cidades a fim de verificar que tipo de regulamentação é adotada com vistas a reduzir os problemas gerados pela má gestão das águas das chuvas. Paralelamente à análise da legislação de Teresina foi feito levantamento de medidas relativas ao controle das águas de chuva de outras cidades onde o problema das inundações urbanas já vem sendo tratado como de importância relevante, e são prevenidos ou corrigidos por meio da adoção de soluções não convencionais. A partir do estudo de soluções para o controle da drenagem em diversas cidades, sugeriram-se, no trabalho, algumas medidas que podem ser adaptadas à área de estudo e adotadas com a finalidade de minimizar os problemas das inundações da área em análise.

Palavras-chave: águas urbanas, drenagem urbana, impermeabilização do solo, planejamento urbano, legislação urbana.

ABSTRACT

This paper aims at analyzing the influence of the increase of impervious areas in the hydrological cycle. For the study area was chosen from a sub-basin of the Rio Poty, quite urbanized and located in the eastern city of Teresina. In this area, despite the existence of a water catchment system Pluvia are recorded several points of flooding. Whereas the increase of impervious areas is an important factor in the generation of urban flooding, were analyzed images captured by the Ikonos satellite in two historical periods, 2000 and 2007. From pictures it was possible to quantify the impervious areas in each year of registration and calculate a growth rate of these impervious areas in the period considered for the study. Any manipulation of photographs, the delineation of impervious areas and quantify them were made using the ArcGIS software. Whereas most recent research on urban drainage make enough reference to non-structural measures to control runoff, among which is the regulation of urban land use, we studied the urban legislation of Teresina, so that it could verify if it has references to items that help to reduce runoff, either by setting quotas permeable areas in buildings according to use and occupation; by regulatory restrictions on the occupation of areas prone to flooding, or determination of peak discharges of runoff generated in the building. Although we have analyzed the legislation from other cities to check what kind of regulation is adopted with a view to reducing the problems caused by mismanagement of rainwater. Parallel to the analysis of the legislation was made Teresina survey measures related to the control of rainwater in other cities where the problem of urban flooding is already being treated as of great importance, and are prevented or corrected through the adoption of unconventional solutions . From the study of solutions to control the drainage in several cities, it was suggested, at work, some measures that can be adapted to the study area and adopted in order to minimize the problems of flooding of the area under review.

Keywords: urban water, urban drainage, soil sealing, urban planning, urban legislation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Rua da zona leste de Teresina, PI, alagada após chuva forte no mês de outubro de 2009. (Fonte: Foto de Jairo Moura em Portela, 2009.....	19
Figura 1.2: Avenida Homero Castelo Branco, em Teresina, PI, em dia de chuva. (Tribuna do sol ,2009)	20
Figura 1.3: Ruas da zona leste da cidade de Teresina,PI, alagadas, após chuvas de dezembro de 2009. (França, 2009)	20
Figura 2.1: Gráfico da População residente, por situação de domicílio – Brasil – 1940/2010. (Fonte: Censo IBGE, 2010).....	24
Figura 2.2: Fluxograma de processos decorrentes da urbanização e impactos. (Fonte: adaptado de PORTO 1995 apud BENINI, 2006, p.6)	25
Figura 2.3: Balanço hídrico numa bacia urbana. (Fonte: Tucci, 2006, p.74).....	27
Figura 2.4: Comparação da forma de hidrogramas urbano e rural. (Fonte: Tucci, 2001)	28
Figura 2.5: Sistemas de Drenagem Urbana por município. (Fonte: IBGE, 2000, p. 73)	30
Figura 2.6: Planejamento de sistemas de drenagem urbana – Fluxograma das atividades principais. (Fonte: Canholi, 2005, p. 28).....	34
Figura 2.7: Estágios de desenvolvimento da drenagem. (Fonte: Tucci, 2006, p. 80)	38
Figura 2.8: Tubulação para macrodrenagem. (Fonte: Guaratinguetá, 2008)	39
Figura 2.9: Execução de canal de macrodrenagem. (Fonte: Rodrigues, 2010).....	40
Figura 2.10: Esquema comparativo entre canalização e reservação. (Fonte: Canholi, 2005, p. 36).....	41
Figura 2.11: Superfície de infiltração com trincheira de infiltração. (Fonte: Sieker, 1984 apud Tucci e Genz, 1995, p.293).....	42
Figura 2.12: Tipos de pavimentos permeáveis. (Fonte: Araújo, 2000).....	43
Figura 2.13: Bacia de retenção. (Fonte: Canholi, 2005)	43
Figura 2.14: Bacia de detenção. (Fonte: Canholi, 2005).....	44
Figura 2.15: Bacia de sedimentação. (Fonte: Urban Drainage and Flood Control District, 1992 apud Tucci, 1995, p.425)	44
Figura 2.16: Localização do Estado do Piauí. (Fonte: SILVA, 2008), com adaptações)	47
Figura 2.17: Regiões Administrativas de Teresina. (Fonte: SILVA, 2008).....	48
Figura 2.18: Avenida Dom Severino – Bairro Jóquei. (Fonte: Foto João Macêdo, 2010)	50
Figura 2.19: Avenida Homero Castelo Branco – Bairro Jóquei. (Fonte: Foto João	

Macêdo, 2010).....	50
Figura 2.20: Curvas de nível de sub-bacia da zona leste. Teresina, Piauí. (Fonte: Águas e Esgotos do Piauí SA – AGESPISA, com adaptações)	51
Figura 4.1: Gráfico da População residente, por situação de domicílio – Brasil – 1940/2000. (Fonte: Tendências demográficas, 2000. IBGE, 2001)	58
Figura 4.2: Rua alagada durante chuva em abril de 2011. Teresina, Piauí. (Fonte: Foto de Efrém Ribeiro, 2011)	61
Figura 4.3: Mapa de Zoneamento Urbano de Teresina, Piauí. (Fonte: Anexo 07 da Lei 3.560/2006).....	64
Figura 5.1: Fluxograma de processos decorrentes da urbanização e impactos. (Fonte: adaptado de PORTO 1995 apud BENINI, 2005, p.6)	77
Figura 5.2: Balanço hídrico numa bacia urbana. (Fonte: TUCCI, 2006).....	78
Figura 5.3: Comparação da forma de hidrogramas urbano e rural. (Fonte: Tucci, 2001)	79
Figura 5.4: Rua da zona leste alagada, após chuva forte no mês de outubro. Teresina, Piauí. (Fonte: Foto de Jairo Moura em Portela, 2009)	80
Figura 5.5: Prejuízos causados pela chuva em casa da zona leste da cidade de Teresina (Fonte: Foto de Patrício Lima, 2009)	81
Figura 5.6: Limites da área de estudo. (Fonte: Google Earth, com adaptações).....	84
Figura 5.7: Áreas impermeáveis (vias e lotes) - ano de 2000.	88
Figura 5.8: Áreas impermeáveis (vias e lotes) - ano de 2007.	89
Figura 6.1: Esquema comparativo entre canalização e reservação. (Fonte: Canholi, 2005, p. 36).....	101
Figura 6.2: Bacia de retenção em Uberaba, MG. (Fonte: Canholi, 2005)	102
Figura 6.3: Bacia de retenção em Alta do Lumiar, Lisboa, Portugal. (Fonte: Câmara Municipal de Lisboa, 2006).....	103
Figura 6.4: Bacia de detenção em Santo André, SP. (Fonte: Canholi, 2005)	104
Figura 6.5: Bacia de sedimentação. (Fonte: Urban Drainage and Flood Control District, 1992 apud Tucci, 1995, p. 425)	104
Figura 6.6: Limites da área de estudo. (Fonte: Google Earth, com adaptações).....	107
Figura 6.7: Áreas impermeáveis (vias e lotes) - ano de 2000	109
Figura 6.8: Áreas impermeáveis (vias e lotes) - ano de 2007	110
Figura 6.9: Tipos de pavimentos permeáveis. (Fonte: Araújo Tucci, e Goldenfum, 2000).....	112
Figura 6.10: Área em destaque: antigo Clube das Classes Produtoras do Piauí –	

imagem de agosto de 2009. (Fonte: Google Earth, com adaptações).....	113
Figura 6.11: Supermercado EXTRA construído na área do antigo clube das classes produtoras do Piauí. Solo praticamente todo impermeabilizado – Imagem de maio de 2011. (Fonte: João Macêdo, 2011)	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Evolução demográfica do município de Teresina – 1872 a 2010. (Fonte: Censo IBGE, 2010).	49
Tabela 5.1: Evolução de áreas impermeáveis entre os anos de 2000 e 2007.	90
Tabela 5.2: Percentual de áreas impermeáveis nos anos de 2000 e 2007 com relação à área total estudada.	91
Tabela 6.1: Percentual de áreas impermeáveis nos anos de 2000 e 2007.	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1: Legislação urbana de Teresina e sua relação com as águas pluviais e drenagem urbana.....	70
---	----

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AGESPISA – Águas e Esgotos do Piauí SA

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFPI – Instituto Federal de Tecnologia do Piauí

PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana

SDU – Superintendência de Desenvolvimento Urbano do Município de Teresina

SEMPPLAN – Secretaria de Planejamento e Coordenação do Município de Teresina

ZE – Zona Especial

ZEI – Zona de Especial Interesse Social

ZI – Zona Industrial

ZP – Zona de Proteção Ambiental

ZR – Zona Residencial

ZS – Zona de Serviços

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 A Relação Urbanização e Ciclo Hidrológico	23
2.2 Planejamento e Drenagem Urbana	31
2.3 Mecanismos Técnico-institucionais para o Controle da Drenagem Urbana	35
2.4 A Cidade de Teresina	46
3 REFERÊNCIAS	52
4 Artigo: Importância da Legislação Urbana para o Controle da Drenagem: estudo na cidade de Teresina, Piauí.....	56
5 Artigo: Drenagem Urbana: aumento de áreas impermeáveis na zona leste da cidade de Teresina, Piauí, e sua relação com as inundações	74
6 Artigo: Reflexões Sobre a Drenagem Urbana: medidas alternativas para bacia da zona leste em Teresina, Piauí	95
7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES GERAIS	119

1 INTRODUÇÃO

Os ambientes urbanos abrigam, cada vez mais, um maior percentual da população mundial, apresentando também uma maior densidade populacional. Desta forma, nas cidades ocorre uma crescente demanda por infraestrutura e serviços que possibilitem uma melhor qualidade de vida aos cidadãos.

Todas estas demandas, em grande parte, são atendidas a partir de transformações realizadas no ambiente natural, na tentativa de sanar as necessidades da população por serviços, transportes, abastecimento de água, esgoto, drenagem urbana, moradia, etc.

Uma das transformações mais notadas, tanto pelo aspecto de mudança da paisagem como pelo fato dos efeitos gerados a partir dessa modificação do estado original, é a redução da capacidade de permeabilidade do solo urbano. O solo das cidades possui parcela considerável de sua superfície impermeabilizada pelas edificações, pavimentação de vias e calçadas. A transformação de áreas anteriormente permeáveis em áreas impermeáveis induz a um desequilíbrio hidrológico, caracterizado pelo aumento do escoamento superficial e pela antecipação dos picos de vazão no tempo, o que está diretamente relacionado com as enchentes em áreas urbanas (TUCCI, 2006).

Conforme expõe Martins (2006), as alternativas para lidar com os problemas das enchentes urbanas ocasionadas pela impermeabilização do solo quase sempre são idealizadas como obras de caráter corretivo, partindo do conceito de que as águas devem ser afastadas o mais rápido possível através de obras hidráulicas. Contudo, a preocupação na manutenção dos sistemas naturais de drenagem como meio de conservar a capacidade de infiltração do solo e, assim, amenizar os problemas relacionados com as inundações decorrentes da urbanização, tem se tornado cada vez mais presente.

Silveira (2000) analisa em seu trabalho as diversas etapas de desenvolvimento, no Brasil, do pensamento sobre Hidrologia Urbana. A primeira etapa é caracterizada pelo movimento higienista surgido na Europa no século XIX, o qual indicava como melhor alternativa para a saúde pública a eliminação sistemática das águas paradas e dos dejetos domésticos jogados nas vias públicas; A segunda etapa ainda conserva o conceito de evacuação rápida, mas procura estabelecer um método de cálculo para o

dimensionamento mais racional das obras hidráulicas. Já a terceira etapa, a qual surge no final do século XX, juntamente com o fortalecimento da idéia de desenvolvimento sustentável, traz no seu cerne a abordagem qualitativa dos dejetos, propondo-se a melhorar a tecnologia no tratamento dos esgotos e conservar o máximo possível as características naturais do ciclo hidrológico quando da adoção de medidas de controle da drenagem urbana.

Com a evolução das idéias e concepções a respeito da sustentabilidade das cidades, dentro do campo da hidrologia urbana são realizadas pesquisas de caráter multidisciplinar, analisando o efeito da urbanização para o escoamento de bacias hidrográficas, e realizando pesquisas sobre propostas de ocupação do espaço urbano que minimizem os efeitos negativos gerados pela alteração do ciclo hidrológico (ALVES, 2005).

Nos estudos relativos a drenagem urbana atualmente desenvolvidos, é direcionada atenção cada vez maior às etapas de planejamento no controle da drenagem urbana, buscando-se medidas de prevenção de enchentes e também meios de minimizar os impactos causados pelas grandes obras de drenagem urbana. Estudos elaborados por Cruz e Tucci (2008) sobre avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana mostram que uma antecipação das ações a serem tomadas para o controle das enchentes urbanas possibilita uma redução significativa de gastos públicos com obras corretivas. Na mesma linha de estudo, Alves (2005) afirma que a adoção de medidas preventivas de cunho não estrutural, pode proporcionar a integração de forma harmoniosa entre o sistema urbano e o natural, sendo, portanto, fator significante para a prevenção de inundações aliado à possibilidade de conservação das características naturais do meio. Tais ações de controle e medidas preventivas traduzem-se em obras e legislação, ou, em outros termos, medidas estruturais e não estruturais para o controle e prevenção das enchentes urbanas.

Segundo Pômpeo (2000), com o desenvolvimento do conceito de sustentabilidade, os estudos relativos ao controle de enchentes urbanas deixaram de possuir tratamento exclusivo no âmbito técnico da engenharia, visto que as novas ações direcionadas ao controle da drenagem urbana devem reconhecer a complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade, o que exige uma análise em termos técnicos e gerenciais da drenagem urbana e controle de cheias.

Tanto as medidas estruturais como as não estruturais têm como unidade de planejamento a bacia hidrográfica, a partir da qual se origina o Plano Diretor de Drenagem, importante instrumento de planejamento, coordenação, fiscalização e supervisão de uma série de ações ordenadas com o objetivo de regulamentar o crescimento urbano, traduzido em variadas obras, visando a mitigar os efeitos das inundações (TUCCI, 1997).

Esta nova abordagem aponta para uma otimização da relação entre o custo e a eficiência dos sistemas de drenagem propostos, a partir de uma legislação voltada para a regulamentação do uso e ocupação do solo com vistas a impedir a ocupação de áreas de risco e também para a redução dos impactos gerados pela impermeabilização do solo urbano.

No entanto, os Planos Diretores de Drenagem Urbana são peças quase sempre ausentes nos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano das cidades. A falta de planejamento na integração das várias políticas de gerenciamento da infra-estrutura urbana – águas urbanas, resíduos sólidos, esgotamento sanitário, transportes e uso e ocupação do solo – ocasiona grande parte dos problemas urbanos enfrentados pela população. Cada problema gerado possui o seu peso na composição dos impactos ambientais e sociais de uma determinada área, destacando-se:

- Congestionamentos nos horários de pico;
- Diminuição das áreas verdes;
- Poluição sonora;
- Poluição atmosférica;
- Poluição dos córregos urbanos;
- Acúmulo de lixo;
- Problemas de drenagem urbana.

Para o caso das águas pluviais urbanas, nas cidades de países tropicais, o seu manejo inadequado, conforme coloca Bertoni, Maza e Paoli (2003), pode gerar uma série de transtornos para o cotidiano da população, como as enchentes que ocorrem em São Paulo durante os períodos de chuvas de verão, paralisando grande parte do trânsito da cidade, ou problemas de saúde em extensas áreas suburbanas decorrentes da contaminação da água aflorante a partir das fossas sépticas.

O manejo ideal das águas de chuva, conforme Scarlato (1999), deve prever que os caminhos de drenagem natural sejam mantidos, no entanto, nas cidades, os caminhos

naturais de drenagem são substituídos por galerias pluviais e várzeas são expropriadas de seus rios para dar lugar a construções. Deste modo, a drenagem urbana não é tratada como uma variável importante quando se trata de planejamento e desenvolvimento urbano. É comum que os administradores públicos estabeleçam medidas de controle da drenagem urbana apenas quando já foram contabilizados prejuízos para a cidade.

Conforme explica Tucci (2006), os processos pelos quais se promovem as enchentes urbanas podem ser (i) devido à urbanização, com o aumento da frequência e magnitude das enchentes devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e de redes de condutos de escoamento, aliados às possíveis obstruções ao escoamento, como aterros, pontes ou assoreamentos; (ii) em áreas ribeirinhas, atingindo de tempos em tempos a população que ocupa o leito maior dos rios.

A configuração urbana influencia diretamente em diversos impactos causados nos ambientes urbanos. Ribeiro (2006), em estudo realizado na cidade de Canoas-RS, afirma que o nível de impermeabilidade é dependente simultaneamente da configuração urbana, das densidades e do tipo e uso de solo. Em seu estudo, após analisar a relação entre a impermeabilização e a forma urbana, densidade urbana e zoneamento urbano, individualmente, a autora conclui que: (i) as legislações urbanísticas relativas à taxa de ocupação e à determinação de áreas verdes são as que produzem maiores efeitos na impermeabilização; (ii) lotes com tamanhos maiores tendem a ter menores taxas de impermeabilização do que lotes menores. Demonstrando que é possível relacionar o regime urbanístico e a taxa de impermeabilização.

A legislação urbana está consubstanciada com o planejamento da drenagem, visto que ela regulamenta o uso e ocupação do solo, podendo determinar a quantidade de área permeável que deve permanecer nos imóveis, bem como a destinação de entulhos, materiais de construção ou outro tipo de detritos que comprometam a eficiência do sistema de drenagem implantado nas vias públicas. Mota (2003) coloca que quando uma lei de uso e ocupação de solo é elaborada visando a conservação ambiental, as características do ambiente natural devem ser levadas em consideração, de modo que seja prevista a proteção de áreas importantes para o equilíbrio entre o natural e o artificial.

O problema das inundações urbanas está presente em várias partes do Brasil, suscitando estudos diversos, como os realizados por Mendes e Mediondo (2007) na

cidade de São Carlos, SP, por Peplau (2005) em Maceió, Alagoas, por Martins (2006) em São Paulo, SP, e por Garcia e Paiva (2006), em área urbana da Bacia do Arroio Cancela-RS.

Na cidade de Teresina, Piauí, Brasil, sua população enfrenta, cada ano de maneira mais crítica, problemas decorrentes das inundações: alagamentos de casas e ruas, congestionamentos, prejuízos para o comércio, etc. Nos meios de comunicação locais é comum a veiculação de notícias relativas aos alagamentos na cidade de Teresina durante o período chuvoso.

No ano de 2009, foram comuns os alagamentos, mesmo fora do período chuvoso, como os ocorridos em outubro, na zona leste da cidade (Figura 1.1). Em matéria publicada no sitio do Jornal O Dia (Portela, 2009, p.1), é interessante a colocação de que os problemas de alagamento nas vias da zona leste da cidade de Teresina são normais nos períodos de chuva. A matéria coloca que, mesmo ocorrendo de forma rápida (duração inferior a uma hora), a chuva “deixou diversas ruas da zona leste alagadas, **como costuma ocorrer nos primeiros meses do ano**” (grifo nosso). Percebe-se que no período chuvoso, o fato das vias da zona leste da cidade de Teresina estarem alagadas já é acontecimento corriqueiro.



Figura 1.1: Rua da zona leste de Teresina, PI, alagada após chuva forte no mês de outubro de 2009.
Fonte: Foto de Jairo Moura em Portela (2009)

Em dezembro do ano de 2009 voltaram a ocorrer novos alagamentos, os quais foram divulgados em periódicos locais, sendo destacados os efeitos caóticos da chuva

em Teresina. No jornal O Dia, em matéria disponibilizada on-line, datada de 30 de dezembro de 2009, é ressaltado que “a cidade apresenta vários pontos de alagamento, os quais escondem perigos para os motoristas e motociclistas, como buracos, bueiros e outros obstáculos” (JAEL, 2009, p.1). O artigo destaca, ainda, os riscos advindos do elevado nível da água em avenida localizada na zona leste da cidade de Teresina (Figura 1.2).



Figura 1.2: Avenida Homero Castelo Branco, em Teresina, PI, em dia de chuva.
Fonte: Tribuna do sol (2009)

Em reportagem, veiculada no portal 180 graus, do dia 30 de dezembro de 2009, também são apresentadas fotos dos transtornos causados pelas chuvas em vários pontos da cidade, com destaque para ruas da zona leste (Figura 1.3). Observa-se que no período chuvoso, o problema dos alagamentos das vias da zona leste de Teresina já se tornou um fato corriqueiro e previsível.



Figura 1.3. Ruas da zona leste da cidade de Teresina,PI, alagadas, após chuvas de dezembro de 2009.
Fonte: França (2009)

Algumas das causas que se destacam nas enchentes devido à urbanização, conforme coloca Pômpeo (2000), são o parcelamento do solo e a impermeabilização de grandes superfícies. Quando os prejuízos decorrentes das inundações tornam-se visíveis e de reparo difícil, na grande maioria das vezes, a proposta de solução para os inconvenientes gerados são baseadas em obras de drenagem urbana (sarjetas, galerias, canais, etc) de custo elevado.

O presente trabalho, dentro desta nova abordagem de drenagem urbana que alia a técnica da engenharia hidráulica ao planejamento urbano e à sustentabilidade ambiental, se propõe a analisar a questão da drenagem, enfocando a relação entre a impermeabilização das áreas e o aumento dos eventos de inundação na zona urbana de Teresina, mais especificamente em sub-bacia da zona leste da cidade.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência do grau de impermeabilização do solo urbano no aumento do escoamento superficial das águas pluviais nas áreas urbanas, tendo como objeto de estudo área da zona leste da cidade Teresina, capital do estado do Piauí.

Mais especificamente, os objetivos podem ser listados como sendo:

- a) Identificar e discutir os instrumentos existentes na Legislação Urbana da cidade de Teresina que influenciam no controle das inundações urbanas;
- b) Estimar a evolução do total de área impermeável para a região de estudo no período compreendido entre os anos de 2000 e 2007;
- c) Discutir medidas para o controle da drenagem urbana na região de estudo.

Como a proposta de análise não está limitada aos aspectos técnicos de engenharia, buscou-se, partindo da idéia de interdisciplinaridade, identificar que meios não estruturais são adotados na cidade de Teresina visando a minimização dos problemas das inundações. Estas medidas não estruturais, conforme expõe Alves (2005), possuem caráter preventivo e englobam a regulamentação do uso e ocupação do solo, fator, como já foi identificado, de importante peso no controle da drenagem urbana.

Dessa forma, este trabalho foi desenvolvido em quatro partes. Na **primeira parte, Introdução**, é apresentado o tema e justificada sua importância, os objetivos geral e específicos e descrita sua estrutura.

Na **segunda parte, Revisão Bibliográfica**, são apresentados aspectos teóricos e estudos relacionados à cidade e à drenagem urbana. No primeiro item é abordada a

relação entre a urbanização e as modificações ocorridas no ciclo hidrológico, onde é possível visualizar os efeitos gerados a partir de uma ocupação urbana desordenada. No segundo item é explorada a importância da inter-relação entre o planejamento e a drenagem urbanos. O terceiro ponto da revisão descreve algumas medidas de controle da drenagem urbana, abordando as medidas estruturais (obras) e não estruturais (legislação, educação ambiental, etc.) e identificando os pontos positivos e negativos de cada tipo de medida. O quarto item traz as informações relativas à cidade de Teresina-PI relevantes para o estudo.

Na **terceira parte** estão apresentados os resultados, estruturados em forma de três artigos científicos, que serão enviados a periódicos especializados. O primeiro artigo intitulado: **Importância da Legislação Urbana para o Controle da Drenagem Urbana: estudo na cidade de Teresina, Piauí**, refere-se as ações previstas na Legislação municipal para o controle da drenagem urbana, tendo como enfoque a cidade de Teresina.

O segundo artigo, **Drenagem Urbana: aumento de áreas impermeáveis em área da zona leste da cidade de Teresina, Piauí, e sua relação com as inundações**, apresenta quantificação da área impermeável da região de estudo para os anos de 2000 e 2007 e estima a evolução desse quantitativo, analisando que efeitos podem advir da falta de controle da impermeabilização do solo na região de estudo.

O terceiro artigo, **Reflexões Sobre a Drenagem Urbana: medidas alternativas para área da zona leste em Teresina, Piauí**, apresenta sugestão de medidas que podem ser adotadas como meio de minimizar os prejuízos decorrentes das inundações urbanas na região de estudo. A **quarta e última** parte apresenta as **conclusões** sobre o estudo realizado e as **recomendações** derivadas da investigação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a intenção de proporcionar embasamento às idéias discutidas neste estudo, bem como ratificar a importância do tema abordado, foi realizada revisão bibliográfica, enfocando aspectos sobre a cidade e a drenagem urbana. Está dividido em quatro itens:

O primeiro aborda a relação entre a urbanização e o ciclo hidrológico. É feita uma análise panorâmica a respeito do aumento da população urbana nas últimas décadas e sobre os problemas decorrentes dessa concentração populacional nas cidades. A partir da listagem dos problemas, serão identificados quais influenciam na alteração do ciclo hidrológico em área urbana.

O segundo trata da importância entre a necessidade de relação intrínseca entre Planejamento Urbano e Drenagem Urbana. Em um primeiro momento serão expostos conceitos e idéias de Planejamento Urbano. Em seguida a análise será mais voltada para um dos instrumentos dos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano voltados para a drenagem urbana, o Plano Diretor de drenagem Urbana.

O terceiro item compreende a pesquisa e listagem dos mecanismos utilizados para o controle da drenagem urbana. Foram enfocadas as medidas estruturais, ditas convencionais – galerias, canais, etc. – as quais compreendem obras, geralmente de grande custo e, algumas vezes, de eficácia limitada e, também, as medidas estruturais consideradas não convencionais. Por fim, foi realizado levantamento bibliográfico a respeito das medidas institucionais, as quais se refletem em legislação destinada à regulamentação do uso e ocupação do solo, visando à organização da forma urbana e, conseqüentemente, a determinação de áreas mais ou menos permeáveis de acordo com o risco de inundação.

No quarto item são apresentadas as características da cidade de Teresina. São apresentados dados relativos à sua posição geográfica e população. São ainda apresentadas informações importantes para a caracterização da área de estudos.

2.1 A Relação Urbanização e Ciclo Hidrológico

O desenvolvimento das primeiras cidades foi possível com a Revolução Agrícola, a partir da qual, aos poucos, surgiram assentamentos sedentários, e depois assentamentos maiores e mais complexos que abrigam uma população de não-

produtores (SOUZA, 2007). O tamanho e a complexidade das cidades sofreram um grande impacto com a Revolução Industrial na Europa, a partir de fins do século XVIII. Souza (2007) explica que, em momentos diferentes, aparecem novos termos e conceitos ligados à cidade, devido ao seu caráter mutável e histórico: conurbação, metrópole e megalópole são termos que ampliam a visão de cidade e exprimem o poder do fenômeno da urbanização.

O fenômeno da urbanização acentuou-se no Brasil a partir da década de 60 (MOTA, 2003), quando o número de pessoas residentes nas cidades passou a ser superior ao de pessoas residentes no meio rural.

O Brasil chegou ao final do século XX como um país urbano: em 2000 a população urbana ultrapassou 2/3 da população total, atingindo a marca de 138 milhões de pessoas. O último censo em 2010 revelou um incremento ainda maior na população urbana, conforme pode ser visto na Figura 2.1.

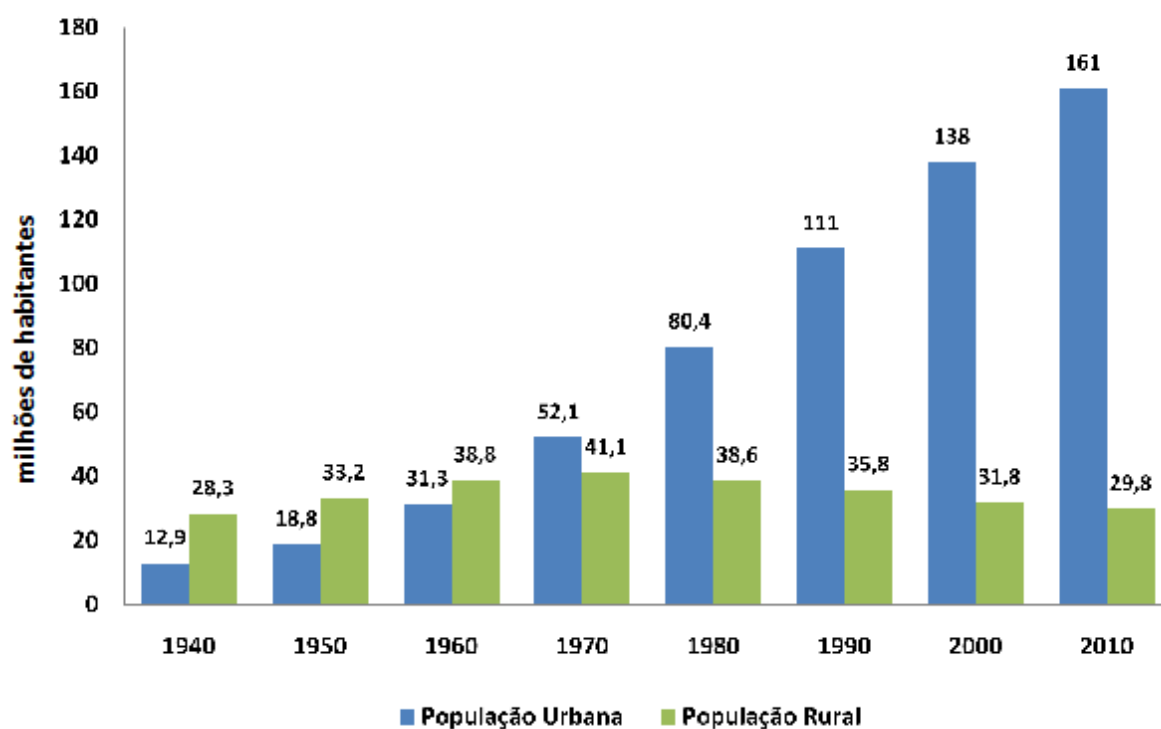


Figura 2.1: Gráfico da População residente, por situação de domicílio – Brasil – 1940/2010
Fonte: Censo IBGE, 2010.

Scarlato (1999, p.10) afirma que “o rápido crescimento populacional, especialmente nas cidades, não foi acompanhado pelo crescimento e melhoria das infraestruturas que contribuem decisivamente para a qualidade de vida”. O comportamento da humanidade, de modo geral, foi negligente quanto aos impactos provocados ao meio

ambiente, o que provocou a expansão da cidade para áreas de risco, assentamentos urbanos inadequados, derrubada de matas em razão da especulação imobiliária, alteração do clima urbano, deterioração da qualidade dos recursos hídricos (SCARLATO, 1999). Com a grande concentração de população em pequenos espaços, os ecossistemas terrestre e aquático sofreram grandes impactos (TUCCI, 2006).

Mota (2003) enumera as principais alterações provocadas pelo homem no ambiente a fim de satisfazer suas necessidades: desmatamento; movimentos de terra; impermeabilização do solo; aterramento de rios, riachos, lagoas; modificações no ecossistema; alterações de caráter global como o efeito estufa e destruição da camada de ozônio; poluição ambiental.

Na Figura 2.2 é possível identificar de forma esquematizada os efeitos para o meio ambiente decorrentes da urbanização, e que conseqüências podem ser sofridas quando não se há a preocupação com a manutenção da sustentabilidade do ciclo hidrológico.

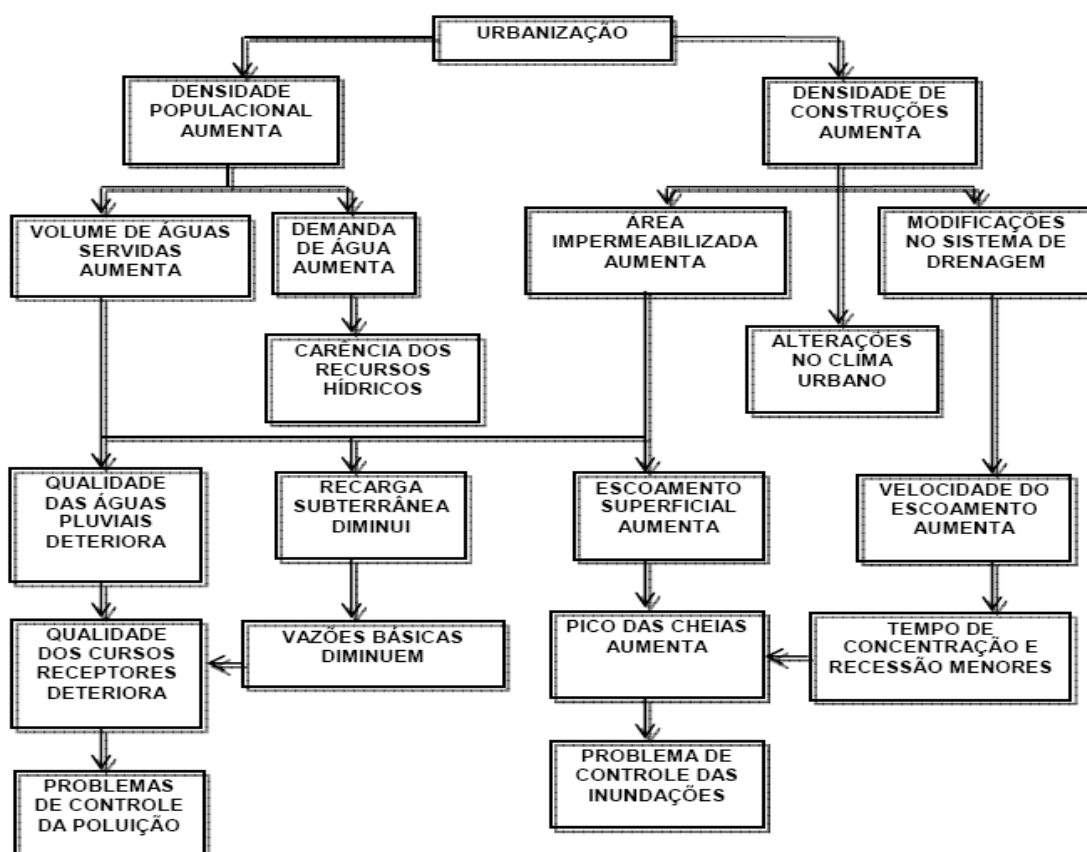


Figura 2.2: Fluxograma de processos decorrentes da urbanização e impactos
Fonte: (adaptado de PORTO 1995 apud BENINI, 2006, p.6)

Garcia e Paiva (2006), em estudo onde é analisado o processo de urbanização da Bacia Arroio Cancela, Rio Grande do Sul, Brasil, a partir da análise de hidrogramas

de cheia da bacia, identificam que os aumentos expressivos apresentados ao longo dos anos para a vazão de pico e volume escoado na Bacia estudada são evidências da falta de diretrizes que conduzam à urbanização de forma sustentável. Constataram ainda que as maiores modificações nos hidrogramas de cheia ocorreram com o período de maior taxa de impermeabilização, indicando os impactos do processo de urbanização sobre a vazão de pico e o volume escoado.

Em trabalho que relaciona o processo histórico de expansão urbana com a ocorrência de inundações na cidade de São Carlos – SP, Mendes e Mediondo (2007) demonstram que o processo de urbanização ocorrido na cidade teve como consequência o agravamento dos impactos de inundações urbanas. Os resultados obtidos indicaram que a área loteada do município de São Carlos, entre os anos de 1940 e 2002, aumentou cerca de oito vezes e a população aumentou aproximadamente sete vezes e meia, o que gerou, segundo registros históricos levantados, um grande aumento dos impactos causados por inundações, mesmo com a adoção de soluções estruturais.

Ribeiro (2006), em estudo realizado na cidade de Canoas-RS, utiliza dados do IBGE para o levantamento da população, planta cadastral municipal da cidade em estudo (Canoas-RS), fotografias aéreas para a extração de dados referentes à vegetação e Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Canoas-RS. A partir da análise destes dados, a autora caracteriza a forma urbana e a área impermeabilizada, investigando a forma urbana e o tipo de solo como fatores que caracterizam os impactos hidrológicos, considerando que estes são condicionantes que determinam o surgimento de áreas impermeabilizadas. Conclui a autora que um bom planejamento da forma e da ocupação do solo pelos assentamentos humanos pode minimizar o impacto hidrológico que estes provocam.

As alterações decorrentes da urbanização, sejam elas no solo, na água ou na atmosfera, tendem a um comprometimento do ciclo hidrológico local.

O ciclo hidrológico apesar de complexo pode ser explicado como etapas, conforme coloca Gribbin (2009):

1. A água evapora dos oceanos e lagos da terra, bem como da transpiração das plantas;
2. A água evaporada forma nuvens;
3. As nuvens deslocam-se pela atmosfera em padrões climáticos globais;
4. O vapor da água se condensa e se precipita na forma de chuva, neve ou

granizo;

5. A chuva chega ao solo e escoar por ele, pelos pequenos córregos e, após infiltrar, através das águas subterrâneas;
6. O escoamento superficial (córregos e solo) e o subterrâneo encaminham as águas para os rios e, finalmente, para os oceanos e lagos.

Todas as etapas do ciclo hidrológico possuem um equilíbrio entre si quanto às quantidades evaporadas, quantidade que infiltra e quantidade que escoar superficialmente e subterraneamente. Contudo, caso seja alterado de maneira considerável algum fator que interfira em alguma das etapas, todo o ciclo ficará comprometido, com retardamento ou aceleração de alguma etapa. É justamente o que acontece quando a etapa da infiltração fica comprometida em decorrência da impermeabilização do solo.

Este desequilíbrio, segundo Tucci (2006), gera uma redução da infiltração do solo e o volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial. Com os condutos pluviais, aumenta a velocidade do escoamento superficial, reduzindo o tempo de deslocamento. As vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo. A vazão máxima média da inundação pode aumentar de seis a sete vezes.

Na figura 2.3 está representado o efeito da urbanização sobre as variáveis do ciclo hidrológico.

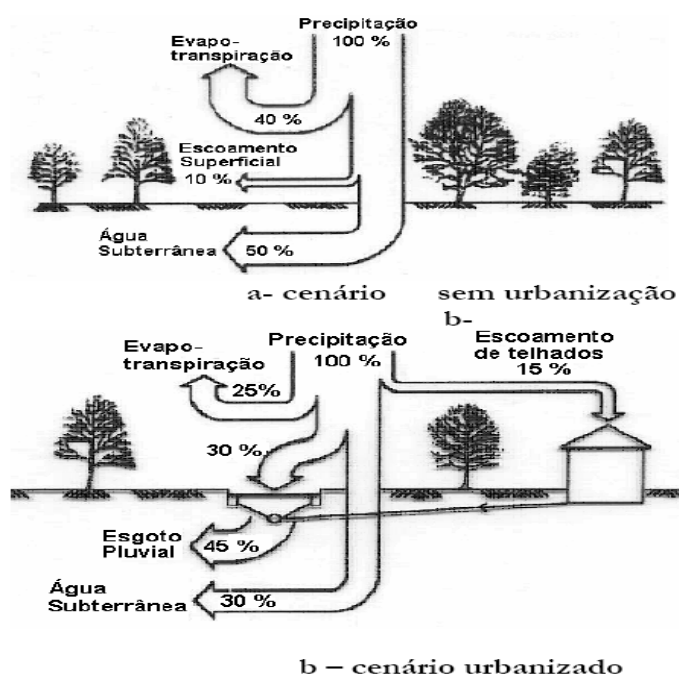


Figura 2.3: Balanço hídrico numa bacia urbana
Fonte: Tucci (2006, p.74)

Ao se observar a Figura 2.3 é possível identificar dois cenários. O primeiro cenário pode ser considerado como um período de pré-urbanização. Neste cenário, do 100% precipitado: 40% é perdido por evapotranspiração; 10% escoar superficialmente; 50% infiltra no solo. Estes percentuais de distribuição da precipitação caracterizam uma boa distribuição das águas do ciclo hidrológico. Já o segundo cenário, considerado como sendo uma área urbanizada, observas-se que do 100% precipitado: 25% se perde por evapotranspiração, pois devido a redução da cobertura vegetal, há também uma redução na evapotranspiração; dos 75% restantes que chegam até o meio urbano, 45% é coletado pelas redes pluviais (quando existem e são corretamente dimensionadas); 30% infiltra. Havendo, portanto, uma redução de 20% no percentual de infiltração com relação ao cenário pré-urbanização. Cabe ressaltar que quando as redes de condutos pluviais não são dimensionadas a contento, o percentual das águas pluviais que deveriam escoar pela canalização, escoar superficialmente, gerando as inundações urbanas em diversos pontos.

Ainda sobre o comportamento do escoamento das águas superficiais, Peplau (2005) analisa a diferença entre os hidrogramas urbano e rural. O hidrograma da região urbanizada apresenta uma antecipação de ocorrência e um aumento da vazão máxima e do volume do escoamento superficial, conforme se pode observar graficamente na Figura 2.4.

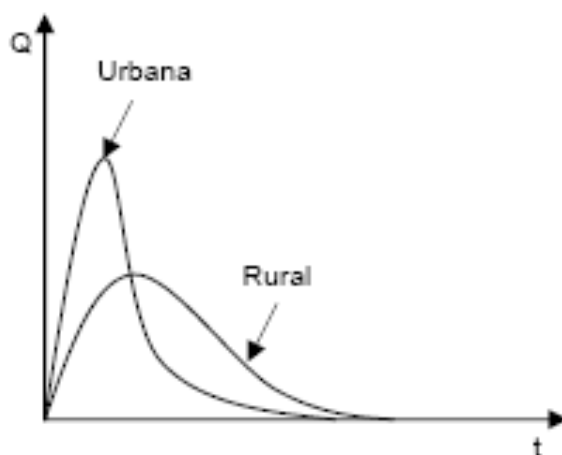


Figura 2.4: Comparação da forma de hidrogramas urbano e rural.
Fonte: Tucci (2001b)

Fica claro, portanto, que quanto mais se impermeabiliza o solo e acelera o escoamento através de dutos ou canais, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo inundações mais frequentes do que

as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pela topografia natural.

Segundo Peplau (2005), cidades drenadas por pequenas bacias hidrográficas são as mais propensas às inundações decorrentes da urbanização. O fato dos sistemas de drenagem serem idealizados apenas como meios de escoar a água da chuva o mais rápido possível, de montante para jusante, contribui para o surgimento de pontos de inundações, visto que estes tipos de sistema provocam diminuição do tempo de concentração natural do escoamento superficial e um maior volume de água escoada (PEPLAU, 2005). Por tempo de concentração entende-se “o tempo necessário para o escoamento ocorrer do ponto mais hidráulicamente remoto, na bacia de drenagem, até o exutório” (GRIBBIN, 2009, p.).

A tendência de áreas cada vez mais urbanizadas é uma realidade no Brasil, contudo, como se pode observar na Figura 2.5, a implantação dos sistemas de drenagem não acompanha essa tendência, principalmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

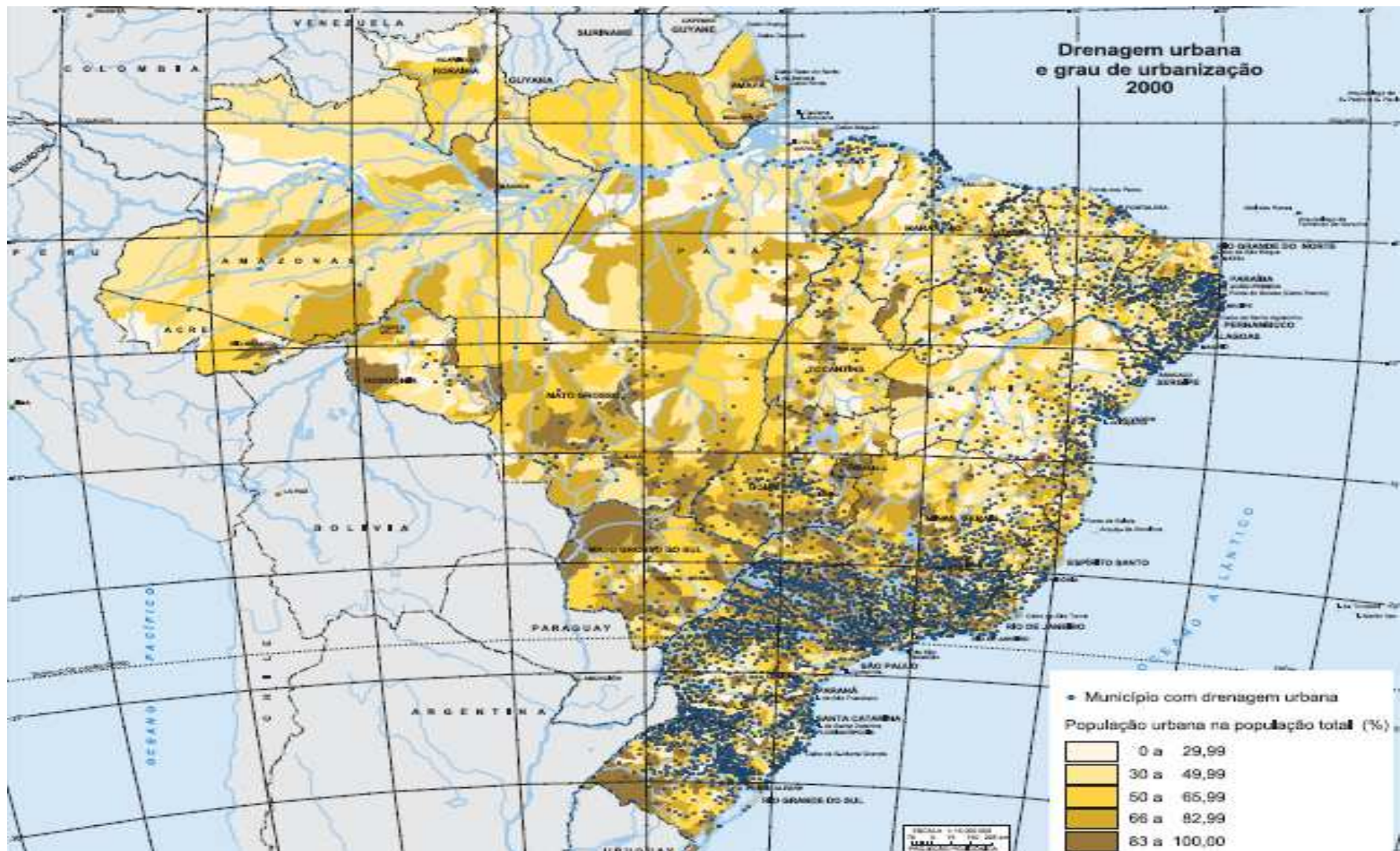


Figura 2.5: Sistemas de Drenagem Urbana por município
Fonte: IBGE (2000, p. 73)

Observando a Figura 2.5, percebe-se que grande parte dos sistemas urbanos de drenagem está localizada nas cidades da região sul, sudeste e região costeira do país, desde a Paraíba até o estado do Espírito Santo. Pouquíssimos municípios da região norte, nordeste e centro-oeste, mesmo com percentual de população urbana entre 83 e 100%, conforme Figura 2.5, não possuem sistemas de drenagem implantados. Outro ponto importante a ser considerado é o de que em cidades com nível de urbanização em até 50% existem poucas com sistema de drenagem implantado, demonstrando que o problema da drenagem urbana só é observado e diagnosticado como medida corretiva, e não preventiva.

A respeito dos custos de obras de drenagem, Cruz e Tucci (2008), a partir da avaliação de cenários no planejamento da drenagem urbana da cidade de Porto Alegre-RS, estimaram o custo unitário de implantação da infraestrutura de drenagem considerando dois tipos principais de controle: primeiro, o preventivo, que procura manter as condições de pré-urbanização das vazões desde o início do processo de ocupação do solo natural; depois, o corretivo, que atua nas áreas já urbanizadas, relacionado à ampliação dos sistemas de drenagem já existentes com insuficiência hidráulica por bacia hidrográfica. Neste estudo, o custo para a implantação das redes de condutos no cenário de controle preventivo foi de R\$ 59.092,00/ha, enquanto para as medidas de controle corretivo, o investimento ficou em torno de R\$ 198.161,50/ha. A partir da comparação entre os valores apresentados, observa-se que o controle por meio da implantação de medidas de controle na fonte, com a adoção de projetos integrados com o planejamento do uso e ocupação do solo pode proporcionar redução considerável dos gastos públicos (CRUZ e TUCCI, 2008).

As enchentes se apresentam como um desafio ao poder público, o qual, segundo Peplau (2005), deve procurar desenvolver, programar e implementar ações planejadas e integradas com o aparelhamento urbano.

2.2 Planejamento e Drenagem Urbana

O planejamento urbano serve como um direcionador das políticas a serem adotadas no intuito de se conseguir uma cidade que conecte as necessidades dos cidadãos às transformações no meio urbano. Quando o município não desenvolve um planejamento adequado, muitas das medidas de infraestrutura urbana geram problemas que somente poderão ser resolvidos à custa de elevados gastos públicos. Sistemas

viários adequados, sistema de saneamento condizente com o porte da população, áreas de expansão populacional, interação entre a zona urbana e rural são alguns dos elementos que devem ser contemplados no planejamento urbano, mais especificamente no Plano Diretor do Município. Mota (2003) coloca que “o Plano Diretor deve conter as diretrizes padrões da organização do espaço urbano, do desenvolvimento sócio-econômico e do sistema político-administrativo, sempre visando melhorar as condições de vida da população na cidade”. Neste sentido, o planejamento deve prever as tendências da cidade, e, a partir dessas tendências, direcionar as ações que tornam possível a eliminação ou minimização de possíveis problemas urbanos.

Contudo, é necessário que o planejamento urbano abranja uma gama de intervenções de modo integrado. A respeito da necessidade de integração das intervenções urbanas, Tucci (2006), explica as consequências da adoção de medidas não planejadas e não integradas, fazendo uma analogia com a medicina, segundo ele, “seria como se vários especialistas receitassem remédios para diferentes sintomas a uma pessoa, sem que os efeitos colaterais combinados, que o corpo humano sofre, sejam observados ou considerados no tratamento da saúde”.

Mendes e Mediondo (2007), em análise a documentos históricos sobre os eventos de alagamento ocorridos na cidade de São Carlos-SP, identificam que os impactos causados por inundações na região do Mercado Municipal de São Carlos foram agravados pela ocupação urbana da Bacia do Gregório e pela falta de ordenamento territorial das áreas ribeirinhas. Concluem, ainda, que o processo de expansão não considerou a suscetibilidade da área. A urbanização da bacia ocorrida entre 1950 e 1970 foi a grande responsável pelos impactos das inundações, já que a partir de 1970 o aumento acumulado de ocorrência de inundações acentuou-se, mesmo com a diminuição da taxa de urbanização.

A carência de suporte técnico nos municípios dificulta o gerenciamento da drenagem urbana, pois, conforme coloca Tucci (2000), as soluções adotadas, geralmente de grandes custos, apenas transferem o problema da drenagem de uma seção para outra. Não existe uma análise da bacia hidrográfica de maneira completa “visando o controle na fonte do escoamento gerado pela urbanização, no lote ou loteamento, com a filosofia de que o melhor projeto de drenagem é o que mantém as vazões máximas iguais ou menores as das condições naturais” (TUCCI, 2000, p.108).

Os Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano devem manter uma forte relação com o controle da geração de escoamento urbano das águas pluviais, visto que a

ocupação urbana deve obedecer ao Plano Diretor Urbano, conforme os índices reguladores do uso do solo, os quais determinam uma maior ou menor taxa de impermeabilização.

Cruz, Tucci e Turckienicz (2001) analisaram a influência dos índices definidos em diferentes planos diretores nacionais no comportamento hidrológico de uma pequena bacia hipotética. A partir da simulação do desenvolvimento de uma bacia em processo de urbanização, considerando as taxas máximas de ocupação de cada um dos planos analisados (Porto Alegre, Florianópolis, Goiânia, Campinas e Belo Horizonte), com a utilização do software de computação gráfica *CityZoom* (Laboratório para a Simulação e Modelagem em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da UFRGS), o qual permite a edição de qualquer cenário urbano desejado seguindo o Plano Diretor desejado, foi determinado o impacto da urbanização sobre o escoamento da bacia fictícia para o caso das cinco legislações analisadas. Concluiu-se que os maiores impactos no escoamento – aumento da vazão em até 3 vezes a vazão de pré-urbanização – são gerados nas bacias onde o plano diretor possibilita uma grande capacidade de ocupar áreas. Isto demonstra a importância do controle nos índices de uso e ocupação dos planos diretores nacionais. Cruz, Tucci e Turckienicz (2001, p. 497) apontam para “a necessidade da consideração de uma variável hidrológica na formulação dos planos diretores das cidades brasileiras”.

Na mesma linha de pensamento do trabalho de Cruz, Tucci e Turckienicz (2001), Canholi (2005, p. 27), enfatiza que “a drenagem urbana é também uma questão de alocação de espaços: a supressão de várzeas inundáveis, naturais ou não, implica sua relocação para jusante, e o mesmo se aplica à áreas de infiltração via impermeabilização”.

Uma estratégia essencial para a obtenção de soluções eficientes para os problemas de drenagem urbana é a elaboração de planos diretores de drenagem. Neste sentido, planos de drenagem urbana que visem apenas à execução de obras de controle tenderão ao fracasso, visto que o problema estará apenas sendo transferido de um local para outro. A macrodrenagem compõe a infra-estrutura urbana, logo deve estar compatibilizada com os demais planos de desenvolvimento urbano do município, principalmente com os relacionados ao abastecimento de água, resíduos sólidos e esgotamento sanitário (CANHOLI, 2005).

Sobre o Plano Diretor de Drenagem, Tucci (2001c, p. 415) coloca que na sua regulamentação,

[...] deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas. Depois que a bacia, ou parte dela, estiver ocupada, dificilmente o poder público terá condições de responsabilizar aqueles que estiveram ampliando a cheia, portanto, se a ação pública não for realizada preventivamente através do gerenciamento, as conseqüências econômicas e sociais futuras serão muito maiores para todo o município.

Para se chegar ao nível de efetividade e abranger os vários aspectos multidisciplinares, é necessário que sejam cumpridas etapas básicas. A etapa inicial se dá a partir do levantamento dos dados necessários para caracterizar a bacia em questão, tais como: dados cartográficos, fisiográficos, dados dos sistemas de drenagem existentes, dados hidrológicos, dados de qualidade da água, dados de ocupação e uso do solo. A partir do levantamento dos dados, são formuladas alternativas para o gerenciamento da drenagem urbana, fixando metas, objetivos e identificando as restrições. Após o levantamento das opções, bem como dos fatores limitantes de implantação, as alternativas são analisadas, verificando a sua viabilidade técnica, econômica e social, a fim de que seja feita a seleção da melhor alternativa e gerado todo o relatório de estudos. Todas estas fases são mostradas no esquema da Figura 2.6.



Figura 2.6: Planejamento de sistemas de drenagem urbana – Fluxograma das atividades principais
Fonte: Canholi (2005, p. 28)

A implementação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana deve ser prévia à urbanização de uma bacia. No entanto, no Brasil, estes planos são pensados e elaborados apenas quando o problema das inundações urbanas se torna visível e traz prejuízos à sociedade.

2.3 Mecanismos Técnico-institucionais para o Controle da Drenagem Urbana

O estudo relativo às soluções em drenagem urbana têm se desenvolvido bastante, com isso, evoluiu-se de um conceito paradigma que considerava somente soluções puramente técnicas para um novo cenário que identifica soluções integradas para o controle das águas urbanas. Com base na vasta bibliografia sobre o tema, pode-se indicar os seguintes meios principais de controle da drenagem urbana:

- (i) Através de medidas que possuem aspectos substancialmente técnicos de engenharia, como a retificação de rios, canalização e execução de condutos subterrâneos, dentre outros. O princípio destas medidas baseia-se, conforme coloca Alves (2005, p.48), “nos hidrogramas gerados, não agindo sobre as causas (fontes) do hidrograma”, ou seja, estas medidas possuem o caráter de resolução do problema de forma localizada, o que faz com que as inundações acumulem-se à jusante da bacia. São consideradas medidas estruturais convencionais, pois se efetivam a partir da execução de obras de engenharia visando apenas a resolução do problema de maneira automática e localizada.
- (ii) Com a execução de obras de engenharia que, associadas ou não aos sistemas tradicionais de drenagem (canalizações), visam incrementar os processos de retardamento do escoamento, seja por meio de mecanismos que propiciam a infiltração da água das chuvas no solo ou por meio de estruturas de retenção dos escoamentos. Nos dois casos, a intenção é a de diminuir os picos de vazão por meio conveniente de armazenamento do deflúvio (CANHOLI, 2005). Estas medidas são denominadas estruturais não convencionais ou compensatórias.
- (iii) Por medidas de proteção e métodos de minimização dos riscos das enchentes, definidos por equipamento legal de planejamento físico das áreas sujeitas a ocorrência dos problemas das inundações. Estas medidas são baseadas em leis e regulamentos que visam a redução dos riscos de inundação de áreas urbanas, estando desta forma agindo de modo nas causas do problema. São consideradas medidas não estruturais, pois a baseiam-se em medidas legais de planejamento urbano.

Neste tópico serão descritas as principais medidas estruturais convencionais, não convencionais e as medidas não estruturais de controle da drenagem urbana. Evidenciando as características de cada uma e as suas aplicações.

2.3.1 Mecanismos estruturais convencionais de controle da drenagem urbana

O controle da drenagem urbana é realizado, em grande parte das cidades brasileiras, a partir da adoção de medidas estruturais convencionais, ou seja, a partir do dimensionamento de um sistema pluvial, obtém-se um número adequado de elementos que irão constituir este sistema.

Inicialmente, cabe fazer uma diferenciação entre as obras utilizadas nos sistemas de microdrenagem e macrodrenagem.

“A microdrenagem urbana é definida pelo sistema de condutos pluviais em nível de loteamento ou rede primária urbana” (BIDONE e TUCCI, 1995, p.77).

A partir da análise das plantas de levantamento topográfico, cadastro e urbanização e analisando os dados relativos ao curso d'água receptor, faz-se a definição do esquema geral de projeto, o qual deve prever o traçado da rede pluvial, a localização das bocas-de-lobo, poços de visita e disposição dos demais componentes.

Para a determinação da vazão de projeto, o método racional é largamente utilizado para pequenas bacias (< 2 km²). Os princípios básicos desta metodologia, conforme Tucci (1995) são:

- A duração da precipitação máxima é igual ao tempo de concentração da bacia;
- Adota um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia;
- Não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.
- A equação modelo é a seguinte:

$$Q = 0,278 C I A$$

onde Q é obtido em m³/s; C é o coeficiente de escoamento; I, a intensidade em mm/h; A, a área da bacia em km².

O dimensionamento dos componentes do sistema de microdrenagem parte da determinação da vazão de projeto, intensidade da chuva, tempo de concentração previsto e período de retorno considerado.

Os principais elementos utilizados neste tipo de sistema, segundo Bidone e Tucci (1995, p.77-78), possuem a seguinte terminologia:

- Galerias: canalizações usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas-de-lobo e das ligações privadas;

- Poço de visita: dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem mudança de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro e inspeção e limpeza das canalizações;
- Trecho: porção da galeria situada entre dois poços de visita;
- Bocas-de-lobo: dispositivos localizados em pontos convenientes das sarjetas, para captação das águas pluviais;
- Tubos de ligações: são canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para galerias ou para poços de visita;
- Meios-fio: elemento de pedra ou concreto, colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio;
- Sarjetas: faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam;
- Sarjetões: calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas, formadas pela própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas;
- Conduitos forçados: obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas, de maneira segura e eficiente, sem preencher completamente a seção transversal dos conduitos;
- Estações de bombeamento: conjunto de obras e equipamentos destinados a retirar a água de um canal de drenagem, quando não mais houver condição de escoamento por gravidade, para um outro canal em nível mais elevado ou receptor final na drenagem em estudo.

Tucci (2006, p.79) afirma que a adoção de projetos que tem como princípio a idéia de que “a melhor drenagem é a que retira a água pluvial excedente o mais rápido possível do seu local de origem”, aliada à avaliação e controle por trechos, ou seja, adoção de soluções para algum trecho de uma determinada bacia sem previsão para o restante dela, têm vários impactos na drenagem das cidades.

Ainda segundo Tucci (2006), estes impactos podem ocorrer de acordo com uma sequência de estágios, conforme exposto na Figura 2.7, onde o primeiro caracteriza-se pela distribuição da urbanização pela bacia, na qual há uma maior densificação à jusante. A partir da impermeabilização do solo e uso de conduitos nos locais de pequena

seção ou mudança de declividade, são geradas as inundações. Neste estágio, Tucci (2006) afirma que a bacia está parcialmente urbanizada. Em um segundo estágio, as canalizações são executadas já a jusante. Ora, se já existe um nível de pré-urbanização à montante, o hidrograma à jusante do trecho urbanizado tende a aumentar. No terceiro estágio prevê-se a expansão da urbanização para montante, juntamente com a canalização. Há, portanto, um aumento considerável das vazões máximas e dos volumes, retornando as inundações aos trechos anteriormente canalizados, o que gera uma nova rodada de aumento de seções.

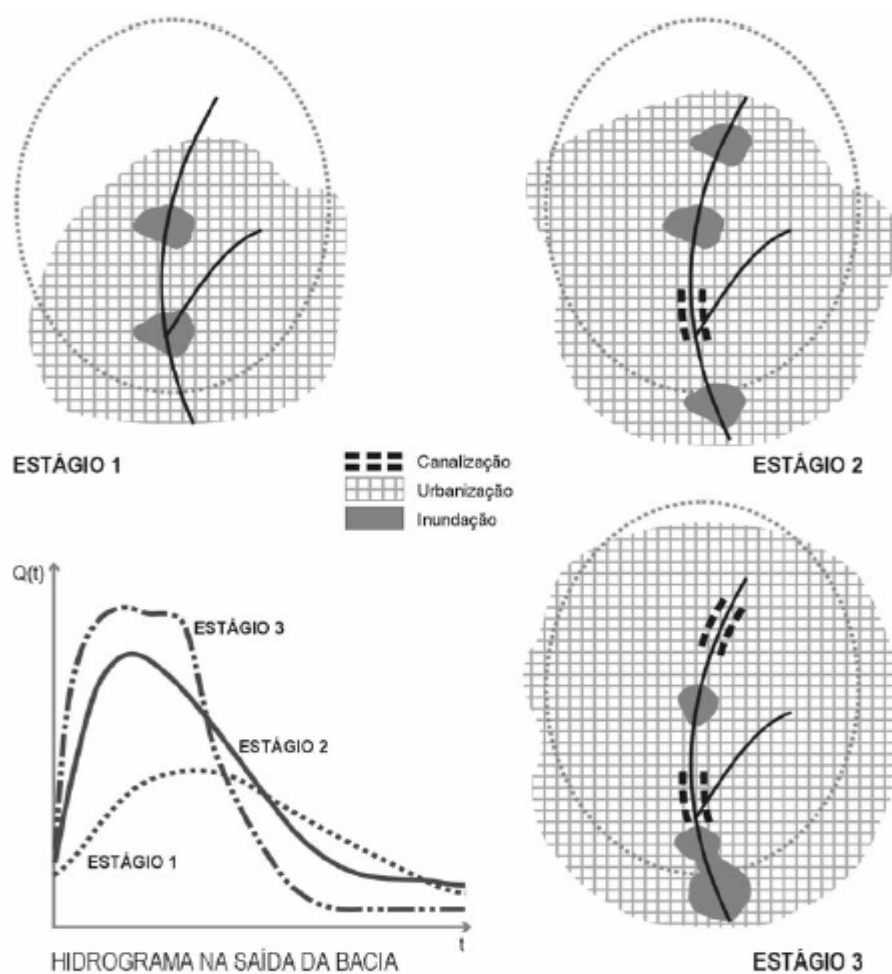


Figura 2.7: Estágios de desenvolvimento da drenagem

Fonte: Tucci (2006, p. 80)

Tucci (2006) conclui afirmando que a canalização apenas transfere a inundação para jusante, e as soluções a serem adotadas ficam cada vez mais caras de serem implantadas.

Apenas a implementação de medidas estruturais convencionais não é garantia de solução para os problemas de drenagem de uma cidade. O princípio que deve

prevalecer é o de se utilizar soluções combinadas, de modo que as águas pluviais sejam, em grande parte, contidas na fonte, e que os eventos de alagamento não sejam apenas transferidos de um ponto a outro da bacia urbana.

A macrodrenagem envolve bacias com área superior a 2 km². Nestas áreas o escoamento é composto pela drenagem de áreas urbanizadas e não urbanizadas. O planejamento da drenagem urbana na macrodrenagem é mais complexo que na microdrenagem, visto que envolve a definição de cenários, medidas de planejamento no controle de macrodrenagem e estudos de alternativas de projetos.

Segundo Martins (1995, p.169), as obras de macrodrenagem constituem-se, normalmente,

[...] na retificação e ampliação das seções de canais naturais, construção de canais artificiais ou galerias de grandes dimensões e, ainda, em estruturas auxiliares para controle, dissipação de energia, amortecimento de picos, proteção contra erosões e assoreamentos, travessias e estações de bombeamento.

Na Figura 2.8 é possível visualizar uma obra de macrodrenagem realizada em Guaratinguetá, São Paulo, Brasil. Segundo informação no sítio da Prefeitura de Guaratinguetá (2008), toda a obra de implantação do sistema de macrodrenagem do Bairro Jardim do Vale está orçada em 15 milhões de reais.



Figura 2.8: Tubulação para macrodrenagem
Fonte: Guaratinguetá (2008)

A Figura 2.9 mostra a execução de um canal de macrodrenagem. A referida obra está sendo executada atualmente na cidade de Iguatu, Ceará, Brasil. Após a conclusão da obra, serão 390 metros de canal em paredes de concreto armado, com custo estimado de R\$ 789.526,00 (RODRIGUES, 2010).



Figura 2.9: Execução de canal de macrodrenagem
Fonte: Rodrigues (2010)

A macrodrenagem convencional, apenas com a execução de obras para o escoamento das águas da chuva, também gera, a longo prazo, o aparecimento de novos pontos de inundação, ou seja, assim como na microdrenagem, é necessário que as alternativas a serem adotadas contemplem não só obras que direcionam as águas pluviais de um ponto a outro da bacia, mas que regularizem as vazões de escoamento superficial a partir do amortecimento dos hidrogramas, seja por infiltração, detenção, retenção ou retardamento das águas da chuva ou retardamento do escoamento.

2.3.2 Mecanismos estruturais não convencionais de controle da drenagem urbana

As medidas não convencionais para o controle da drenagem urbana, conforme explica Canholi (2005), podem ser entendidas como estruturas, obras, dispositivos ou conceitos diferenciados de projeto onde a preocupação está em reduzir os picos de vazão gerados pelas chuvas, e não somente agindo para controlar o efeitos dos picos de vazão, mas também no retardamento do escoamento, seja por meio de reservação ou infiltração das águas pluviais.

Um conceito amplamente utilizado para a aplicação em medidas inovadoras de drenagem é o de detenção dos escoamentos. Canholi (2005) coloca que “a finalidade principal deste tipo de solução é promover a redução do pico de enchente, por meio do amortecimento das ondas de cheia, obtido pelo armazenamento de parte do volume escoado”.

Na Figura 2.10 são apresentados, de um lado, alguns dispositivos empregados nos projetos que priorizam o conceito de canalização e, de outro, os dispositivos mais empregados nos projetos que buscam ampliar a metodologia de abordagem para o controle das águas urbanas, utilizando da reservação na fonte ou a jusante, comparando os hidrogramas gerados em cada sistema. Observa-se na Figura que os picos de cheia gerados nos sistemas convencionais (canalização) são bem mais elevados que os gerados nos sistemas que se utilizam de elementos projetados com base nos conceitos de reservação.

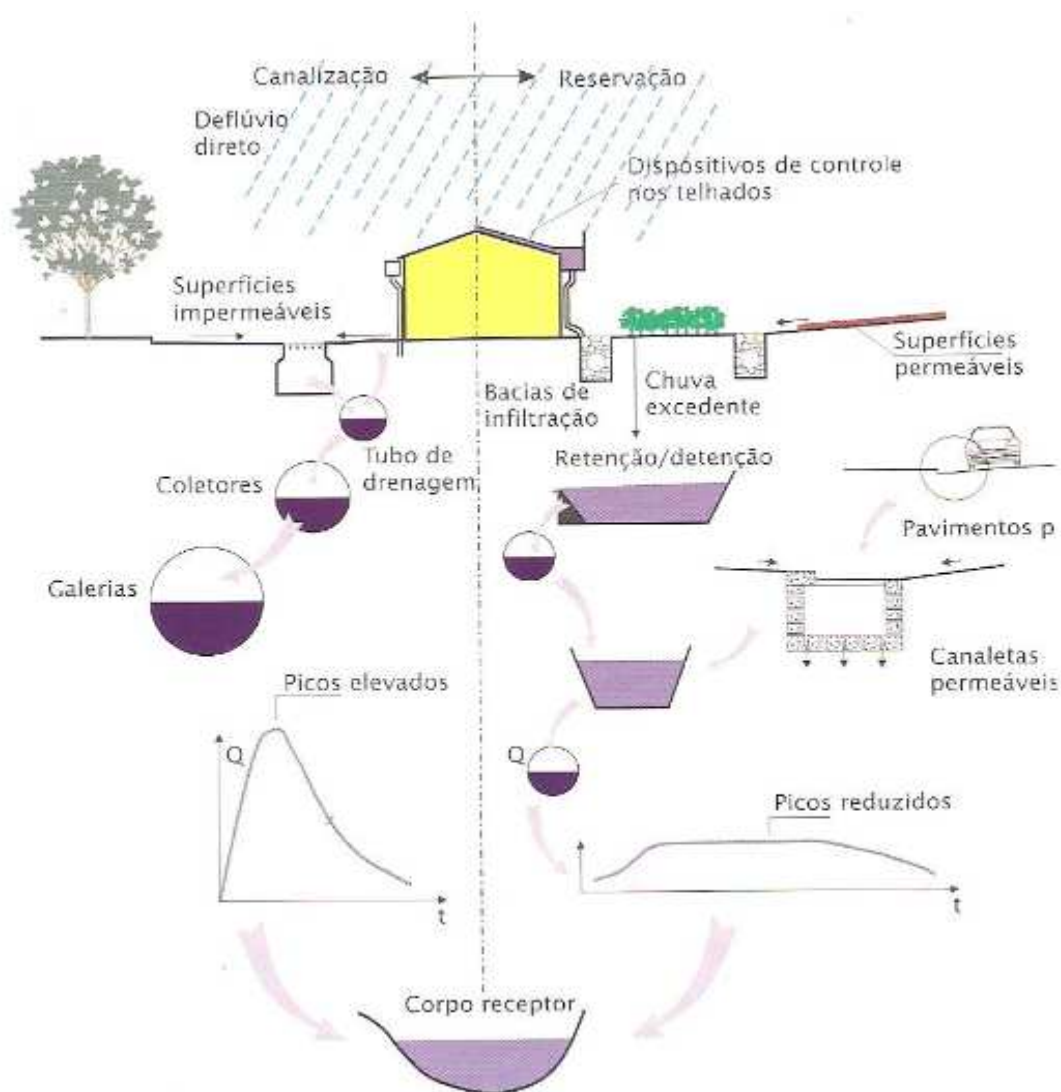


Figura 2.10: Esquema comparativo entre canalização e reservação
Fonte: Canholi (2005, p. 36)

Estes sistemas de reservação são classificados, segundo Canholi (2005), de acordo com a sua localização no sistema de drenagem em sistemas de contenção na fonte e sistemas de contenção a jusante.

Os sistemas de contenção na fonte compreendem dispositivos de pequenas dimensões e localizados próximo aos locais onde os escoamentos são gerados. Destacam-se neste tipo de sistema as superfícies de infiltração, valetas de infiltração, lagoas de infiltração, bacias de percolação, pavimentos permeáveis e poços de infiltração.

A Figura 2.11 apresenta o esquema de uma superfície de infiltração combinado com uma valeta de infiltração. Este mecanismo permite controlar as águas do escoamento superficial através da infiltração no solo, o que reduz a velocidade do escoamento. A infiltração nas valetas se dá ao longo do seu comprimento, enquanto que na superfície de infiltração, sobre a área total de infiltração.

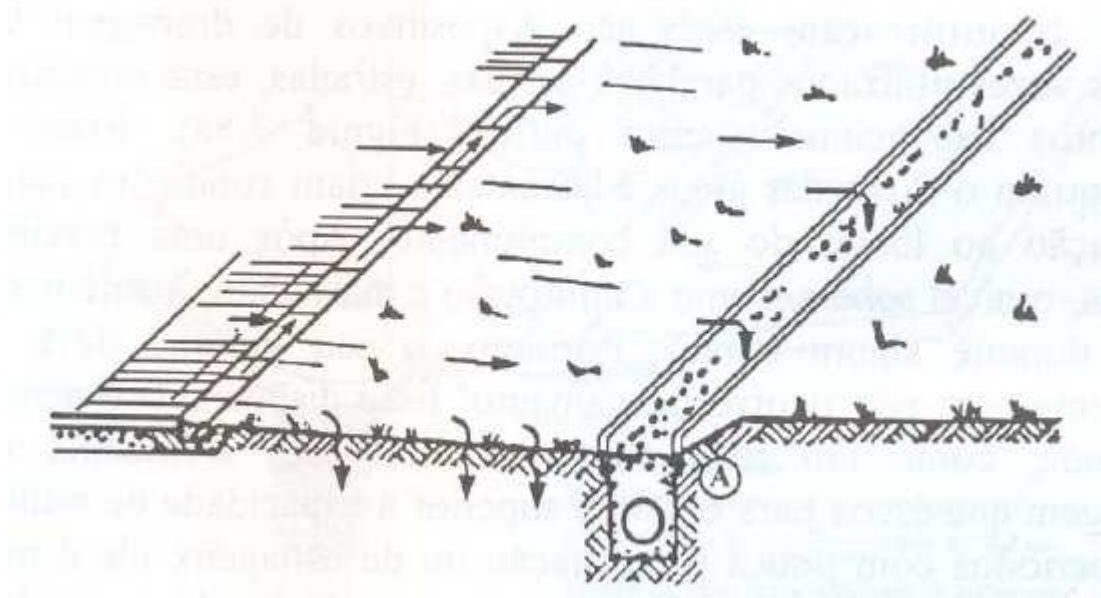


Figura 2.11: Superfície de infiltração com trincheira de infiltração
Fonte: Sieker, 1984 apud Tucci e Genz, 1995, p.293

Outro dispositivo de contenção na fonte é a adoção de pavimentos permeáveis. Os pavimentos permeáveis constituem-se de elementos celulares de concreto que podem ser colocados em camadas permeáveis, geralmente sobre bases de material granular, Canholi (2005). Em estudo para avaliar a eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial, Araújo et al (2000) constatou que para uma chuva simulada de 111,9 mm/h, praticamente não ocorria escoamento superficial. O autor sugere a utilização dos pavimentos permeáveis em estacionamentos para veículos leves. Na Figura 2.12 são apresentados alguns tipos de pavimentos permeáveis.

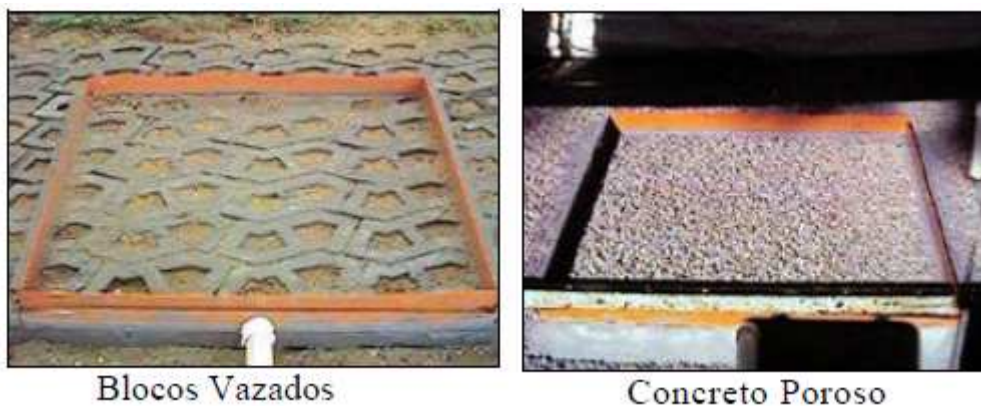


Figura 2.12: Tipos de pavimentos permeáveis
Fonte: Araújo, 2000

Os sistemas de contenção a jusante, conforme explica Canholi (2005), dizem respeito às obras para reservação das águas das chuvas a jusante, as quais controlam os deflúvios provenientes de partes significativas da bacia. Estas obras possuem uma dimensão maior que as obras de contenção na fonte. Alguns exemplos são as bacias de retenção, bacias de detenção e bacias e sedimentação.

Bacias de retenção são reservatórios que servem para outros fins que não apenas o de retenção de parte das águas das chuvas, ou seja, estes reservatórios sempre possuem um determinado volume de água a fim de possibilitar o desenvolvimento de diversas atividades. Nos períodos de chuva, este volume de água acumulada aumentará, voltando aos níveis normais logo após o fim do período chuvoso (CANHOLI, 2005).

Na Figura 2.13 é apresentada a foto de uma bacia de retenção existente no Município de Uberaba, Estado de São Paulo, Brasil.



Figura 2.13: Bacia de retenção
Fonte: Canholi, 2005

Bacias de detenção são reservatórios que só acumulam água durante e após as chuvas. Nos demais períodos do ano permanecem secos, podendo também ser usados como locais de desenvolvimento de algumas atividades recreacionais ou paisagísticas (CANHOLI, 2005).

Na Figura 2.14 é possível identificar uma bacia de detenção próximo à uma região residencial. Esta bacia de detenção foi executada na cidade de Santo André, Estado de São Paulo, Brasil, e possui área verde e de lazer incorporadas que podem ser aproveitadas no período de estiagem.



Figura 2.14: Bacia de detenção
Fonte: Canholi, 2005

Bacias de sedimentação: são reservatórios que têm como função principal reter sólidos em suspensão ou absorver poluentes que são carregados pelos escoamentos superficiais (TUCCI, 1995).

Na Figura 2.15 é apresentado esquema de uma bacia de sedimentação, onde os sólidos vão sendo retidos em valas existentes na bacia. Este dispositivo atua tanto no controle quantitativo como qualitativo das águas de chuva, pois além de retardar o escoamento, possibilita a retenção dos sólidos que podem contaminar outros pontos da bacia ou obstruir sistemas de drenagem complementares.

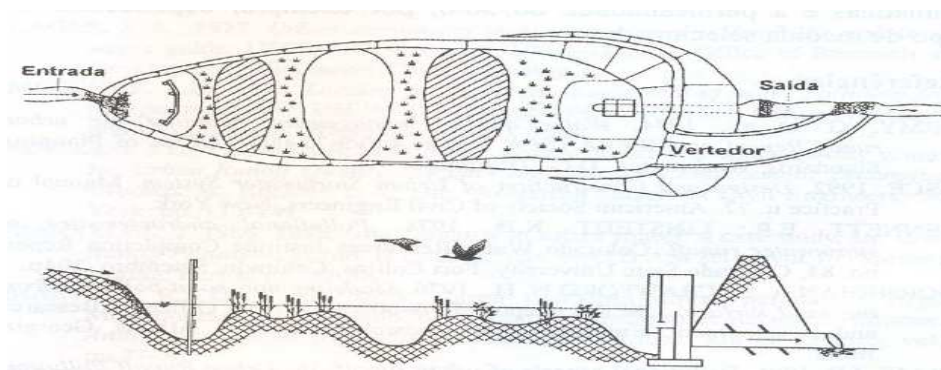


Figura 2.15: Bacia de sedimentação
Fonte: Urban Drainage and Flood Control District, 1992 apud Tucci, 1995, p.425

As medidas não convencionais, dependendo da característica de cada uma, tanto podem ser adotadas em áreas onde já exista um nível de urbanização considerável implantado, como também possibilitam um melhor planejamento para as águas de escoamento superficial a serem geradas em próximos estágios de ocupação da bacia, evitando os gastos de maiores custos para implantação de sistemas de canalização corretivos.

2.3.3 Mecanismos não estruturais de controle da drenagem urbana

As medidas não estruturais têm um caráter preventivo no que se relacionam com os prejuízos decorrentes das inundações urbanas. Alves (2005, p.49) coloca que “estas medidas envolvem leis e regulamentos para a minimização dos riscos, planejamento para o desenvolvimento e uso das áreas sujeitas à inundação, sistemas de alerta de enchentes, zoneamento de áreas de inundação, etc.”.

A legislação urbana é um dos principais instrumentos para a implementação de medidas não estruturais, pois controla e direciona os aspectos do planejamento urbano em diversos aspectos. Contudo, ainda não foi dada a devida importância à matéria da drenagem urbana quando da elaboração das legislações que regem a organização das cidades.

As legislações urbanas são carentes em diversos aspectos relativos ao controle das enchentes urbanas. Entre eles destaca-se a carência de uma legislação voltada aos resíduos sólidos, que são responsáveis por boa parte dos problemas dos sistemas de drenagem, principalmente no relacionado à incorreta disposição de materiais nas vias públicas, pois com as chuvas, este material é carregado, comprometendo o perfeito funcionamento dos equipamentos do sistema de drenagem (CORDEIRO; VAZ, 2000).

Ainda sobre legislação urbana, Alves (2005, p.50) afirma que, “uma das medidas preventivas mais citadas para o planejamento do sistema de drenagem urbana é o zoneamento de áreas de inundação”. O zoneamento possibilita a criação de um mapa de inundação, no qual se pode indicar o risco de inundação de determinadas áreas para o planejamento da ocupação ou implantação de equipamentos de drenagem.

Tucci (2001) propõe a regulamentação de elementos básicos destinados a reduzir o impacto gerado pelo aumento das áreas impermeáveis em nível de lote. Propõe que toda edificação que resulte em superfície impermeável, aprovado pelo poder público municipal, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede

municipal de águas pluviais. Esta vazão deve ser função das características do sistema de drenagem pluvial da região. Neste sentido, a legislação visa regular o escoamento superficial gerado devido à ocupação dos lotes. Este controle do escoamento de saída dos lotes pode se dar por meio de manutenção de áreas permeáveis no próprio lote, ou, a partir da execução de reservatórios de acumulação de água das chuvas, de modo que as águas acumuladas podem ser utilizadas para diversos usos como a lavagem de calçadas e carros, ou uso em vasos sanitários. Por meio da Legislação é possível regulamentar a adoção de medidas estruturais que visem à redução dos picos de vazão do escoamento superficial.

2.4 A cidade de Teresina

Teresina é a capital do Estado do Piauí (Figura 2.16) e está localizada no Centro-norte do estado, e meio-norte do nordeste brasileiro, com Latitude Sul: 05° 05' 12'' e Longitude Oeste: 42° 48' 42'' (TERESINA, 2010a).

A sua área metropolitana, Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina, composta pela capital e os municípios de Altos, Beneditinos, Coivaras, Currealinhos, Demerval Lobão, José de Freitas, Lagoa Alegre, Lagoa do Piauí, Miguel Leão, Monsenhor Gil e União, no Piauí, além de Timon, no Maranhão, tem mais de 1,15 milhão de habitantes (TERESINA, 2010b).

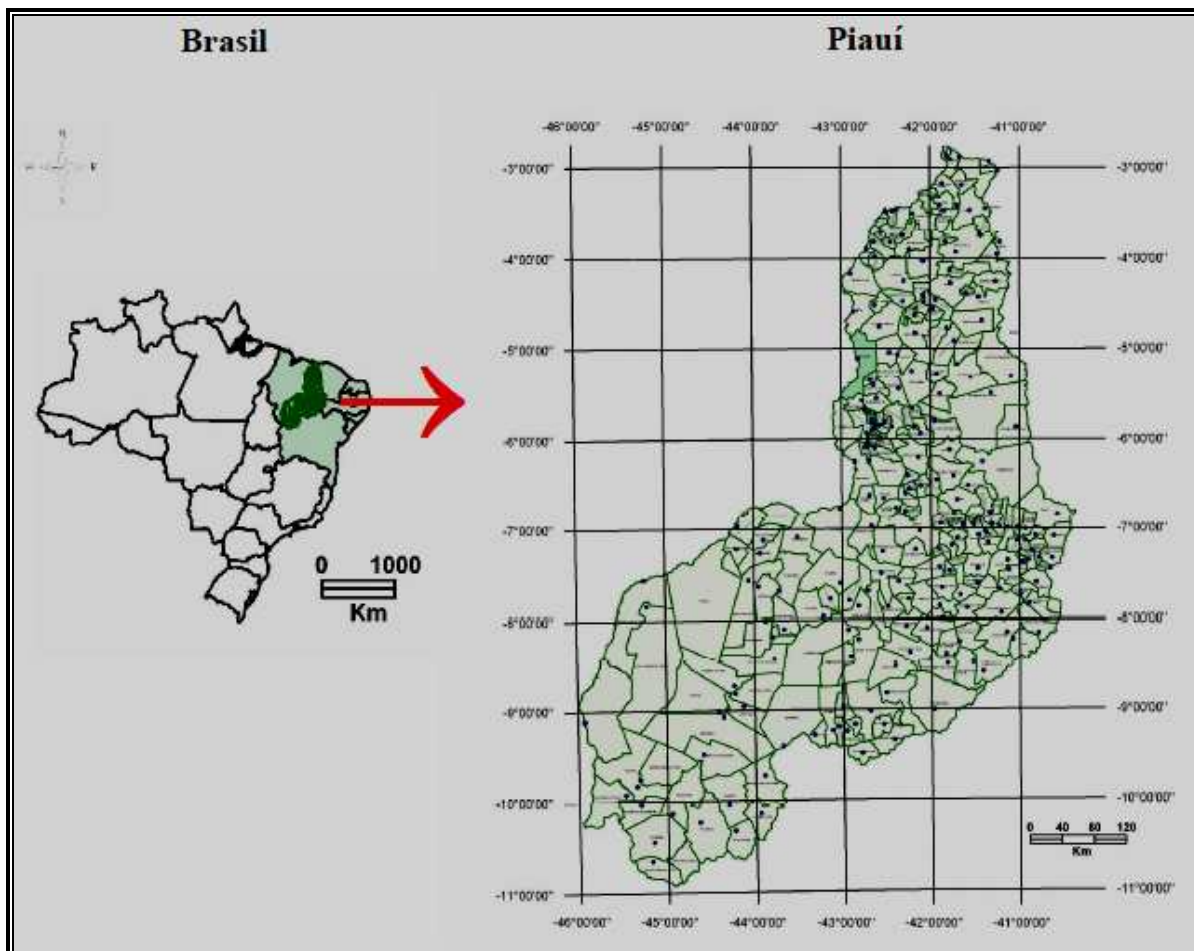


Figura 2.16: Localização do Estado do Piauí
Fonte: SILVA (2008), com adaptações

Teresina apresenta no seu contorno geográfico a seguinte delimitação (TERESINA, 2010):

- Ao norte: União, José de Freitas;
- Ao sul: Palmeirais, Monsenhor Gil e Curalinhos;
- Ao leste: Altos, Demerval Lobão, Lagoa do Piauí e Pau d'Arco do Piauí;
- Ao oeste: estado do Maranhão.

A cidade é dividida administrativamente em cinco regiões (Figura 2.17), as quais têm seus planos de desenvolvimento urbano conduzidos pelas respectivas Superintendências de Desenvolvimento Urbano (SDU's). As SDU's são coordenadas, supervisionadas e avaliadas pela Secretaria de Planejamento e Coordenação (SEMPPLAN), fazendo parte da administração direta do município, subordinadas ao chefe do poder executivo municipal (TERESINA, 2010c).

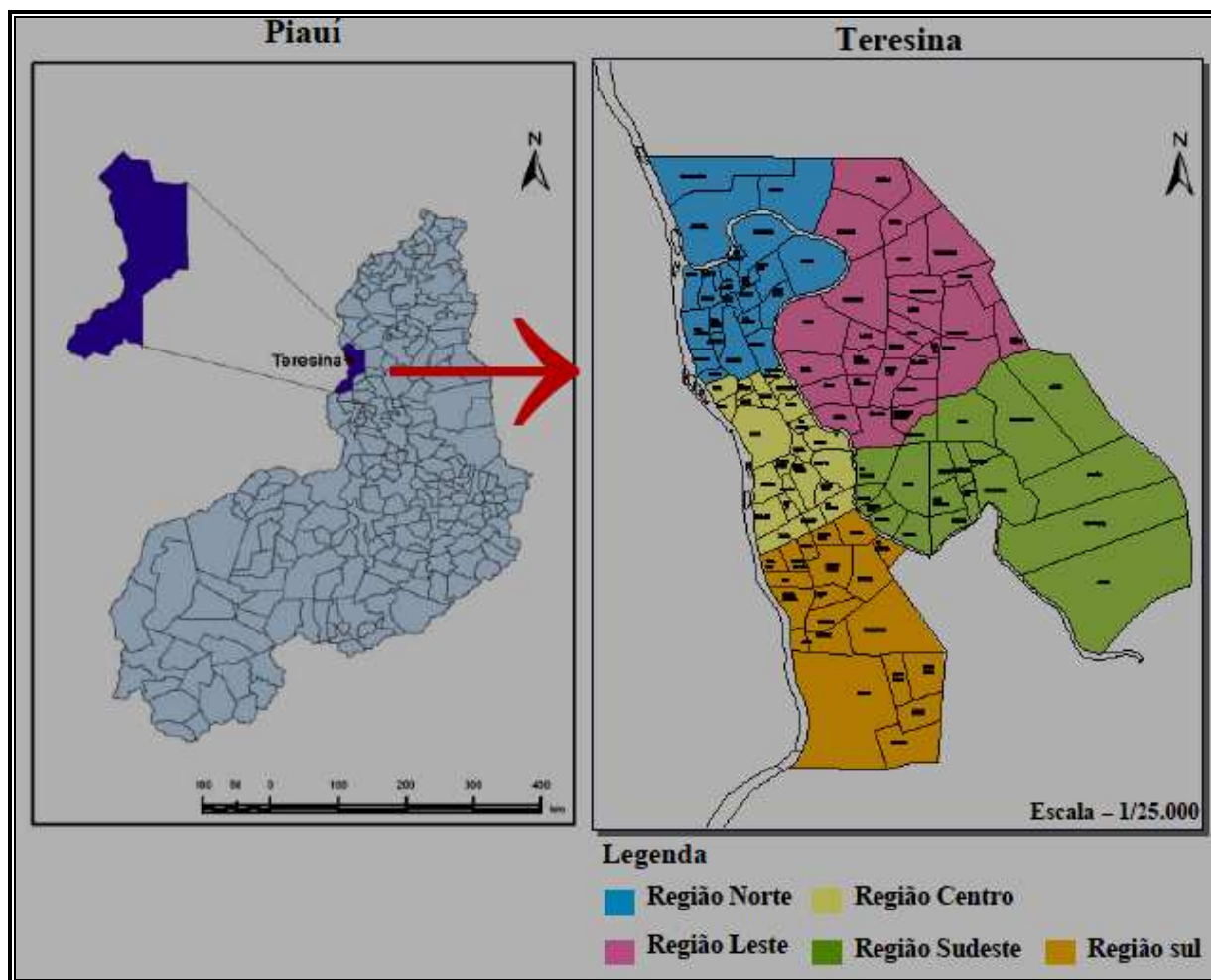


Figura 2.17: Regiões Administrativas de Teresina
Fonte: SILVA (2008)

Quanto à urbanização da cidade Teresina, segundo IBGE, entre os anos de 1991 a 2010, o município teve uma taxa média de crescimento geométrico de 2,03%. Observa-se pelo Quadro 2.1 que a taxa de urbanização do município de Teresina em 2010 está na ordem de 94,26%.

Este aumento considerável da população urbana de Teresina acarreta numa ocupação para fins de construção de conjuntos habitacionais de áreas antes consideradas rurais. Acompanhando o incremento habitacional estão as obras de infraestrutura mínimas: rede abastecimento de água, iluminação pública, pavimentação e equipamentos urbanos. Há, portanto, a necessidade de relacionar o aumento populacional na área urbana de Teresina à sustentabilidade ambiental dos novos assentamentos humanos, bem como dos já existentes.

Tabela 2.1 Evolução demográfica do município de Teresina – 1872 a 2010

ANO	POPULAÇÃO TOTAL	POPULAÇÃO URBANA		POPULAÇÃO RURAL		TAXA GEOMÉTRICA DE CRESCIMENTO ANUAL			DENSIDADE DEMOGRÁFICA	TAXA DE URBANIZAÇÃO
		HAB.	%	HAB.	%	TOTAL	URBANA	RURAL		
1872	21.692,00	-	-	-	-	-	-	-	11,99	-
1890	31.523,00	-	-	-	-	2,10	-	-	17,43	-
1900	45.316,00	-	-	-	-	3,70	-	-	25,05	-
1920	57.500,00	-	-	-	-	1,20	-	-	31,79	-
1940	67.641,00	34.695,00	51,29	32.946,00	48,71	0,82	-	-	37,39	51,29
1950	90.723,00	51.417,00	56,67	39.306,00	43,33	2,98	4,01	1,78	50,15	56,67
1960	142.691,00	98.329,00	68,91	44.362,00	31,09	4,63	6,70	1,22	78,88	68,91
1970	220.487,00	181.062,00	82,12	39.425,00	17,88	4,45	6,29	-1,17	121,88	82,12
1980	371.988,00	339.042,00	91,14	32.946,00	8,86	5,37	6,47	-1,78	205,63	89,75
1991	599.272,00	556.911,00	92,93	42.361,00	7,07	4,38	4,61	1,61	329,58	92,93
1996	655.473,00	613.767,00	93,64	41.706,00	6,36	1,81	1,96	-0,31	362,34	93,64
2000	715.360,00	677.470,00	94,70	37.890,00	5,30	2,03	-	-	427,25	94,70
2010	814.230,00	767.557,00	94,27	46.673,00	5,73	-	-	-	-	94,70

Fonte: Censo IBGE, 2010

2.4.1 A Zona Leste de Teresina

A zona leste de Teresina é formada por 27 bairros, segundo dados da Prefeitura Municipal (TERESINA, 2010a).

Melo e Bruna (2009), afirmam que o crescimento da zona leste da cidade de Teresina foi possível somente após a construção da ponte sobre o Rio Poti, em 1957, ligando a Avenida Frei Serafim à zona leste da cidade. A partir desse ano, a zona leste experimenta um crescente adensamento populacional, com incremento considerável a partir da implantação da rede coletora de esgotos na região próxima ao Rio Poty, ocasionando uma valorização crescente dos imóveis da região.

A área de estudo está localizada na zona leste da cidade, compreendendo cerca de 700 ha, limitada por um polígono delimitado: ao norte, em 1,10 km pela Av. Petrônio Portela e sua continuação pela Av. Visconde da Parnaíba, em 2,70 km; a leste, Av. Presidente Kennedy, na extensão de 1,80 km, até o cruzamento com a Av. João XXIII, ao sul, seguindo cerca de 2,20 km a oeste, até a Av. Raul Lopes, localizada à margem do Rio Poty – ponto mais a jusante da sub-bacia, a qual segue-se cerca de 2,50 km ao norte até encontrar Av. Petrônio Portela novamente. Esta região localiza-se na micro-bacia do Rio Poty. Este polígono abrange quatro bairros, sendo eles: Ininga, Jóquei, Horto e Fátima.

Sócio-econômicamente, a região é considerada “nobre”, com renda média mensal das pessoas responsáveis pelo domicílio de R\$ 3.219,15, segundo dados do ano de 2000 da Secretaria Municipal de Planejamento – SEMPLAN.

A região de estudo conta com infraestrutura de rede de energia elétrica, iluminação pública, rede coletora de esgoto sanitário, rede de abastecimento de água, sistema de coleta das águas pluviais (galerias).

Ainda, nesta região da zona leste localizam-se variadas opções de lazer, entretenimento, educação, comércio e grande concentração de habitações multifamiliares verticais. Como se pode ver nas figuras 2.18 e 2.19.



Figura 2.18: Avenida Dom Severino – Bairro Jóquei
Fonte: Foto João Macêdo, 2010



Figura 2.19: Avenida Homero Castelo Branco – Bairro Jóquei
Fonte: Foto João Macêdo, 2010

Topograficamente, observa-se, pela Figura 2.20, que a região possui declividade relativamente baixa (0,01 m/m aproximadamente), o que favorece o aparecimento de pontos de alagamento. Devido à disposição das curvas de nível, as águas precipitadas na região tendem a direcionarem-se no sentido leste-oeste, passando por uma região altamente adensada, impermeabilizada e de topografia plana, o que favorece o aparecimento de pontos de inundação. Praticamente toda a água que

precipita na sub-bacia tende a escoar para a região de estudo, até chegar no Rio Poty. Contudo, como a região possui declividade natural baixa, pouca capacidade de permeabilidade do solo e ruas estreitas que funcionam como “calhas” de escoamento das águas da chuva, as águas tendem a se acumular em diversos pontos antes de seguirem para os equipamentos de drenagem existentes.

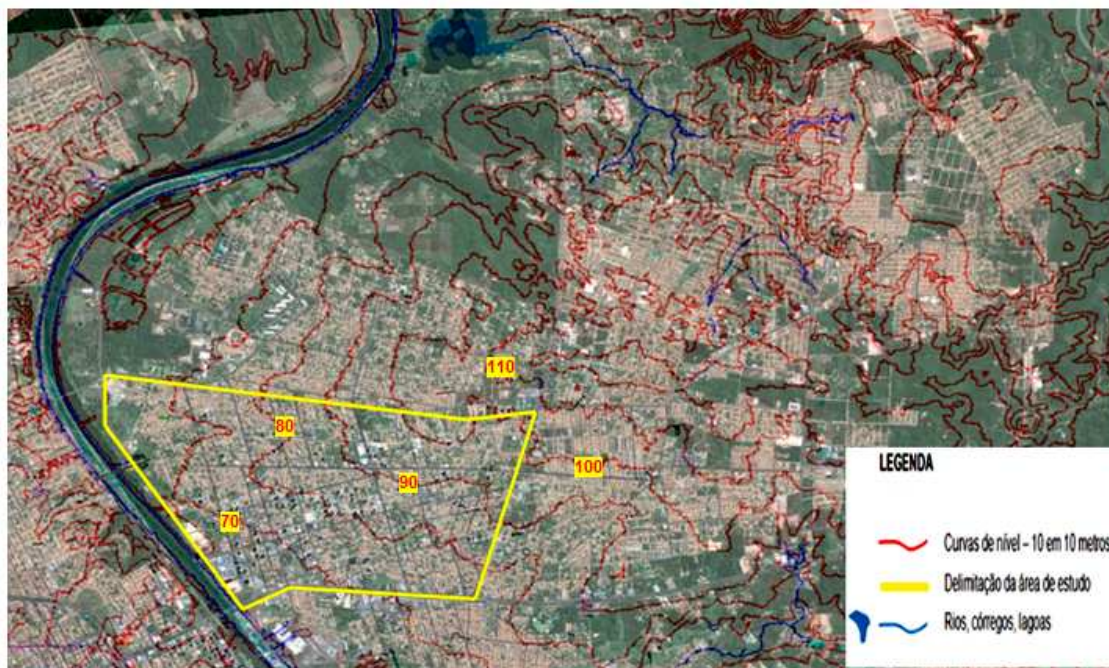


Figura 2.20: Curvas de nível de sub-bacia da zona leste. Teresina, Piauí.

Fonte: Águas e Esgotos do Piauí SA – AGESPISA, com adaptações.

Verifica-se que, atualmente, o sistema de drenagem da região não é capaz de absorver toda a água escoada no período de tempo necessário para evitar as inundações, talvez por obstrução da canalização ou subdimensionamento do sistema.

3 REFERÊNCIAS

ALVES, E. M. **Medidas não-estruturais na prevenção de enchentes em bacias urbanas**: cenários para a bacia do Gregório. São Carlos, SP. 2005. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E.M., GOLDENFUM, J. A. Análise da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. da M. (Org.) **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade-UFRGS, 2000. v.1, p.351-362.

BENINI, R. M. **Cenários de Ocupação Urbana e Seus Impactos no Ciclo Hidrológico da Bacia do Córrego do Mineirinho**. São Carlos, SP. 2006, 141p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

BIDONE, F. R. A., TUCCI, C. E. M. Microdrenagem. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.) **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade-UFRGS, 1995, p.77-105.

BERTONI, J. C., MAZA, J. A. E PAOLI, C. U. Inundações Urbanas nos Países da América do Sul - Argentina. In: TUCCI, C.E.M., BERTONI, J.C. (Org.) **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003, cap. 4, p.1-102.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CORDEIRO, J.S.; VAZ FILHO, P.: Diagnóstico de drenagem urbana na região central do estado de São Paulo. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 17. 2000, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre, 2000. Disponível em: <<http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/x-009.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2010.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p.59-71, Jul/Set, 2008.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; TURCKNICZ, B. Análise da influência dos instrumentos reguladores de ocupação no escoamento urbano. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. da M. (Org.). **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora Universidade – UFRGS, 2001. v. 2. p. 487-498.

FRANÇA, K. **Chuva forte causa transtornos, alaga tudo e para trânsito de THE**. Portal 180 graus. Teresina, 30 dez. 2009. Disponível em: <<http://180graus.brasilportais.com.br/geral/chuva-forte-causa-transtornos-alaga-tudo-e-para-transito-de-the-278446.html>>. Acesso em: 18 jun. 2010.

GARCIA, J. I. B. PAIVA, E. M. C. D. Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do arroio Cancela – RS. **RBRH – Revista Brasileira de**

Recursos Hídricos. Volume 11. N.4. Out/Dez 2006, 99-118.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. Avaliação das cheias em bacia urbana com diferentes graus de impermeabilização. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 7., 2005, Évora, Portugal. **Anais...** Évora, Portugal: ABRH, 2005.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica e hidrologia na gestão de águas pluviais.** São Paulo: Cengage Learning, 2009.

GUARATINGUETÁ – Prefeitura Municipal. Prefeito visita obras de macrodrenagem do Jardim do Vale. **Prefeitura de Guaratinguetá.** 25 de fevereiro de 2008. Disponível em: <http://www.guaratingueta.sp.gov.br/novo/?&ref_noticia=25028> Acesso em: 01/08/2010

JAEL, G. Efeitos da chuva em Teresina são caóticos. **Jornal O Dia.** 30 dez. 2009. Disponível em: <<http://www.sistemaodia.com/noticias/efeitos-da-chuva-em-teresina-sao-caoticos-64885.html>>. Acesso em: 08 jul. 2010.

KAUFFMANN, M. O. **Expansão Urbana e Qualidade de Vida:** proposta para desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade aplicados à Legislação Urbanística. 2003. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do estado do Rio de Janeiro – UERJ.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de Saneamento. Drenagem urbana e grau de urbanização.** 2000. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/pdfs/mappag73.pdf>. Acesso em: 09 jul 2010.

MARTINS, P. A. G. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas:** estudo de bacias de amortecimento na Região Metropolitana de São Paulo. Campinas,SP. 2006. 181p. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências exatas, Ambientais e de Tecnologias.

MARTINS, J. R. S. Obras de macrodrenagem. . In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, p.167-240.

MELO, C. C. J.; BRUNA, G. C. Desenvolvimento urbano e regional de Teresina, Piauí, Brasil e sua importância no atual quadro de influência na Rede Urbana Regional no Brasil. In: CONGRESSO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE CABO VERDE, 1., 2009, Teresina. **Anais Eletrônico.** Disponível em: <<http://www.apdr.pt/congresso/2009/pdf/Sess%C3%A3o%2037/245A.pdf>>. Acesso em 01/10/2010.

MENDES, H. C.; MEDIONDO, E. M. Histórico da Expansão Urbana e Incidência de Inundações: O Caso da bacia do Gregório, São Carlos - SP. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** v 12, n. 1, p.17-20. Jan/Mar, 2007.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003, 356p.

PEPLAU, G. R. **Influência da variação da urbanização nas vazões de drenagem na Bacia do Rio Jacarecica em Maceió – AL**. Recife-PE. 2005, 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pernambuco.

PÔMPEO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p.15 – 23, 2000.

PORTELA, C. Chuvas em pleno B-R-O-BRÓ surpreendem piauienses. **Jornal O Dia**. Teresina, 26 out. 2009. Disponível em: <<http://www.sistemaodia.com/noticias/chuvas-em-pleno-b-r-o-bro-surpreendem-piauienses-58562.html>>. Acesso em: 08 jul. 2010.

RIBEIRO, R. Amorim. **Forma urbana e tipo de uso do solo como fatores determinantes para a geração de áreas urbanas impermeáveis**. Porto Alegre, 2006, 184 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura.

RODRIGUES, L. **Prefeitura de Iguatu avança em obras de pavimentação e drenagem**. Disponível em: <http://www.lindomarrodrigues.com/2010_10_28_archive.html> Acesso em: 20 de novembro de 2010.

SCARLATO, F. C. **O ambiente urbano**. São Paulo: Atual, 1999. – (Série meio ambiente).

SILVA, A. K. M. Resíduos **Sólidos Industriais da Cidade de Teresina**. Teresina-PI, 2008, 141p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí.

SILVEIRA, A.L.L. da Hidrologia Urbana no Brasil. In: TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M.L.M (Org.). **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000. v.1, p.511-525.

SOUZA, M. L. **ABC do desenvolvimento urbano**. 3ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 192p.

TERESINA (2006a). **Lei nº 3.560, de 20 de outubro de 2006**. Define as diretrizes para uso do solo urbano do Município de Teresina e dá outras providências.

TERESINA (2006b). **Lei nº 3.561, de 20 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano do Município de Teresina e dá outras providências.

TERESINA (2006c). **Lei nº 3.563, de 20 de outubro de 2006**. Cria zonas de preservação ambiental, institui normas de proteção de bens de valor cultural e dá outras providências.

TERESINA (2006d). **Lei nº 3.562, de 20 de outubro de 2006**. Define as diretrizes para a ocupação do solo urbano e dá outras providências.

TERESINA (2007). **Lei nº 3.608, de 04 de janeiro de 2007**. Dá nova redação ao Código de Obras e Edificações de Teresina e dá outras providências.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação – SEMPLAN. (2010a). **Teresina em Bairros: Bairros da zona leste**. Disponível em: <http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt/orgao/downloads.php?doc_codigo=149&org_codigo=14&cat_codigo=69> . Acesso em: 01 nov. 2010

TERESINA. Prefeitura Municipal de Teresina. (2010b). **Conheça Teresina**. Disponível em: <http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt2010/mini_topo.php?url=http://www.teresina.pi.gov.br:8080/semdec/default.asp>. Acesso em: 10 out. 2010

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação - SEMPLAN. **Quem Somos**. Disponível em: <http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt2010/mini_topo.php?url=http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt/orgao/index.php?org_codigo=14>. Acesso em 01/11/2010 (2010c).

TRIBUNA DO SOL. [Sem título]. 2009. Imagem JPEG. Tamanho 56013 bytes. Dimensões 530 x 307 pixels. Disponível em: <www.tribunadosol.com.br/arquivos/homerochuvass.jpg>. Acesso em: 18 jun. 2010.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 194p. (Saneamento para Todos; 4º volume)

_____. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUDISI, J. G. (Orgs) **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Ed. Escrituras, 2006, 3 ed., cap. 12.

_____. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 2, n.2, Jul/Dez, 1997, 5-12.

_____. Aspectos Institucionais do Controle das Inundações Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001c, v. 2, p. 405-419.

_____. Escoamento Superficial. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, ABRH, EDUSP.2001b, cap. 16, p. 391-441.

_____. Elementos para o controle da drenagem urbana. In: TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001a, p.421-437.

_____. A necessidade do planejamento da drenagem urbana. In: TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M (Org.) **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000, p.499-501.

_____. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, p.15-36.

4. IMPORTÂNCIA DA LEGISLAÇÃO URBANA PARA O CONTROLE DA DRENAGEM: ESTUDO NA CIDADE DE TERESINA, PIAUÍ¹

João Macêdo Lima Júnior²; Wilza Gomes Reis Lopes³

¹ Parte da dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN).

² Engenheiro Civil, Mestrando do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí - PRODEMA/UFPI/TROPEN (jlimaj@hotmail.com)

³ Arquiteta, Professora do Departamento de Construção Civil e Arquitetura e do Programas de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFPI (izalopes@uol.com.br)

4. IMPORTÂNCIA DA LEGISLAÇÃO URBANA PARA O CONTROLE DA DRENAGEM: ESTUDO NA CIDADE DE TERESINA, PIAUÍ

Resumo

Quando o crescimento das cidades se dá de maneira desordenada, pode ocorrer o comprometimento do ciclo hidrológico devido ao mau uso ou ocupação do solo urbano. A regulamentação do uso e ocupação do solo das cidades se dá através das normas estabelecidas pela Legislação Urbana Municipal. Esta é a responsável por instituir a política urbana do município, visando a harmonia entre as diversas demandas da população da cidade (sociais, saneamento, transportes, habitação, etc). Por constituir instrumento regulador do uso e ocupação do solo, a legislação urbana possui importante papel no controle da drenagem urbana. O objetivo deste trabalho é identificar e discutir os instrumentos existentes na Legislação Urbana da cidade de Teresina que influenciam no controle das inundações urbanas. Foram analisadas as leis municipais relacionadas ao ordenamento urbano: Lei 3.560/2006, Lei 3.561/2006, Lei 3.562/2006, Lei 3.563/2006 e Lei 3.608/2007, a fim de verificar se esta legislação possui elementos relacionados ao controle das inundações urbanas. Constatou-se que existem poucas referências diretas ao controle da drenagem urbana, e que algumas medidas que podem ser consideradas indiretamente relacionadas ao controle da drenagem necessitam de uma abordagem hidráulica e hidrológica para possuírem plena efetividade no combate às inundações urbanas. A legislação urbana só poderá desempenhar plenamente o papel de instrumento de prevenção de inundações se a Administração e o Legislativo Municipais reservarem, nas leis, artigos relacionados diretamente ao controle da drenagem urbana e que considerem variáveis hidrológicas e hidráulicas.

Palavras-chave: águas urbanas, drenagem urbana, legislação urbana, uso e ocupação do solo

Abstract

When urban growth occurs in a disorderly way, there may be involvement of the hydrological cycle due to bad misuse or urban soil use. The regulation of use and occupation of the cities is through the standards established by the Municipal Urban Legislation. This is responsible for instituting the city's urban policy, seeking harmony between the various demands of the local population (social, sanitation, transport, housing, etc.). Because it is a regulatory tool to use and occupation of the soil, urban legislation has an important role in controlling urban drainage. The objective of this study is to identify and discuss the instruments in Urban Legislation of Teresina influencing the control of urban flooding. Were analyzed the bylaws related to urban planning: Law 3.560/2006, Law 3.561/2006, Law 3.562/2006, Law 3.563/2006 and Law 3.608/2007, to verify whether this legislation has elements related to urban flood control. It was found that there are few direct references to the control of urban drainage, and some measures that can be considered indirectly related to the control of drainage require a hydraulic and hydrological approach to have full effectiveness in combating urban flooding. The urban legislation can only play a full role as an instrument to prevent flooding if the Municipal Administration and the Legislature set aside, in laws, articles directly related to the control of urban drainage and consider hydrologic and hydraulic variables.

Keywords: urban water, urban drainage, urban legislation, occupation and use of soil

4.1 Introdução

Os ambientes urbanos abrigam, cada vez mais, um maior percentual da população mundial, apresentando também uma maior densidade populacional. Desta forma, nas cidades ocorre uma crescente demanda por infra-estrutura e serviços que possibilitem uma melhor qualidade de vida aos cidadãos.

O fenômeno da urbanização acentuou-se no Brasil a partir da década de 1960 (MOTA, 2003), quando o número de pessoas residentes nas cidades passou a ser superior ao de pessoas residentes no meio rural.

O Brasil chegou ao final do século XX como um país urbano: em 2000 a população urbana ultrapassou 2/3 da população total, atingindo a marca de 138 milhões de pessoas. O último censo em 2010 revelou um incremento ainda maior na população urbana, conforme pode ser visto na Figura 4.1.

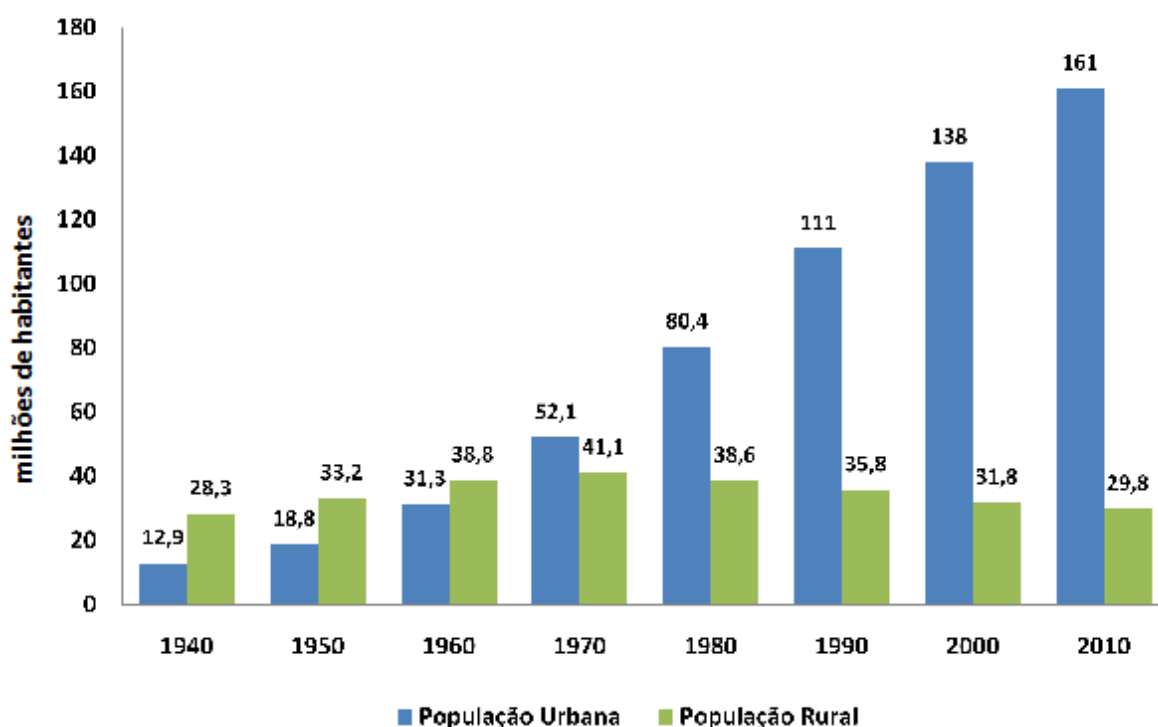


Figura 4.1: Gráfico da População residente, por situação de domicílio – Brasil – 1940/2010
Fonte: Censo IBGE, 2010.

Com a grande concentração de população em pequenos espaços, os ecossistemas terrestre e aquático sofreram grandes impactos (TUCCI, 2006). Este crescimento, quando se dá de forma insustentável, provoca deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente.

Em estudo realizado por Paiva e Garcia (2005), a partir da simulação de cenários

com base nos dados de zoneamento do Plano Diretor Urbano de Santa Maria – RS (1980), no Projeto de Lei do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental e nos valores de taxas de impermeabilização obtidos para uma área real da bacia, identificou-se que o aumento da vazão de pico apresenta um comportamento diretamente proporcional com a porcentagem de impermeabilização da bacia.

Segundo Righetto, Moreira e Sales (2009, p.47), as respostas decorrentes das intervenções sobre os processos naturais, basicamente os desempenhados pela cobertura vegetal, constituem-se num dos fatores mais importantes que afetam a produção de água na bacia hidrográfica.

A legislação urbana tem um papel significativo na prevenção do aparecimento de áreas inundadas. Estando consubstanciada com o planejamento da drenagem ao regulamentar o uso e ocupação do solo, pode determinar a quantidade de área permeável que deve permanecer nos imóveis, bem como a destinação de entulhos, materiais de construção ou outro tipo de detritos que comprometam a eficiência do sistema de drenagem implantado nas vias públicas. Mota (2003) coloca que quando uma lei de uso e ocupação de solo é elaborada visando à conservação ambiental, as características do ambiente natural devem ser levadas em consideração, de modo que seja prevista a proteção de áreas importantes para o equilíbrio entre o natural e o artificial.

O meio ambiente urbano tem nas legislações de uso e ocupação do solo dos municípios um dos principais instrumentos para a sua proteção. Mota (2003, p.273) explica que “o melhor disciplinamento do uso e ocupação do solo é aquele que considera os aspectos ambientais”. Ao disciplinar o uso e ocupação do solo, a legislação urbana atua como instrumento para ordenar o desenvolvimento da cidade e conseguir a proteção de áreas de valor ambiental, bem como, prevenir o aparecimento de áreas inundáveis. Mota (2003) afirma que, na definição dos usos e dos parâmetros norteadores da ocupação do solo, como densidades, taxas de ocupação, taxas de permeabilidade, entre outros, devem ser consideradas as características do ambiente natural, de forma a proteger os recursos hídricos e suas planícies de inundação e outras.

Contudo, as legislações urbanas são carentes em diversos aspectos relativos, principalmente, ao controle das enchentes urbanas. Entre estes aspectos, destaca-se a carência de uma legislação voltada aos resíduos sólidos, que são responsáveis por boa parte dos problemas dos sistemas de drenagem, principalmente no relacionado à incorreta disposição de materiais nas vias públicas, pois com as chuvas, este material é carregado, comprometendo o perfeito funcionamento dos equipamentos do sistema de drenagem (VAZ FILHO;

CORDEIRO, 2000).

Ainda sobre legislação urbana, Alves (2005, p. 50) afirma que, “uma das medidas preventivas mais citadas para o planejamento do sistema de drenagem urbana é o zoneamento de áreas de inundação”. O zoneamento possibilita a criação de um mapa de inundação, no qual se pode indicar o risco de inundação de determinadas áreas para o planejamento da ocupação ou implantação de equipamentos de drenagem.

Tucci (2001) propõe a regulamentação de elementos básicos destinados a reduzir o impacto gerado pelo aumento das áreas impermeáveis em nível de lote. Propõe que toda edificação que resulte em superfície impermeável, aprovado pelo poder público municipal, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede municipal de águas pluviais. Esta vazão deve ser função das características do sistema de drenagem pluvial da região.

Neste sentido, a legislação visa regular o escoamento superficial gerado devido à ocupação dos lotes. Este controle do escoamento de saída dos lotes pode se dar por meio de manutenção de áreas permeáveis no próprio lote, ou, a partir da execução de reservatórios de acumulação de água das chuvas, de modo que as águas acumuladas podem ser utilizadas para diversos usos como a lavagem de calçadas e carros, ou uso em vasos sanitários. Por meio da legislação é possível regulamentar a adoção de medidas estruturais que visem à redução dos picos de vazão do escoamento superficial.

A população de Teresina-PI, segundo o censo de 2010, possui mais de 94% da sua população localizada na zona urbana. Esta população convive com diversos problemas decorrentes da carência de medidas relacionadas ao uso e ocupação do solo que disciplinem a expansão das zonas urbanizadas, reduzindo os problemas ocasionados por um crescimento da malha urbana de maneira mal planejada. Um dos efeitos da carência no planejamento urbano e ambiental da cidade de Teresina se manifesta a cada ano nos períodos chuvosos. São os problemas decorrentes das inundações: alagamentos de casas e ruas, congestionamentos, prejuízos para o comércio, etc. Nos meios de comunicação locais é comum a veiculação de notícias relativas aos alagamentos na cidade de Teresina durante o período chuvoso.

Nos últimos dez anos foram comuns os alagamentos na zona leste da cidade (Figura 4.2). Em matéria publicada no sítio do Jornal O Dia (Portela, 2009, p.1), é interessante a colocação de que os problemas de alagamento nas vias da zona leste da cidade de Teresina são normais nos períodos de chuva. A matéria coloca que, mesmo ocorrendo de forma rápida (duração inferior a uma hora), a chuva “deixou diversas ruas da zona leste alagadas, **como costuma ocorrer nos primeiros meses do ano**” (grifo nosso). Percebe-se que no período

chuvoso, o fato das vias da zona leste da cidade de Teresina estarem alagadas já é acontecimento corriqueiro.



Figura 4.2: Rua alagada durante chuva em abril de 2011. Teresina, Piauí.
Fonte: Foto de Efrém Ribeiro (2011)

Esta região experimentou um processo de urbanização intenso a partir da década de 1980, com o início da verticalização, implantação de sistema de esgotamento sanitário e grande concentração de pontos comerciais (VIANA, 2005). Contudo, as ações desenvolvidas pela Prefeitura Municipal não compatibilizavam a execução das obras de melhorias urbanas com a conservação e manutenção das condições naturais do ambiente. Este fato contribuiu para a impermeabilização desordenada dos lotes e vias da região, o que favorece o aumento do escoamento superficial nos períodos chuvosos e o aparecimento de pontos de alagamento, já que os equipamentos de drenagem urbana existentes não são suficientes para dar vazão ao volume de água gerado.

Desta maneira, foi realizada análise da legislação municipal que regulamenta o ordenamento urbano da cidade de Teresina, direcionada para as leis que determinam áreas ocupáveis, tipos de ocupação permitidos, taxas de ocupação e de impermeabilização.

Este trabalho tem como objetivo identificar e discutir os instrumentos existentes na Legislação Urbana da cidade de Teresina, capital do Piauí, relacionados ao controle das inundações urbanas, comparando-os com os existentes em outras cidades.

4.2 Metodologia

Para focar a legislação que atue na prevenção do aparecimento de áreas inundadas, a análise foi direcionada para as leis que regulamentam o ordenamento urbano da cidade de Teresina, determinando áreas ocupáveis, tipos de ocupação permitidas, taxas de ocupação e impermeabilização.

Como a cidade de Teresina não possui legislação específica voltada para a drenagem urbana, foi analisada toda a legislação urbana da cidade. Foram considerados como itens relativos ao controle da drenagem urbana, todos os artigos que fizessem referência à determinação de taxas de infiltração, vazões de escoamento máximo, zoneamento destinado à manutenção de áreas verdes e demais itens que influenciem no escoamento superficial. Considerados como relevantes no controle da drenagem urbana, estes itens baseiam-se no controle do escoamento na fonte, ou seja, onde a água da chuva cai no solo, por meio de dispositivos que amortecem as vazões escoadas das áreas impermeabilizadas e/ou recuperem a capacidade de infiltração por intermédio de dispositivos permeáveis ou pela drenagem em áreas de infiltração.

Foram analisadas as seguintes leis da cidade de Teresina:

- Lei Complementar nº 3.560, de 20 de outubro de 2006 – Uso do solo.
- Lei Complementar nº 3.561, de 20 de outubro de 2006 – Parcelamento do solo;
- Lei Complementar nº 3.562, de 20 de outubro de 2006 – Ocupação do solo;
- Lei Complementar nº 3.563, de 20 de outubro de 2006 – Preservação Ambiental;
- Lei nº 3.608, de 04 de janeiro de 2007 – Código de Obras e Edificações;

Após a leitura da legislação elencada, foram comentados todos os artigos, por legislação, que, direta ou indiretamente, indicavam alguma medida de contenção ou amortecimento do escoamento superficial. Com esta análise foi possível identificar quais as diretrizes urbanas adotadas pelo município que possuem relação com o controle da drenagem urbana e verificar se a política urbana adotada vai ao encontro das medidas que favorecem a redução dos problemas de inundações de áreas urbanas.

4.3 Resultados e Discussão

Na Lei 3.560/2006 são definidas as diretrizes para o uso do solo urbano do Município de Teresina e dá outras providências.

No seu Artigo 1º, são colocados como objetivos principais:

I – orientar a utilização do solo quanto ao uso, quanto à distribuição da população e quanto ao desempenho das funções urbanas;

[...]

III – preservar os elementos naturais da paisagem urbana e os sítios de valor histórico cultural (TERESINA, 2006a)

Percebe-se pelo primeiro objetivo que existe a intenção de orientar o uso do solo quanto à distribuição da população. Logo, subtede-se que esta orientação deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas.

Já no parágrafo 3º, faz-se menção à preservação dos elementos naturais da paisagem urbana. Estes são de grande importância para a manutenção do ciclo hidrológico. Dentre os elementos naturais da paisagem urbana que, em sendo preservados, favorecem as condições naturais de escoamento das águas das chuvas, estão os rios, córregos e áreas verdes.

Um dos instrumentos para a obtenção dos objetivos de controle da drenagem urbana é o zoneamento. Desta forma, no Artigo 4º da Lei 3.560/2006, para efeito de uso do solo, a área urbana de Teresina, foi dividida nas seguintes zonas: I – zonas residenciais; II – zonas comerciais; III – zonas de serviços; IV – zonas industriais; V – zonas especiais; VI – zonas de preservação ambiental; VII – zonas de especial interesse social (TERESINA, 2006a). Esta distribuição é apresentada na figura 4.3.

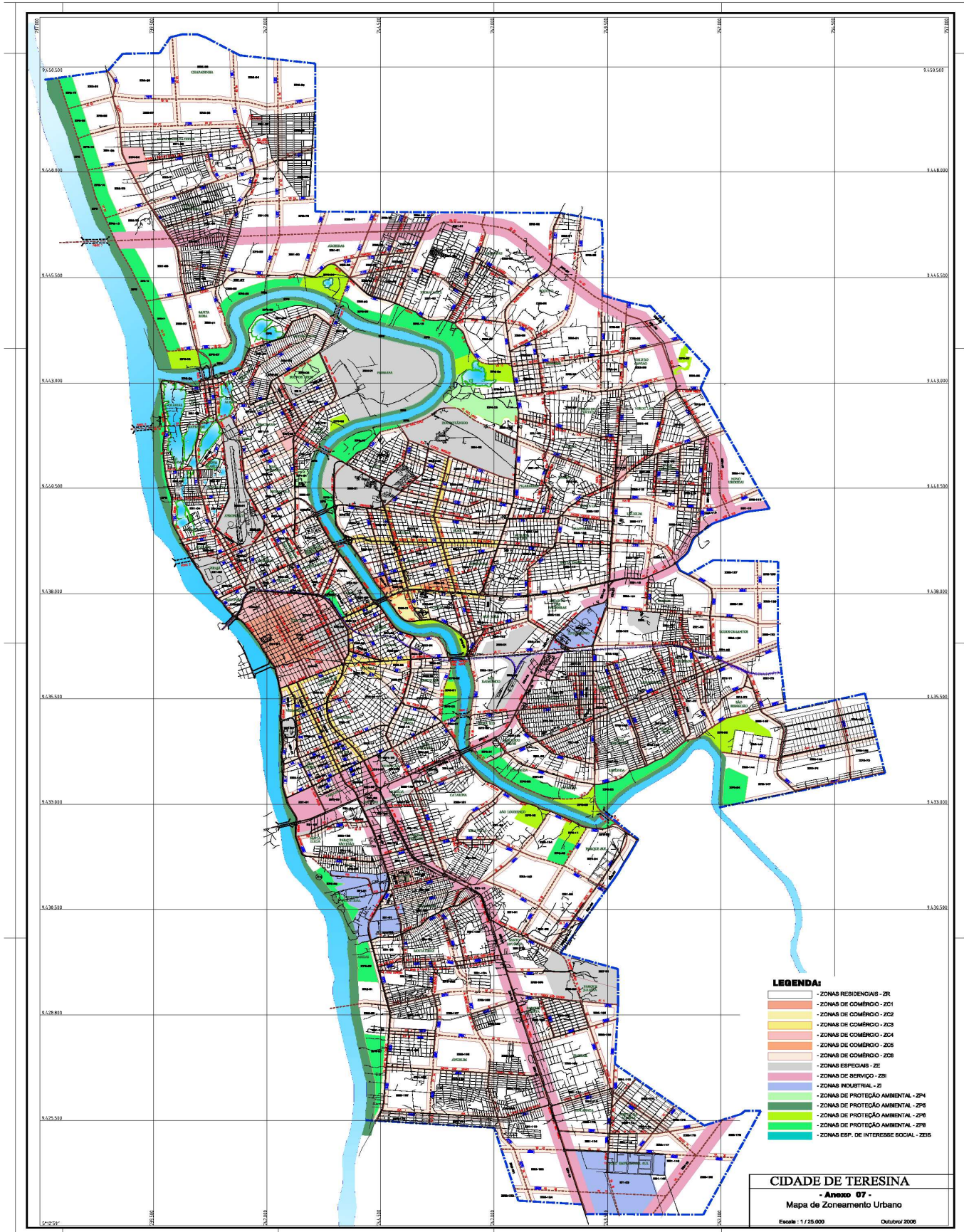


Figura 4.3: Mapa de Zoneamento Urbano de Teresina, Piauí.
Fonte: Anexo 07 da Lei 3.560/2006.

As zonas de preservação ambiental são áreas de urbanização limitada em decorrência do interesse de preservação de espaços verdes e sítios históricos e/ou culturais, protegidas Lei de Preservação Ambiental - Lei nº 3.563/06 (TERESINA, 2006c) e classificadas em cinco categorias de Zona de Preservação Ambiental (ZP). Entre estas, as ZP4, ZP5, ZP6, ZP7 e ZP8 podem favorecer o controle das inundações urbanas.

A ZP4 compreende as praças e parques do município, enquanto que a ZP5 abrange as encostas com declividades superiores a 30%; as áreas marginais ao Rio Parnaíba, correspondentes a uma faixa com largura de 200 metros, salvo quando já estejam ocupadas, caso em que a faixa tem a largura da área ainda não ocupada; as áreas marginais ao Rio Poti, correspondentes a uma faixa com largura de 100 metros, salvo quando já estejam ocupadas, caso em que a faixa tem a largura da área ainda não ocupada e as áreas das lagoas e respectivas margens, correspondentes a uma faixa de 30 metros (TERESINA, 2006c).

A ZP6 compreende as áreas de interesse paisagístico, de propriedade privada, que devem ser utilizadas para implantação de parques. Já a ZP7 engloba os terrenos destinados à implantação de praças, nos loteamentos aprovados pela Prefeitura Municipal. Enquanto que a ZP8 diz respeito às áreas próximas aos rios, não integrantes das Zonas de Preservação Ambiental – ZP5 (TERESINA, 2006c).

Sobre a influência da impermeabilização na modificação dos hidrogramas, Garcia e Paiva (2006), ao simularem o escoamento gerado na área urbana da Bacia do Arroio Cancela-RS utilizando diversos parâmetros: largura das sub-bacias, porcentagem de áreas impermeáveis, coeficiente de rugosidade de Manning nas sub-bacias, capacidade de infiltração e altura de armazenamento, constataram que, as maiores modificações nos hidrogramas de cheia ocorreram com o período de maior taxa de impermeabilização, indicando os impactos do processo de urbanização sobre a vazão de pico e volume escoado.

A carência de suporte técnico nos municípios dificulta o gerenciamento da drenagem urbana, visto que, conforme coloca Tucci (2000), as soluções adotadas, geralmente de grandes custos, apenas transferem o problema da drenagem de uma seção para outra. Não existe uma análise da bacia hidrográfica de maneira completa “visando o controle na fonte do escoamento gerado pela urbanização, no lote ou loteamento, com a filosofia de que o melhor projeto de drenagem é o que mantém as vazões máximas iguais ou menores as das condições naturais” (TUCCI, 2000, p.108).

A legislação refere-se ao interesse paisagístico, quando da definição da ZP6, contudo não há referência ao interesse de prevenção do surgimento de áreas de inundação. Visto que as áreas verdes permeáveis possibilitam uma maior infiltração e conseqüente retardo do pico

de cheia, é interessante que a escolha de tais áreas também atenda a critérios hidrológicos, pois, a partir dos estudos hidrológicos, das características naturais de topografia e geologia locais, pode-se otimizar a locação destas Zonas de Proteção Ambiental, de modo que as mesmas não possuam apenas função paisagística, conforme o expresso na Lei.

Em cidades como Porto União e União da Vitória, ambas no Paraná, foram desenvolvidos critérios para o zoneamento de áreas de inundação, após enfrentarem problemas críticos de drenagem urbana, conforme revelam estudos realizados por Tucci e Villanueva (1999). Neste estudo foi proposto um zoneamento das áreas sujeitas às inundações com o estabelecimento de três zonas de controle:

- a) Preservação de áreas críticas, que devem ser destinadas para proteção ambiental e parques;
- b) Áreas de proteção dos recursos hídricos, com incentivos fiscais para usos como parques, campos esportivos e agricultura;
- c) Áreas de baixa densidade, com necessidade de proteção nas construções contra o risco de eventuais enchentes.

A Lei 3.561/06 dispõe sobre o parcelamento do solo urbano do Município de Teresina e dá outras providências. Por meio desta Lei são estabelecidas as normas e procedimentos para o parcelamento do solo urbano, caracterizando planos de arruamentos, planos de loteamentos, desmembramentos, remembramentos, fracionamentos e desdobros de terreno (TERESINA, 2006b).

Conforme a Legislação vigente, quando há interesse no parcelamento do solo, o interessado deve solicitar a Consulta Prévia para projetos de parcelamento do solo, junto ao órgão municipal competente. Este documento de consulta prévia deve indicar a localização das áreas verdes e institucionais. A Lei 3.561/06 fixa o quantitativo de área verde em 10%, no mínimo, da área total do loteamento, loteamentos de interesse social, loteamentos fechados e condomínios, dos quais 50% são definidos pela Prefeitura e 50% definidos pelo parcelador (TERESINA, 2006b).

A área relativa ao percentual estipulado em Lei, quando bem selecionada, favorece à redução de pontos de inundação, mas para isso, o técnico responsável pela escolha do local onde será fixada a área verde deve ter um conhecimento da topografia do local, identificando o curso natural das águas superficiais e favorecendo o seu direcionamento aos locais onde devem ser posicionadas às verdes (permeáveis). Ou seja, deve existir critério sanitário (drenagem e enchentes), topográfico e geológico (talvegues e encostas de declividade acentuada) para a localização das áreas verdes.

E ainda há o fato de que, independente da topografia ou do tipo de adensamento que existirá na área, o percentual para as áreas verdes não se altera, continua sendo o de, no mínimo, 10% da área total, ou seja, não existe nenhuma variável hidrológica envolvida na definição dessas áreas verdes, ou mesmo a previsão de percentuais maiores de acordo com as características do loteamento, apenas a fixação de um percentual mínimo, que, quase sempre, é o que é implantado.

Ainda na Lei 3.561/06, observam-se as seguintes instruções:

Art. 57. Quando da implantação de loteamentos, as lagoas e cursos d'água só podem ser modificados, aterrados ou desviados após a autorização da Prefeitura Municipal.

Art. 58. Nos fundos dos vales, é obrigatória a reserva de faixa de servidão pública, sem ônus para o município, visando garantir o escoamento das águas pluviais e a implantação de infraestrutura de serviços urbanos.

§ 1º A largura da faixa de servidão deve ser determinada, conforme a bacia de contribuição, pela Prefeitura Municipal.

§ 2º A Prefeitura Municipal de Teresina deve indicar, quando da consulta prévia, a conveniência de implantação de vias urbanas de um lado, ou de ambos, no fundo do vale.

§ 3º Na fixação da largura mínima da faixa de servidão, não podem ser computados os recuos especificados para a edificação dos lotes fronteiriços. (TERESINA, 2006b, p.9)

Observa-se, portanto, que existe norma relativa aos cursos d'água e manutenção de faixas de servidão destinadas à garantia do escoamento das águas pluviais. Contudo, aqui também não se verifica qualquer consideração de variáveis hidrológicas para a determinação destas faixas de servidão. Cruz, Tucci e Turckienicz (2001, p. 497) chamam a atenção para a “necessidade de se considerar uma variável hidrológica na formulação dos índices dos Planos Diretores das cidades brasileiras [...] e que os planejadores urbanos devem sempre priorizar a ocupação com manutenção do máximo de áreas verdes possível”.

Desta forma, verifica-se que a Legislação Urbana Municipal, ao não levar em consideração qualquer variável hidrológica ou previsão de cheias, geradas tanto por ocupação de áreas ribeirinhas como pela urbanização, transfere para a própria população o ônus ocasionado pelo aumento das vazões de pico e pela inundação da calha maior do leito do curso d'água.

Na Lei 3.562, de 20 de outubro de 2006, que define as diretrizes para ocupação do solo urbano, em seu artigo 31, está determinado que: “Na ocupação de qualquer lote, por edificação de uso coletivo, 25% (vinte e cinco por cento) da área relativa aos recuos deve ser mantida sem impermeabilização”. Destaca-se que estão isentas da obediência deste artigo, “as ocupações na Zona de Comércio ZC1” (TERESINA, 2006d, p.3). Este percentual de recuo mínimo, considerados na Lei 3.562, depende da zona onde se encontra o imóvel e do tipo de uso do mesmo. Certamente a determinação de manutenção de área não impermeáveis

favorece a infiltração das águas superficiais no solo, porém, esta medida não vem se mostrando eficiente na redução das inundações, principalmente nas áreas comerciais, onde estes percentuais de recuos são bem reduzidos.

Cabe ressaltar que o artigo 31 da Lei 3.562/06 fixa o percentual de área não impermeável apenas para “edificações de uso coletivo”, não fazendo previsão para edificações unifamiliares, que também possuem grande parcela de contribuição na impermeabilização do solo.

Outro fator importante a ser considerado na análise do artigo 31 da Lei 3.562/2006 é a necessidade de uma fiscalização efetiva para a verificação de seu atendimento. Não é objeto deste trabalho a investigação do atendimento aos percentuais instituídos na referida Lei, porém, não se observa, de um modo geral, o atendimento aos percentuais mínimos exigidos para áreas não impermeáveis, principalmente nos novos empreendimentos habitacionais multifamiliares construídos na área de estudo.

A lei 3.608, de 04 de janeiro de 2007, dá nova redação ao Código de Obras e Edificações de Teresina e dá outras providências. Em sua Seção II, relativa às instalações de água, esgoto e águas pluviais, é colocado que:

Art.158. Nas edificações implantadas no alinhamento dos logradouros, as águas pluviais provenientes dos telhados, balcões, terraços, marquises e outros locais voltados para o logradouro, devem ser captadas em calhas e condutores para despejo na sarjeta do logradouro, passando sob os passeios.

Art 159. É proibido que as águas pluviais desçam do telhado para o lote vizinho.

Art 160. Não é permitido o despejo de águas pluviais na rede de esgotos, nem o despejo de esgotos ou de águas residuais e de lavagens, nas sarjetas dos logradouros ou em galerias de águas pluviais. (TERESINA, 2007)

Observa-se que a Lei refere-se apenas ao direcionamento das águas pluviais provenientes dos telhados, não fazendo menção nenhuma à necessidade de qualquer instrumento de regulação das vazões, ou seja, não há referência à necessidade de implantação de reservatórios de detenção, pelos quais, pode-se acumular água para utilização, em momento posterior, para fins de rega de vegetação; lavagem de roupa; lavagem de veículos; lavagem de vidros, calçadas e pisos; descarga em vasos sanitários; combate a incêndios, etc. Também não faz menção a outras medidas, como a utilização de pavimentos permeáveis a fim de retardar o escoamento das águas.

Como cidade onde há uma legislação voltada para o controle da drenagem urbana, pode ser citado o caso de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, na qual existe o Decreto 15.371/2006 (PORTO ALEGRE, 2006), que regulamenta o controle da drenagem urbana, aliado a um manual para a drenagem urbana, no qual são apresentados parâmetros para o dimensionamento de elementos de contenção na fonte das águas escoadas, tais como

estimativa do volume escoado no lote, metodologia para o cálculo do volume dos reservatórios, etc.

Em Curitiba-PR, a previsão de áreas sujeitas a enchentes é considerada como critério para a localização das áreas verdes do município (GEISLER apud ALVES, 2005). Através da Lei Municipal 9.805, de 03 de janeiro de 2000,

“fica criado o Setor Especial do Anel de Conservação Sanitário Ambiental com a finalidade de incentivar e garantir o uso adequado das faixas de drenagem, bem como a manutenção das faixas de preservação permanente, visando o bom escoamento das águas superficiais, recuperação da mata ciliar e a minimização dos problemas de enchente.anel estabelece a criação” (CURITIBA, 2000)

A cidade de São Paulo-SP também possui dispositivos legais que visam a redução dos volumes escoados nos períodos chuvosos. A Lei nº 13.276, de janeiro de 2002, torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m². Nesta Lei, inclusive, são apresentadas as fórmulas para o cálculo da capacidade do reservatório de acumulação das águas pluviais.

Embora seja considerado normal que a legislação não preconize soluções técnicas particulares, uma vez que seu emprego depende do contexto ambiental local de escolhas da população concernida, alguns tipos de regulamento municipal devem conduzir ao emprego de técnicas que reduzem a probabilidade de ocorrência das inundações urbanas. É o caso da regulamentação que estabelece uma vazão máxima de restrição para o escoamento gerado no lote (PORTO ALEGRE, 2003).

No município de Fortaleza, a Lei Municipal 7.987/96, que dispõe sobre o uso e a ocupação do solo e adota outras providências, determina os limites mínimos para as taxas de permeabilidade de acordo com as microzonas de adensamento. No caso de lotes com taxas de permeabilidade inferior ao limite estabelecido, a Lei determina que deve existir área equivalente de absorção, através da instalação de dispositivos instalados sob as áreas edificadas.

Em Belo Horizonte também existe previsão para a manutenção de áreas permeáveis nos lotes. A Lei 7.166/1996 estabelece normas e condições para o parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município, e fixa percentuais mínimos de área permeável que devem existir nos lotes onde serão erguidas edificações.

No Quadro 4.1 é possível identificar de maneira resumida as Leis do município de Teresina que se referem ao ordenamento urbano, bem como os artigos que possuem relação com a gestão e controle das águas urbanas:

Quadro 4.1 - Legislação urbana de Teresina e sua relação com as águas pluviais e drenagem urbana

Lei	Assunto	Artigo	Referência
3.560/2006	Define as diretrizes para o uso do solo urbano do município de Teresina e dá outras providências	1º	Orienta o planejamento de áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas.
		3º	Preservação dos elementos naturais da paisagem urbana.
		4º	Zoneamento para efeito do uso do solo urbano.
3.561/2006	Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano do município de Teresina e dá outras providências.	57	Necessidade de autorização por parte da prefeitura para a modificação dos cursos d'água ou lagoas em loteamentos a serem implantados.
		58	Obrigatoriedade de reservar faixa de servidão pública nos fundos dos vales, visando garantir o escoamento das águas pluviais e a implantação de infraestrutura de serviços urbanos.
3.562/2006	Define as diretrizes para ocupação do solo urbano	31	Fixa um percentual mínimo de área não impermeável por lote.
3.608/2007	Código de Obras e Edificações do Município de Teresina	158	Nas edificações implantadas no alinhamento dos logradouros, as águas pluviais provenientes dos telhados, balcões, terraços, marquises e outros locais voltados para o logradouro, devem ser captadas em calhas e condutores para despejo na sarjeta do logradouro, passando sob os passeios.
		159	Proíbe a passagem das águas dos telhados para os lotes vizinhos.
		160	Proíbe o lançamento de águas pluviais na rede de esgotos, bem como o lançamento de esgotos nas redes de drenagem pluvial e nas sarjetas.

Os instrumentos de controle da drenagem urbana baseados na legislação são basicamente instrumentos de planejamento e gestão. Dentre estes instrumentos, o plano diretor, os planos setoriais como o de gestão de águas pluviais, a regulamentação do parcelamento do solo e o zoneamento ambiental são os que podem repercutir mais efetivamente no emprego de medidas para o controle da drenagem urbana.

4.5 Conclusão e Recomendações.

A análise da legislação urbana da cidade de Teresina identificou que a maioria dos artigos que fazem referência, mesmo que de forma indireta, a possíveis meios de prevenção das inundações urbanas, são vagos, não possuindo critérios hidrológicos ou hidráulicos para a determinação dos percentuais atribuídos às áreas permeáveis desejadas, tampouco para a deliberação a respeito da escolha das áreas verdes, pois a escolha destas áreas possui muito mais o caráter paisagístico que técnico (TERESINA, 2006c). Ademais, a fiscalização do atendimento aos poucos critérios estabelecidos para a fixação das áreas permeáveis nos lotes deve ser constante e rigorosa, sob pena de se aumentar de forma descontrolada as vazões de pico, o que acarretará maiores gastos públicos para a execução de medidas estruturais para o controle das águas das chuvas na zona urbana da cidade de Teresina.

Também é válida a colocação de que é necessária a regulação de percentuais de áreas

permeáveis nos lotes onde serão implantadas construções unifamiliares. Inclusive, podem ser previstos incentivos, como desconto nos impostos e taxas urbanas, proporcionais ao quantitativo de área permeável conservado no lote.

A instituição das Zonas de Proteção Ambientais (ZP's 4, 5, 6, 7 e 8) determina a manutenção de áreas que devem ser mantidas desocupadas em função do interesse de preservação dos espaços verdes, sítios históricos e/ou culturais. Apesar de não ser explícita a relação com o controle da drenagem urbana, é possível verificar que a adoção correta deste zoneamento influencia na prevenção para o surgimento de áreas de inundação que estejam povoadas.

É interessante, portanto, que na definição das ZP's se faça presente a preocupação com os critérios hidrológicos e hidráulicos que garantam que os limites e faixas de ocupação determinados para estas zonas sejam seguros de modo a evitar a inundação das áreas residenciais contíguas.

A elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana para a cidade de Teresina pode dar as diretrizes básicas para o controle das águas da chuva. A caracterização das áreas de risco, das áreas já afetadas pelas enchentes e o inventário dos equipamentos de drenagem disponíveis na cidade podem conduzir a um conjunto de normas regulamentadoras mais direcionadas especificamente ao controle das inundações urbanas da cidade de Teresina.

Quanto à determinação do parcelamento do solo urbano, os percentuais de área verde a serem definidos pela Prefeitura Municipal devem ser definidos visando o amortecimento das águas de chuva. De certa forma a Legislação possibilita este tipo de escolha. A preocupação, portanto, deve ser técnica, sendo necessária uma análise da topografia do loteamento e do encaminhamento das águas escoadas, a fim de que a aplicação da Legislação seja voltada para o controle da drenagem urbana, especialmente.

Portanto, mesmo existindo dispositivos na Legislação Urbana de Teresina que possibilitam a prevenção e atenuação dos problemas relacionados à drenagem urbana, é necessário que sejam consideradas variáveis hidrológicas e hidráulicas que garantam a segurança dos limites fixados para usos e ocupação do solo urbano. Também se faz necessário que a Legislação Urbana de Teresina seja explícita quanto à preocupação de se evitar a inundação de áreas ocupadas (ou ocupáveis) objetivando nortear as decisões técnicas na determinação do zoneamento e nas escolhas feitas em campo.

4.6 Referências

ALVES, E. M. **Medidas não-estruturais na prevenção de enchentes em bacias urbanas: cenários para a bacia do Gregório.** São Carlos, SP. 2005. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Lei 7.166, de 27 de agosto de 1996.** Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município.

CRUZ, M.A.S.; TUCCI, C.E. M.; TURCKNICZ, B. Análise da influência dos instrumentos reguladores de ocupação no escoamento urbano. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. da M. (Org.). **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Editora Universidade – UFRGS, 2001. v. 2. p. 487-498.

CURITIBA (2000). **Lei nº 9.805 de 03 de janeiro de 2000.** Cria o Setor Especial do Anel de Conservação Sanitário Ambiental e dá outras providências.

FORTALEZA (1996). Prefeitura Municipal de Fortaleza. **Lei 7.987/1996.** Dispõe sobre o uso e ocupação do solo do município de Fortaleza, e adota outras providências.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, Eloíza Maria Cauduro Dias de. Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do arroio Cancela – RS. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Volume 11. N.4. Out/Dez 2006, 99-118.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010.**

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Tabelas de população por município.** Disponível

em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_piaui.pdf> Acesso em: 20 de dezembro de 2010.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente.** 3ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003, 356p.

PAIVA, E.M.C.D., GARCIA, J.I.B. **Avaliação das cheias em bacia urbana com diferentes graus de impermeabilização.** In: 7o Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa., 2005, Évora. Évora: ABRH, 2005.

PORTELA, C. Chuvas em pleno B-R-O-BRÓ surpreendem piauienses. **Jornal O Dia.** Teresina, 26 out. 2009. Disponível em: <<http://www.sistemaodia.com/noticias/chuvas-em-pleno-b-r-o-bro-surpreendem-piauienses-58562.html>>. Acesso em: 08 jul. 2010.

PORTO ALEGRE (2006). Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Decreto nº 15.371, de 17 de novembro de 2006.** Regulamenta o controle da drenagem urbana.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre: Manual de Drenagem Urbana,** v. 6. Porto Alegre: IPH-UFRS, 2003.

RIBEIRO, E. No maior temporal do ano, Teresina fica alagada. **Jornal Meio Norte.** Teresina,

13 abr. 2011. Disponível em: <<http://www.meionorte.com/efremribeiro/no-maior-temporal-do-ano-teresina-fica-alagada-161012.html>>. Acesso em: 30 abr. 2011.

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. In: RIGHETTO, A.M. (Coord.). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Projeto PROSAB. p. 19-73.

SÃO PAULO (2002). **Lei nº 13.276, de 04 de janeiro de 2002**. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m².

TERESINA (2007). **Lei nº 3.608, de 04 de janeiro de 2007**. Dá nova redação ao Código de Obras e Edificações de Teresina e dá outras providências.

TERESINA (2006a). **Lei nº 3.560, de 20 de outubro de 2006**. Define as diretrizes para uso do solo urbano do Município de Teresina e dá outras providências.

TERESINA (2006b). **Lei nº 3.561, de 20 de outubro de 2006**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano do Município de Teresina e dá outras providências.

TERESINA (2006c). **Lei nº 3.563, de 20 de outubro de 2006**. Cria zonas de preservação ambiental, institui normas de proteção de bens de valor cultural e dá outras providências.

TERESINA (2006d). **Lei nº 3.562, de 20 de outubro de 2006**. Define as diretrizes para a ocupação do solo urbano e dá outras providências.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 194p. (Saneamento para Todos; 4º volume)

_____. Aspectos Institucionais do Controle das Inundações Urbanas. In: Carlos E. M. Tucci; David Motta Marques. (Org.) **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001, v. 2, p. 405-419.

_____. A necessidade do planejamento da drenagem urbana. In: TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M (Org.) **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000, p.499-501.

TUCCI, C.E.M., VILLANUEVA, A.O.N. Flood control measures in União da Vitória and Porto União: structural vs. non-structural measures. **Urban Water**, London, 1999, p. 177-182. Disponível em: <http://ccr4.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/residuos/docs_resid_solidos/uniaovito.PDF>. Acesso em: 13 set. 2010.

VAZ FILHO, P; CORDEIRO, J.S.; Diagnóstico de drenagem urbana na região central do estado de São Paulo. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27. 2000, Porto Alegre. **Anais eletrônicos**. Porto Alegre, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/x-009.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2010.

VIANA, B.A. da S. **O sentido da cidade: entre a evolução urbana e o processo de verticalização**. Carta CEPRO. V.23, n.1, 2005.

**5. DRENAGEM URBANA: AUMENTO DE ÁREAS IMPERMEÁVEIS EM
ÁREA DA ZONA LESTE DA CIDADE DE TERESINA, PIAUÍ, E SUA
RELAÇÃO COM AS INUNDAÇÕES¹**

João Macêdo Lima Júnior²; Wilza Gomes Reis Lopes³

¹ Parte da dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN).

² Engenheiro Civil, Mestrando do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí - PRODEMA/UFPI/TROPEN (jlimaj@hotmail.com)

³ Arquiteta, Professora do Departamento de Construção Civil e Arquitetura e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFPI (izalopes@uol.com.br)

5. DRENAGEM URBANA: AUMENTO DE ÁREAS IMPERMEÁVEIS EM ÁREA DA ZONA LESTE DA CIDADE DE TERESINA, PIAUÍ, E SUA RELAÇÃO COM AS INUNDAÇÕES

Resumo

Com o aumento da população urbana, o solo urbano tende a ser modificado de maneira radical. A pavimentação de vias de tráfego, as calçadas e os pisos cimentados e as próprias edificações colocados nos lotes impermeabilizam o solo urbano, o que favorece o desequilíbrio do ciclo hidrológico, pois um maior percentual da água precipitada tende a escoar superficialmente ao invés de infiltrar naturalmente no solo. Em região da zona leste da cidade de Teresina, nos últimos dez anos, vem se tornando comum a inundação de áreas residenciais. Com o objetivo de analisar a influência do aumento das áreas impermeabilizadas na geração de áreas de inundação, com o auxílio do *software ArcGis*, foram quantificadas as áreas impermeabilizadas, para os anos de 2000 e 2007. Os resultados demonstraram que houve um acréscimo de área impermeabilizada entre os anos de 2000 e 2007, acompanhando a evolução do problema das inundações na região. Pela existência de relação direta entre o aumento de áreas impermeabilizadas e o surgimento de áreas inundáveis na região de estudo, a constatação de que cada vez mais o solo da região está com menos área permeável serve de alerta para que sejam revistos os meios de controle da drenagem urbana na cidade de Teresina. Deve-se considerar mecanismos legais que contenham o escoamento superficial a partir do controle da impermeabilização do solo, pois, de outra forma, dificilmente o poder público está disposto a arcar com os onerosos gastos para a implantação de sistemas de drenagem que atenuem as inundações urbanas.

Palavras Chave: urbanização, impermeabilização do solo, drenagem urbana

Abstract

With increasing urban population, urban land tends to be changed radically. The paving of traffic lanes, sidewalks and floors cemented and their own buildings placed on lots waterproof the urban soil, which favors the imbalance of the hydrological cycle, because a higher percentage of precipitated water to run off the surface rather than infiltrate naturally in soil. In the region of the eastern city of Teresina, in the last ten years, has become common to flooding of residential areas. Aiming to analyze the influence of the increase in impermeable areas in the generation of areas of flooding, with the help of ArcGIS software, impermeable areas were quantified for the years 2000 and 2007. The results showed an increase in sealed area between the years 2000 and 2007, following the evolution of the problem of floods in the region. The existence of a direct relationship between the increase in impermeable areas and the emergence of the wetlands in the region of study, the finding that increasing the region's soil is less permeable area serves as a warning to be reviewed means of controlling drainage conditions in the city of Teresina. It should be considered legal mechanisms to contain the runoff from the control of soil sealing, because otherwise, hardly the government is willing to bear the expensive costs for the implementation of drainage systems to alleviate the urban flooding.

Keywords: urbanization, soil sealing, urban drainage

5.1 Introdução

O aumento da urbanização traz várias alterações ao ambiente natural das cidades. Uma das transformações mais notadas, tanto pelo aspecto de mudança da paisagem como pelo fato dos efeitos gerados a partir dessa modificação do estado original, é a redução da capacidade de permeabilidade do solo urbano. O solo das cidades possui parcela considerável de sua superfície impermeabilizada pelas edificações, pavimentação de vias e calçadas. A transformação de áreas anteriormente permeáveis em áreas impermeáveis induz a um desequilíbrio hidrológico, caracterizado pelo aumento do escoamento superficial e pela antecipação dos picos de vazão no tempo, o que está diretamente relacionado com as enchentes em áreas urbanas (TUCCI, 2006).

Algumas das causas que se destacam nas enchentes devido à urbanização, conforme coloca Pômpeo (2000), são o parcelamento do solo e a impermeabilização de grandes superfícies. Quando os prejuízos decorrentes das inundações tornam-se visíveis e de reparo difícil, na grande maioria das vezes, a proposta de solução para os inconvenientes gerados são baseadas em obras de drenagem urbana (sarjetas, galerias, canais, etc) de custo elevado.

Mota (2003) enumera as principais alterações provocadas pelo homem no ambiente a fim de satisfazer suas necessidades: desmatamento; movimentos de terra; impermeabilização do solo; aterramento de rios, riachos, lagoas; modificações no ecossistema; alterações de caráter global como o efeito estufa e destruição da camada de ozônio; poluição ambiental.

Na Figura 5.1 é possível identificar, de forma esquematizada, os efeitos para o meio ambiente decorrentes da urbanização, e que conseqüências podem ser sofridas quando não há a preocupação com a manutenção da sustentabilidade do ciclo hidrológico.

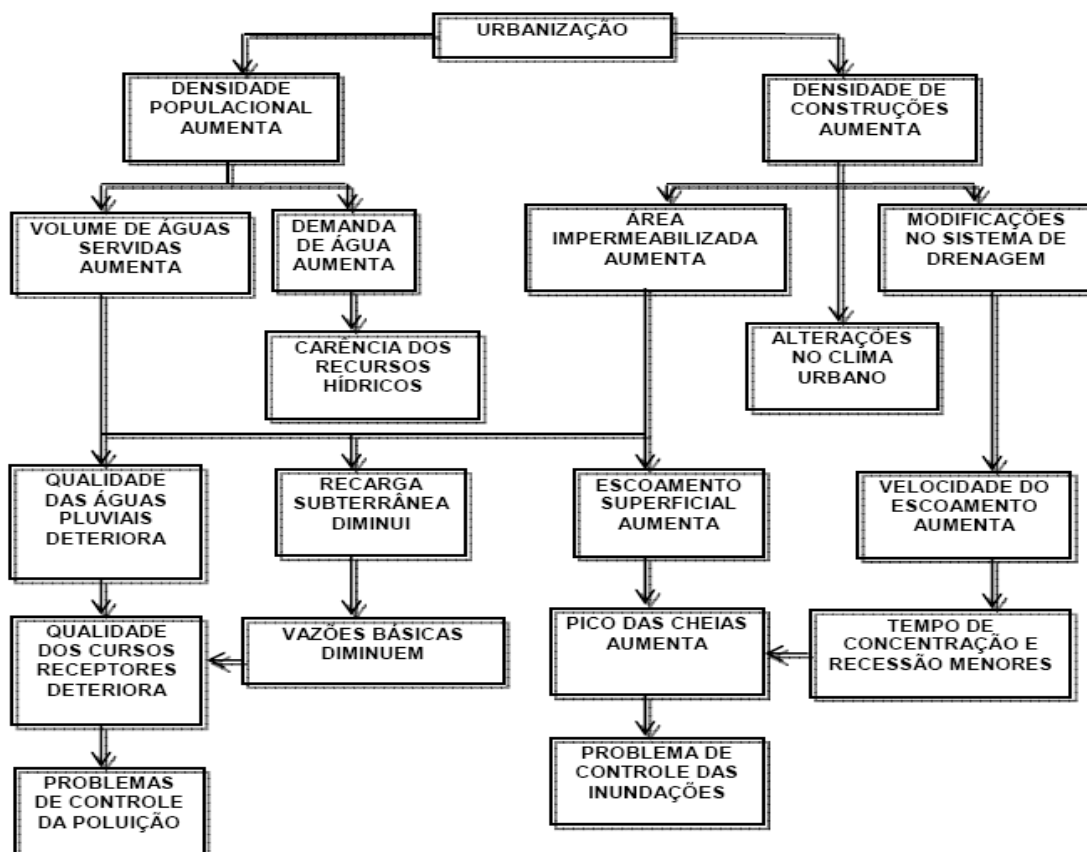


Figura 5.1: Fluxograma de processos decorrentes da urbanização e impactos

Fonte: (adaptado de PORTO 1995 apud BENINI, 2005, p.6)

Garcia e Paiva (2006), em estudo onde é analisado o processo de urbanização da Bacia Arroio Cancela, Rio Grande do Sul, Brasil, a partir da análise de hidrogramas de cheia da bacia, identificam que os aumentos expressivos apresentados ao longo dos anos para a vazão de pico e volume escoado na Bacia estudada são evidências da falta de diretrizes que conduzam à urbanização de forma sustentável. Constataram ainda que as maiores modificações nos hidrogramas de cheia ocorreram com o período de maior taxa de impermeabilização, indicando os impactos do processo de urbanização sobre a vazão de pico e o volume escoado.

Na figura 5.2 está representado o efeito da urbanização sobre as variáveis do ciclo hidrológico.

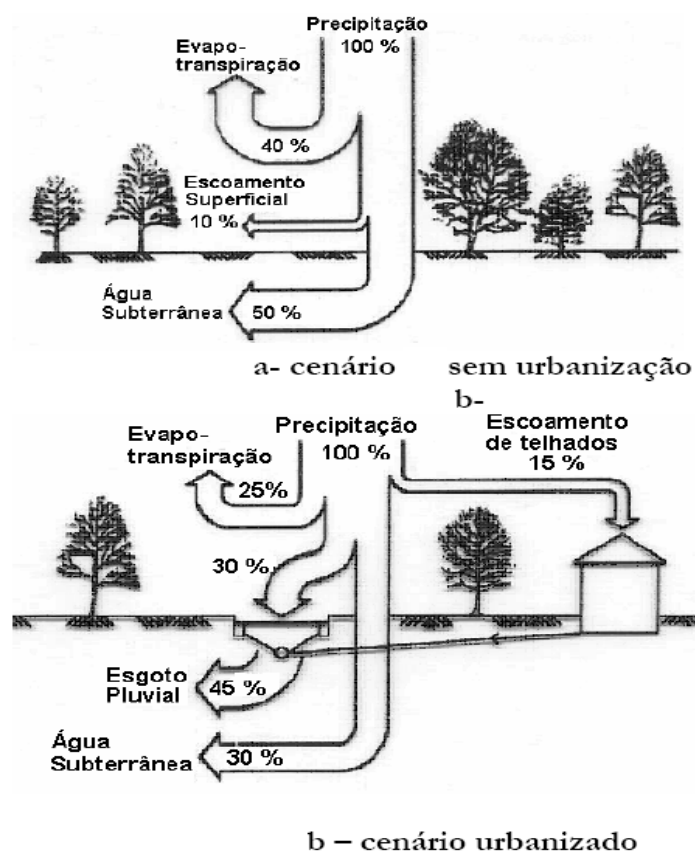


Figura 5.2: Balanço hídrico numa bacia urbana
Fonte: TUCCI (2006)

Ao se observar a Figura 5.2 é possível identificar dois cenários. O primeiro cenário pode ser considerado como um período de pré-urbanização. Neste cenário, do 100% precipitado: 40% é perdido por evapotranspiração; 10% escoam superficialmente; 50% infiltra no solo. Estes percentuais de distribuição da precipitação caracterizam uma boa distribuição das águas do ciclo hidrológico. Já o segundo cenário, considerado como sendo uma área urbanizada, observas-se que do 100% precipitado: 25% se perde por evapotranspiração, pois devido a redução da cobertura vegetal, há também uma redução na evapotranspiração; dos 75% restantes que chegam até o meio urbano, 45% é coletado pelas redes pluviais (quando existem e são corretamente dimensionadas); 30% infiltra. Havendo, portanto, uma redução de 20% no percentual de infiltração com relação ao cenário pré-urbanização. Cabe ressaltar que quando as redes de condutos pluviais não são dimensionadas a contento, o percentual das águas pluviais que deveriam escoar pela canalização, escoam superficialmente, gerando as inundações urbanas em diversos pontos.

Ainda sobre o comportamento do escoamento das águas superficiais, Peplau

(2005) analisa a diferença entre os hidrogramas urbano e rural. O hidrograma da região urbanizada apresenta uma antecipação de ocorrência e um aumento da vazão máxima e do volume do escoamento superficial, conforme se pode observar graficamente na Figura 5.3.

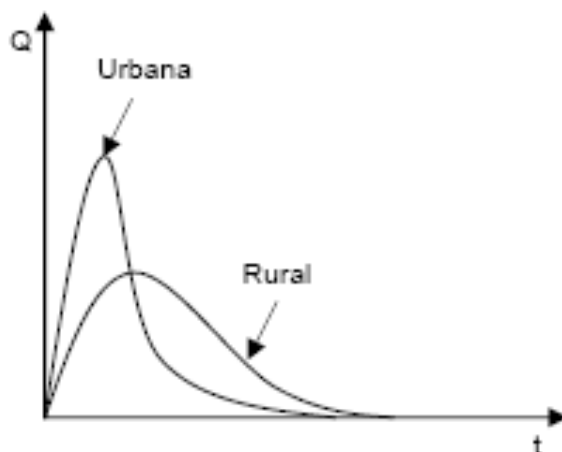


Figura 5.3: Comparação da forma de hidrogramas urbano e rural.
Fonte: Tucci (2001)

Fica claro, portanto, que quanto mais se impermeabiliza o solo e acelera o escoamento através de dutos ou canais, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pela topografia natural.

Na cidade de Teresina, Piauí, Brasil, sua população enfrenta, cada ano de maneira mais crítica, problemas decorrentes das inundações: alagamentos de casas e ruas, congestionamentos, prejuízos para o comércio, etc. Nos meios de comunicação locais é comum a veiculação de notícias relativas aos alagamentos na cidade de Teresina durante o período chuvoso.

No ano de 2009, foram comuns os alagamentos, mesmo fora do período chuvoso, como os ocorridos em outubro, na zona leste da cidade (Figura 5.4). Em matéria publicada no sítio do Jornal O Dia (Portela, 2009, p.1), é interessante a colocação de que os problemas de alagamento nas vias da zona leste da cidade de Teresina são normais nos períodos de chuva. A matéria coloca que, mesmo ocorrendo de forma rápida (duração inferior a uma hora), a chuva “deixou diversas ruas da zona leste alagadas, **como costuma ocorrer nos primeiros meses do ano**” (grifo nosso). Percebe-se que no período chuvoso, o fato das vias da zona leste da cidade de Teresina

estarem alagadas já é acontecimento corriqueiro.



Figura 5.4: Rua da zona leste alagada, após chuva forte no mês de outubro. Teresina, Piauí.
Fonte: Foto de Jairo Moura em Portela (2009)

Araújo *et al* (2000) afirmam que a falta de planejamento na ocupação das áreas urbanas são os principais responsáveis por alterações significativas nas taxas de impermeabilização das bacias, o que ocasiona transtornos e prejuízos em razão do aumento significativo das inundações, devido ao aumento das vazões máximas e a redução do tempo de concentração e do volume escoado. O volume que escoava lentamente pelo solo e ficava retido pela vegetação e em depressões, passa a escoar em canais, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

A falta de um manejo adequado das águas pluviais (planejamento-avaliação-diagnóstico) desde o início do processo de ocupação local tende a gerar, quando da implantação, sistemas de drenagem bastante onerosos e de eficiência limitada. Torna-se, portanto, imprescindível, a avaliação continuada da capacidade do sistema frente ao avanço de ocupação do espaço urbano, ao uso e ocupação do solo, as impermeabilizações de terrenos, à inexistência de medidas compensatórias, etc (RIGHETTO, MOREIRA e SALES, 2009).

A ampliação das enchentes e de sua frequência é mais sentida para menores tempos de retorno dos eventos chuvosos (PEDROSA, 1996). O autor afirma ainda que se trata de um erro imaginar que a seqüência de grandes enchentes signifique que estas estão aumentando com o tempo ou que são conseqüências de modificações substanciais na bacia hidrográfica. Estas modificações podem ter efeitos sobre as enchentes de

frequência média ou pequena, mas tem efeito reduzido sobre as enchentes raras.

As inundações urbanas cada vez mais frequentes geram prejuízos de natureza ambiental e econômica para a região. Os prejuízos ambientais são provenientes da lavagem sobre o solo, conduzindo aos cursos d'água impurezas e detritos encontrados em ruas e pavimentos, principalmente nos primeiros 15 minutos de chuva (BENETTI e BIDONE, 2001). Para a caracterização deste tipo de prejuízo é necessária a realização de estudos voltados para a quantificação e qualificação dos resíduos sólidos na drenagem urbana.

Já os prejuízos econômicos advém da invasão das águas das chuvas ao passeio públicos, calçadas e casas. Também existem os prejuízos causados aos proprietários dos veículos que necessitam transpor as vias tomadas pelas águas que escoam na superfície. A Figura 5.5, foto divulgada em matéria do sitio 180 graus (LIMA, 2009), de 28 de abril de 2009, ilustra bem a dimensão dos prejuízos dos prejuízos provenientes das chuvas.



Figura 5.5: Prejuízos causados pela chuva em casa da zona leste da cidade de Teresina.
Fonte: Foto de Patrício Lima (2009)

Uma combinação entre ruas estreitas, impermeabilização do solo e topografia fazem com que algumas vias urbanas funcionem como verdadeiras calhas que conduzem as águas das chuvas.

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência do aumento da área de solo impermeabilizado no aumento das vazões de pico para a região de estudo, a partir da quantificação de área impermeabilizada para os anos de 2000 e 2007.

5.2 A cidade de Teresina

Teresina é a capital do Estado do Piauí. Está localizada no Centro-norte do estado e meio-norte do nordeste brasileiro, com Latitude Sul: 05° 05' 12'' e Longitude Oeste: 42° 48' 42'' (TERESINA, 2010).

A sua área metropolitana Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina, composta pela capital e os municípios de Altos, Beneditinos, Coivaras, Currálinhos, Demerval Lobão, José de Freitas, Lagoa Alegre, Lagoa do Piauí, Miguel Leão, Monsenhor Gil e União, no Piauí, além de Timon no Maranhão, tem mais de 1,15 milhão de habitantes (TERESINA, 2010b).

Teresina apresenta no seu contorno geográfico a seguinte delimitação (TERESINA, 2010):

- Ao norte: União, José de Freitas;
- Ao sul: Palmeirais, Monsenhor Gil e Currálinhos;
- Ao leste: Altos, Demerval Lobão, Lagoa do Piauí e Pau d' Arco do Piauí;
- Ao oeste: estado do Maranhão.

A cidade é dividida administrativamente em cinco regiões, as quais têm seus planos de desenvolvimento urbano conduzidos pelas respectivas Superintendências de Desenvolvimento Urbano (SDU's). As SDU's são coordenadas, supervisionadas e avaliadas pela Secretaria de Planejamento e Coordenação (SEMPLAN), fazendo parte da administração direta do município, subordinadas ao chefe do poder executivo municipal (TERESINA, 2010c).

Quanto à urbanização da cidade, Teresina, segundo IBGE (2000), entre os anos de 1991 a 2000, teve uma taxa média de crescimento geométrico de 2,03%. Já em 2000, a taxa de urbanização do município de Teresina é de 94,70%, com pequena redução para 94,27% em 2010, segundo o último censo do IBGE, .

Este aumento considerável da população urbana de Teresina acarreta uma ocupação para fins de construção de conjuntos habitacionais de áreas antes consideradas rurais. Acompanhando o incremento habitacional estão as obras de infraestrutura mínimas: rede abastecimento de água, iluminação pública, pavimentação e equipamentos urbanos. Há, portanto, a necessidade de se compatibilizar o aumento populacional na área urbana de Teresina e a sustentabilidade ambiental dos novos assentamentos humanos, bem como dos já existentes.

A zona leste de Teresina é formada por 27 bairros, segundo dados da Prefeitura Municipal (TERESINA, 2010a). Melo e Bruna (2009), afirmam que o crescimento da zona leste da cidade de Teresina foi possível somente após a construção da ponte sobre o Rio Poti, em 1957, ligando a Avenida Frei Serafim à zona leste da cidade. A partir desse ano, a zona leste experimentou um crescente adensamento populacional, com incremento considerável a partir da implantação da rede coletora de esgotos na região próxima ao Rio Poty, ocasionando a valorização crescente dos imóveis da região.

Sócio-econômicamente, a região é considerada “nobre”, com renda média mensal das pessoas responsáveis pelo domicílio de R\$ 3.219,15, segundo dados do ano de 2000 da Secretaria Municipal de Planejamento – SEMPLAN.

A região de estudo conta com infraestrutura de rede de energia elétrica, iluminação pública, rede coletora de esgoto sanitário, rede de abastecimento de água, sistema de coleta das águas pluviais (galerias). Ainda, nesta região da zona leste localizam-se variadas opções de lazer, entretenimento, educação, comércio e grande concentração de habitações multifamiliares verticais.

Topograficamente, observa-se a região possui pouca declividade, o que favorece o aparecimento de pontos de alagamento. Devido à disposição das curvas de nível, as águas precipitadas na região tendem a direcionar-se no sentido leste-oeste, passando por uma região altamente adensada, impermeabilizada e de topografia plana, o que favorece o aparecimento de pontos de inundação. Praticamente toda a água que precipita na bacia tende a escoar para a região de estudo, até chegar ao Rio Poty. Contudo, como a região possui declividade natural baixa, pouca capacidade de permeabilidade do solo e ruas estreitas que funcionam como “calhas” de escoamento das águas da chuva, as águas tendem a se acumular em diversos pontos.

O sistema drenagem da região, atualmente, não é capaz de absorver toda a água escoada no período de tempo necessário para evitar as inundações, talvez por obstrução da canalização ou subdimensionamento do sistema.

5.3 Metodologia

5.3.1 Objeto de Estudo

A área de estudo está localizada na zona leste da cidade, compreendendo uma parte da sub-bacia, próxima ao Rio Poty, conforme o indicado na Figura 5.6. Totaliza cerca de 700 ha, limitada por um polígono delimitado: ao norte, em 1,10 km pela Av. Petrônio Portela e sua continuação pela Av. Visconde da Parnaíba, em 2,70 km; a leste, Av. Presidente Kennedy, na extensão de 1,80 km, até o cruzamento com a Av. João XXIII, ao sul, seguindo cerca de 2,20 km a oeste, até a Av. Raul Lopes, localizada à margem do Rio Poty – ponto mais a jusante da sub-bacia, a qual segue-se cerca de 2,50 km ao norte até encontrar Av. Petrônio Portela novamente. Esta região localiza-se na micro-bacia do Rio Poty. Este polígono abrange quatro bairros, sendo eles: Ininga, Jóquei, Horto e Fátima.



Figura 5.6: Limites da área de estudo

Fonte: Google Earth, com adaptações

5.3.2 Estimativa de Área Impermeável na Região de Estudo

A estimativa de áreas impermeáveis na região de estudo foi feita para dois momentos históricos:

- i) O primeiro momento considerado foi o ano 2000. Foi analisada uma foto pertencente ao acervo do IFPI (Instituto Federal de Tecnologia do Piauí), tirada do

satélite *Ikonos*. O satélite *Ikonos*, conforme informação constante no sítio da Embrapa (2010), é um satélite de alta resolução espacial operado pela empresa *GeoEye*. O satélite oferece imagens de alta resolução que podem ser usadas para fins comerciais ou científicos. A resolução espacial das imagens são de 1 metro a 4 metros.

Com a utilização do software *ArcGIS* foi possível fazer uma estimativa das áreas impermeáveis (áreas dos lotes, calçadas e vias) por meio do uso da ferramenta de edição do *software*, e, após demarcadas as áreas de interesse, utilizou-se a ferramenta de cálculo a fim de obter-se os quantitativos das áreas demarcadas.

O *ArcGIS 9.3* é um sistema de informações geográficas, da classe dos sistemas conhecidos como *Desktops GIS*, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*). Ele dispõe de diversos recursos de geoprocessamento, com ferramentas avançadas para a manipulação de dados espaciais e alfanuméricos e permite o acesso a banco de dados geográficos em computadores pessoais, com uma interface gráfica de fácil acesso (ESRI, 2010).

Com o nome *ArcGIS Desktop* são comercializadas as licenças *ArcInfo*, *ArcEditor* e *ArcView*, que compartilham a mesma arquitetura e que são diferenciadas apenas pelo número de funções que cada versão suporta, variando da solução mais simples (*ArcView*) até a mais completa (*ArcInfo*).

O *ArcGIS* é um sistema modular constituído, entre outras, por três unidades básicas: o *ArcMap*, o *ArcCatalog* e o *ArcToolbox*. As principais características destes aplicativos estão descritas abaixo, de forma resumida:

- O *ArcMap* pode ser considerado o módulo principal; ele reúne ferramentas para a manipulação, análise e apresentação de mapas. Com ele é possível visualizar dados geográficos, resolver questões de análise espacial e criar “*layouts*” para impressão.
- O *ArcCatalog* permite a rápida visualização dos dados; com ele é possível procurar, gerir, criar, organizar e exportar dados geográficos e alfanuméricos. Este aplicativo também suporta vários modelos para metadados, permitindo criar, editar e visualizar as informações sobre os dados.
- O *ArcToolbox* é o módulo de ferramentas utilizadas para o processamento dos dados geográficos. O número de ferramentas varia conforme a licença do *ArcGIS* utilizada e as extensões, comerciais ou gratuitas, distribuídas separadamente pela ESRI.

O *ArcGIS* é um sistema híbrido e suporta diferentes modelos de dados para a

representação das informações geográficas, entre eles, modelo vetorial e modelo matricial (*raster*).

Na licença *ArcView* do *ArcGIS*, é possível visualizar e importar arquivos dos mais variados formatos, tais como: *shapefiles* (*ArcView*), *coverages* (*Arc/INFO*), *DWG* e *DXF* (*CAD - Computer-Aided Drafting*), imagens (*TIFF*, *JPEG*, *BMP*, etc), *grids* (*raster*), *TINs* (*Triangulated Irregular Networks*) e tabelas (atributos) (ERSI, 2010).

A foto utilizada tem o formato *ecw* (*Enhanced Compression Wavelet*), que é um formato de imagem comprimido e de boa qualidade, bastante utilizado para imagens de satélite. Nesta imagem foi possível identificar e demarcar os tipos de superfície presentes na área delimitada. Foram consideradas impermeáveis no levantamento: as áreas de telhado, calçadas e vias asfaltadas. Os demais tipos de cobertura do solo não foram contabilizados como impermeáveis, apesar de ter-se conhecimento de que a pavimentação em paralelepípedo e solo compactado não são totalmente permeáveis, possuindo, segundo Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), coeficiente de escoamento 0,60 e 0,66, respectivamente. Em contrapartida, o coeficiente de escoamento para o asfalto é de 0,95. Araújo, Tucci e Goldemfun (2000, p.358) explicam que, “o coeficiente de escoamento é obtido pela razão entre a chuva e o escoamento totais”.

ii) O segundo momento considerado no estudo foi o ano de 2007. Utilizando-se da mesma metodologia de análise adotada para a foto do ano de 2000, obtiveram-se os quantitativos estimados de área impermeável para o ano de 2007.

Com os valores estimados de áreas impermeáveis para os dois anos considerados, foi possível calcular a evolução do aumento de área impermeável entre os períodos. Foram calculados separadamente a evolução de áreas impermeáveis para os lotes e a evolução de impermeabilização decorrente da utilização de pavimento asfáltico nas vias. A partir da análise da evolução das áreas impermeáveis na área de estudo para o período considerado no estudo, estimou-se a taxa de aumento da área impermeável na região para os próximos sete anos.

5.4 Resultados e Discussão

No levantamento das áreas impermeáveis existentes na região de estudo para o período compreendido entre os anos de 2000 e 2007, foi observado que ocorreu uma evolução de 26,11% de áreas impermeáveis.

As áreas impermeáveis consideradas neste estudo foram as seguintes:

- a) Nos lotes: telhados, calçadas e pisos cimentados;
- b) Nas vias: calçadas, passeios e pavimentação asfáltica.

As áreas das vias pavimentadas apenas com calçamento do tipo pedra “cabeça de jacaré” ou paralelepípedo não foram consideradas como impermeáveis, visto que seu coeficiente de escoamento é bastante inferior ao coeficiente de escoamento do pavimento asfáltico, o que confere aos primeiros uma certa capacidade de infiltração das águas de chuva, apesar de um percentual da água que precipita nos pavimentos do tipo “cabeça de jacaré” e paralelepípedo produzirem um escoamento superficial. Deste modo, pode-se dizer que houve uma minoração da verdadeira área impermeável.

Na análise realizada com base nas Figuras 5.7 e 5.8, geradas a partir da delimitação, no programa *ArcGis*, das áreas impermeáveis das vias e lotes nos anos considerados, observa-se uma redução nas áreas verdes. Estas áreas estão sendo substituídas por pavimentos impermeáveis, tais como piso cimentado, blocos de concreto ou piso cerâmico. Observa-se, ainda, um aumento das vias pavimentadas com asfalto.

Todo este investimento do poder público com vistas a melhorar a condição de tráfego e conforto no deslocamento dos veículos, quando é realizado sem um devido planejamento ou compensação ambiental, pode gerar inconvenientes outros que acarretarão maiores custos para a execução das medidas corretivas.

A previsão de pavimentação das ruas deveria atender a um planejamento voltado para o sentido do escoamento superficial, de modo que as calhas das ruas fossem os próprios direcionadores dos fluxos para áreas de amortecimento, infiltração ou pontos coletores do sistema de drenagem. No entanto, o solo é impermeabilizado de qualquer maneira, independente dos prejuízos que podem ser gerados com o aumento das vazões de pico de escoamento quando dos eventos chuvosos.

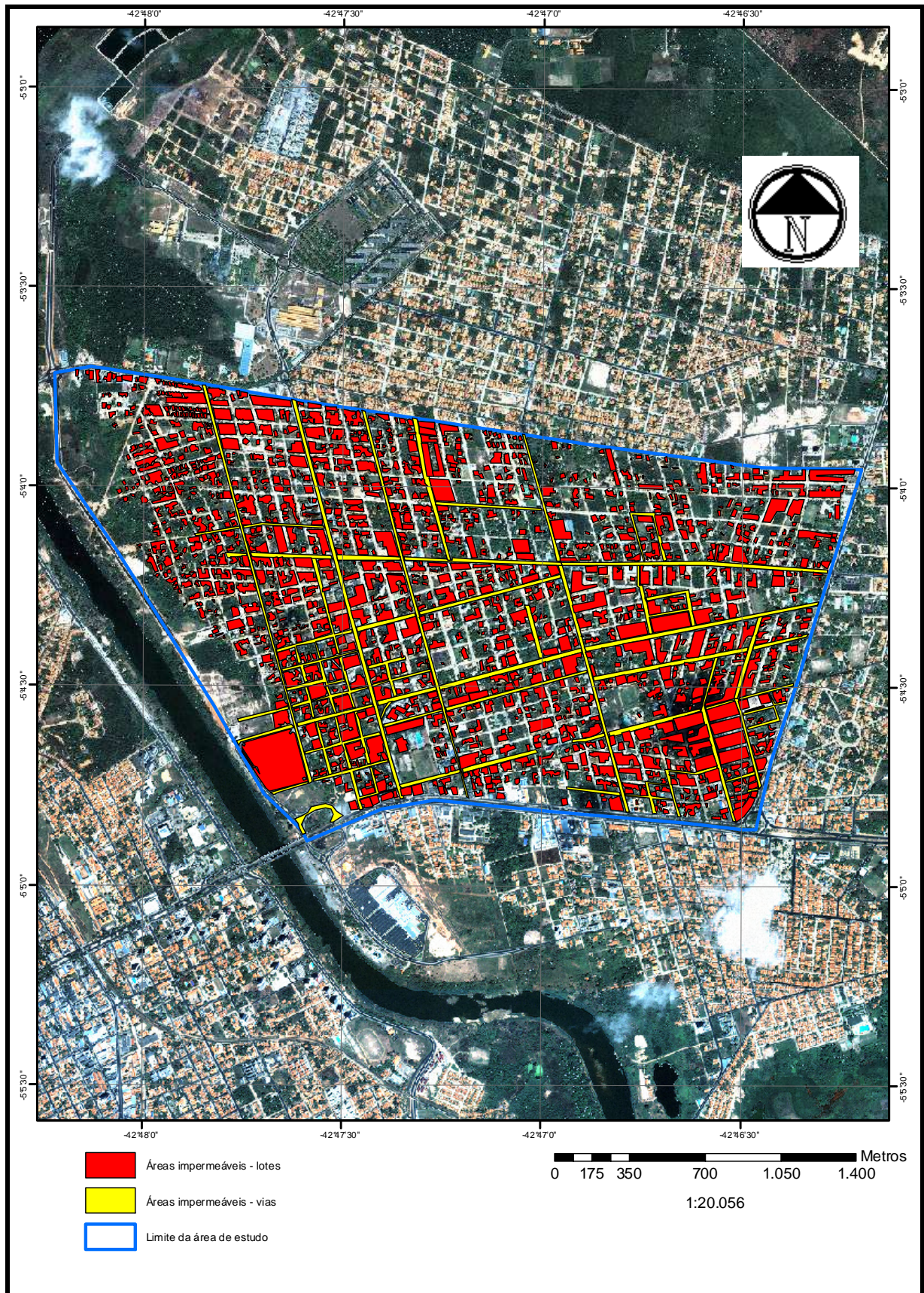


Figura 5.7: Áreas impermeáveis (vias e lotes) - ano de 2000

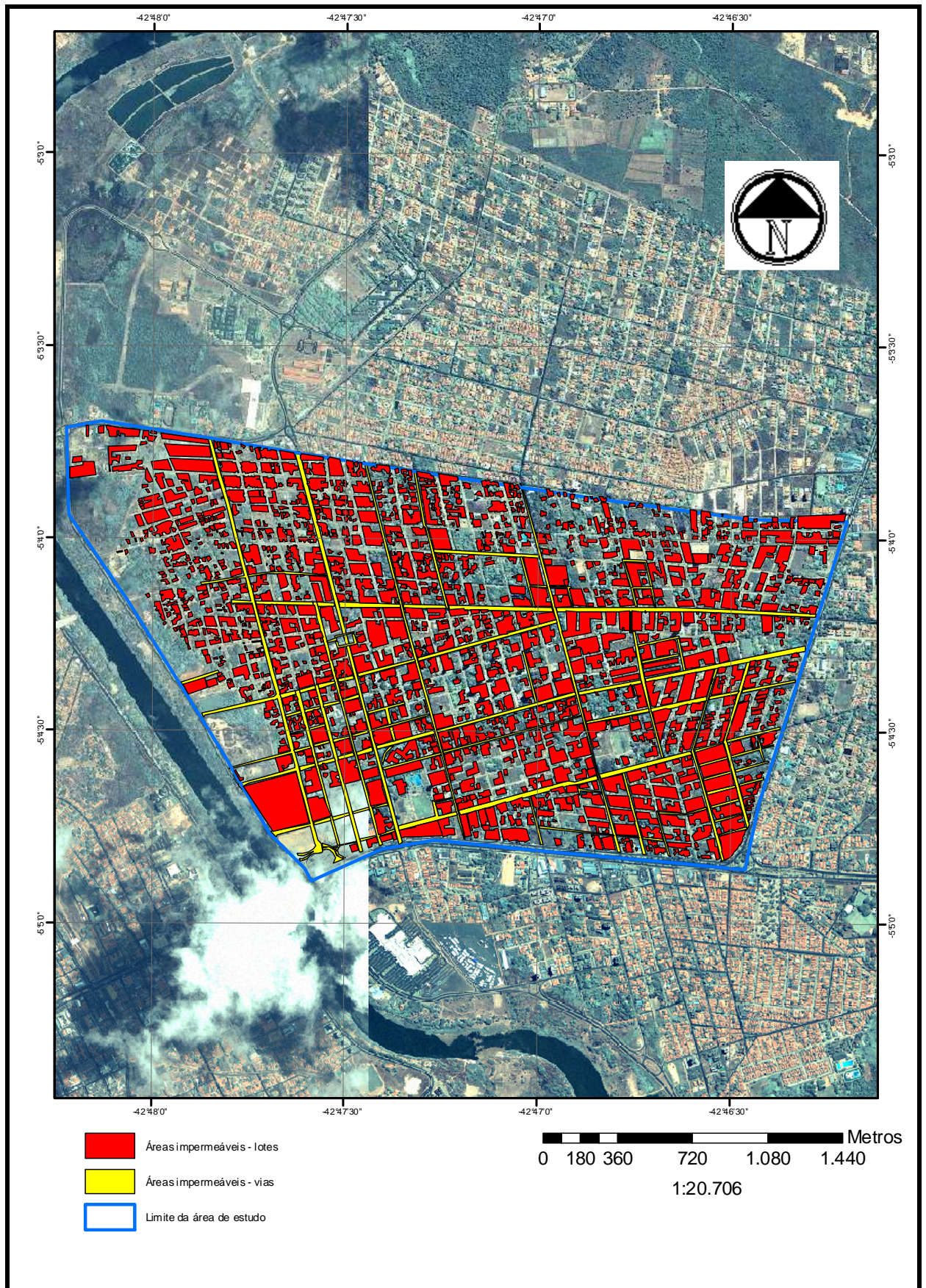


Figura 5.8: Áreas impermeáveis (vias e lotes) - ano de 2007

Na Tabela 5.1 consta a evolução das áreas impermeáveis obtidas para a região de estudo, no período considerado.

Tabela 5.1 – Evolução de áreas impermeáveis entre os anos de 2000 e 2007.

	Área Impermeável (ha)		Aumento Percentual de 2000 a 2007
	2000	2007	
Vias	44,71	48,21	7,96 %
Lotes	147,58	194,29	31,65 %
Total	192,29	242,50	26,11 %

Pode ser observado que ocorreu aumento considerável nas áreas impermeáveis, tanto das vias como nos lotes da região de estudo. O aumento é da ordem de 7,96% nas vias. Já nos lotes, o aumento é da ordem de 31,65%.

O aumento de área impermeabilizada nas vias se dá pela substituição da pavimentação existente (tipo “cabeça de jacaré”) por pavimentação asfáltica, basicamente pelo fato de que a pavimentação existente gera incômodo aos condutores dos veículos, sendo o asfalto a alternativa mais barata e rápida encontrada pelo executivo municipal para diminuir os inconvenientes gerados pelo calçamento.

Já nos lotes, o aumento da área impermeabilizada retrata uma prática já comum nas cidades, que é o do recobrimento dos quintais e jardins das casas com cimento ou outros tipos de pavimento impermeáveis. Esta prática traz um incremento importante na quantidade de água escoada superficialmente. É comum observar nos quintais das residências que, onde antes havia árvores e nenhum recobrimento do solo, atualmente o terreno está em sua maior parte impermeabilizado.

Também se apresenta como item importante no aumento das áreas impermeáveis nos lotes a construção de novas edificações, incrementando, a partir da projeção da área impermeabilizada dos telhados (no mínimo), a área impermeável dos lotes.

O aumento das áreas impermeáveis nos lotes também é fator preocupante, pois os lotes tendem a encaminhar cada vez mais água da chuva para as ruas. Em cidades como São Paulo-SP-Brasil e Porto Alegre-RS-Brasil, existe legislação que determina que as vazões de saída dos lotes deve ser menor ou igual à vazão original do terreno na condição de pré-construção. Esse tipo de medida possibilita a redução significativa dos

picos de vazão das águas que escoam pelas vias.

Na Tabela 5.2 estão os resultados relativos aos percentuais de área impermeável com relação à área total de estudo.

Tabela 5.2 – Percentual de áreas impermeáveis nos anos de 2000 e 2007 com relação à área total estudada.

	Área Impermeável (ha)		% de Área Impermeável para Região de Estudo (700ha)	
	2000	2007	2000	2007
Vias	44,71	48,21	6,38 %	6,88%
Lotes	147,58	194,29	21,08 %	27,75%
Total	192,29	242,50	27,46 %	34,64%

Verifica-se que mais de 1/3 da bacia encontra-se totalmente impermeabilizada. As medidas para o controle da drenagem neste estágio impermeabilização já devem considerar custos elevadíssimos.

De acordo com os dados levantados, considerando a taxa de aumento das áreas impermeabilizadas em 3,73% ao ano (26,11% entre 2000 e 2007), *ceteris paribus*, no ano de 2014 teremos uma taxa de impermeabilização superior a 50% da área total estudada.

5.5 Conclusões e Recomendações

Este trabalho avaliou a evolução das áreas impermeáveis em uma região da zona leste da cidade de Teresina-PI onde a população residente sofre com os constantes alagamentos.

Para o levantamento das áreas impermeáveis utilizou-se o *software ArcGis*, o qual se mostrou eficiente para a obtenção dos quantitativos de solo impermeável.

A partir da análise das imagens geradas no *ArcGis* foi possível verificar que as áreas impermeáveis na região de estudo evoluíram 26,11% no período compreendido entre os anos de 2000 e 2007, o que sugere uma taxa anual de 3,73%. Verificou-se também que o percentual impermeabilizado é da ordem de 34,64% na área estudada. Aplicando-se a taxa anual ao percentual impermeabilizado existente, obtêm-se a previsão de que um percentual superior a 50% da área estudada estará completamente

impermeabilizada até o ano de 2014.

Estes percentuais de área impermeabilizada são preocupantes, pois, como já exposto na revisão bibliográfica, uma maior taxa de impermeabilização do solo ocasiona um aumento nas vazões de pico, e, quanto maiores as vazões a serem controladas, maiores deverão ser as estruturas de controle da drenagem (galerias e canais). Estruturas de maior porte possuem um maior custo.

Um levantamento mais atual, certamente, verificaria que a taxa de crescimento das áreas impermeabilizadas está sendo a encontrada neste trabalho, pois o que se verifica no dia a dia da cidade são cada vez mais ruas sendo pavimentadas com asfalto e maior recobrimento dos quintais das casas. Este levantamento atualizado serve como proposta para um trabalho posterior, complementar a este.

É claro que outros fatores também intervêm no escoamento superficial, mas, a falta de preocupação em conservar áreas permeáveis nas vias, por meio de trincheiras de infiltração ou outras medidas, e nos lotes, através de incentivos fiscais e legislação regulamentadora, tende a prejudicar cada vez mais os moradores da zona leste de Teresina-PI. Além do fato de que as obras necessárias para se remediar os problemas decorrentes das inundações terão cada vez maior custo.

A adoção de um Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU – para o município de Teresina possibilitará instituir mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionada com o escoamento da água pluvial.

O que se deve concluir é que, em drenagem urbana, é melhor agir nas fontes geradoras do escoamento do que adotar medidas para amenizar o problema quando este já possui grande dimensão.

5.6 Referências

ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E.M., GOLDENFUM, J. A. Análise da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. da M. (Org.) **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade-UFRGS, 2000. v.1, p.351-362.

BENETTI, A.; BIDONE, F. O Meio Ambiente e os Recursos Hídricos . In TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora da Universidade UFRGS, ABRH, EDUSP. Porto Alegre, cap.22, 2001. pp.849-875.

BENINI, R. M. Cenários de Ocupação Urbana e Seus Impactos no Ciclo Hidrológico da Bacia do Córrego do Mineirinho. São Carlos, SP. 2006, 141p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos da

Universidade de São Paulo.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; TURCKNICZ, B. Análise da influência dos instrumentos reguladores de ocupação no escoamento urbano. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. da M. (Org.). **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora Universidade – UFRGS, 2001. v. 2. p. 487-498.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/ikonos.htm>> acesso em: 11 de setembro de 2010.

Environmental Systems Research Institute - ESRI. **What is ArcGIS?**. ESRI: Califórnia, 2010.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D. **Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do arroio Cancela – RS**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 11. N.4. Out/Dez 2006, 99-118.

KAUFFMANN, M. O. **Expansão Urbana e Qualidade de Vida**: proposta para desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade aplicados à Legislação Urbanística. 2003. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do estado do Rio de Janeiro – UERJ.

LIMA, Patrício. Chuva destrói casa, arrasta carro e gera prejuízo na zona leste. **Portal 180graus**. Teresina, 28 de abril de 2009. Disponível em: <<http://180graus.com/geral/chuva-destroi-casa-arrasta-carro-e-gera-prejuizo-na-zona-leste-195178.html>>. Acesso em: 08 jul. 2010.

MELO, C. C. J.; BRUNA, G. C. Desenvolvimento urbano e regional de Teresina, Piauí, Brasil e sua importância no atual quadro de influência na Rede Urbana Regional no Brasil. In: CONGRESSO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE CABO VERDE, 1., 2009, Teresina. **Anais Eletrônico**. Disponível em: <<http://www.apdr.pt/congresso/2009/pdf/Sess%C3%A3o%2037/245A>>.pdf. Acesso em 01/10/2010.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente**. 3ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003, 356p.

PEDROSA, V. A. **O controle da urbanização na macrodrenagem de Maceió: Tabuleiro dos Martins**. UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.. Dissertação (Mestrado), Porto Alegre, 1996. 139p.

PEPLAU, G. R. **Influência da variação da urbanização nas vazões de drenagem na Bacia do Rio Jacarecica em Maceió – AL**. Recife-PE. 2005, 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pernambuco.

PÔMPEO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p.15 – 23, 2000.

PORTELA, C. Chuvas em pleno B-R-O-BRÓ surpreendem piauienses. **Jornal O Dia**. Teresina, 26 out. 2009. Disponível em: <<http://www.sistemaodia.com/noticias/chuvas-em-pleno-b-r-o-bro-surpreendem-piauienses-58562.html>>. Acesso em: 08 jul. 2010.

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. Manejo de águas pluviais urbanas. *In: Manejo de águas pluviais urbanas*. Rio de Janeiro: ABES, 2009, p.19-73.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação – SEMPLAN. **Teresina em Bairros: Bairros da zona leste**. Disponível em: <http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt/orgao/downloads.php?doc_codigo=149&org_codigo=14&cat_codigo=69> . Acesso em: 01/11/2010 (2010a).

TERESINA. Prefeitura Municipal de Teresina. **Conheça Teresina**. Disponível em: <http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt2010/mini_topo.php?url=http://www.teresina.pi.gov.br:8080/semdec/default.asp>. Acesso em: 10/10/2010 (2010b).

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação - SEMPLAN. **Quem Somos**. Disponível em: <http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt2010/mini_topo.php?url=http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt/orgao/index.php?org_codigo=14>. Acesso em 01/11/2010 (2010c).

TRIBUNA DO SOL. [Sem título]. 2009. Imagem JPEG. Tamanho 56013 bytes. Dimensões 530 x 307 pixels. Disponível em: <www.tribunadosol.com.br/arquivos/homerochuvas.jpg>. Acesso em: 18 jun. 2010.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 194p. (Saneamento para Todos; 4º volume)

_____. Escoamento Superficial. *In: TUCCI, C. E. M. (Org.) Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, ABRH, EDUSP.2001, cap. 16, p. 391-441.

**6. REFLEXÕES SOBRE A DRENAGEM URBANA: MEDIDAS ALTERNATIVAS
PARA ÁREA DA ZONA LESTE EM TERESINA, PIAUÍ¹**
João Macêdo Lima Júnior²; Wilza Gomes Reis Lopes³

¹ Parte da dissertação de mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN).

² Engenheiro Civil, Mestrando do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí - PRODEMA/UFPI/TROPEN (jlimaj@hotmail.com)

³ Arquiteta, Professora do Departamento de Construção Civil e Arquitetura e do Programas de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, PRODEMA/UFPI (izalopes@uol.com.br)

6. REFLEXÕES SOBRE A DRENAGEM URBANA: MEDIDAS ALTERNATIVAS PARA ÁREA DA ZONA LESTE EM TERESINA, PIAUÍ

Resumo

A evolução das idéias com relação à sustentabilidade das cidades proporcionou uma mudança de paradigma no concernente ao controle da drenagem urbana. As soluções baseadas puramente no conceito higienista, de escoamento rápido das águas por meio de obras hidráulicas, foram perdendo espaço para as alternativas que aliam medidas de caráter não estrutural às de contenção na fonte das águas de chuva, as chamadas técnicas compensatórias em drenagem urbana. Este trabalho tem o objetivo de propor algumas alternativas para o controle do escoamento superficial, tendo como enfoque área da zona leste da cidade de Teresina, Piauí, baseado em revisão bibliográfica relativa aos tipos de medidas não convencionais. A área de estudo compreende uma região com alta densidade populacional, grande nível de urbanização e valorizada do ponto de vista imobiliário. As medidas que se mostram mais viáveis são as que utilizam pequenas áreas para a retenção das águas da chuva, em lotes individuais ou em áreas públicas. As alternativas baseadas na execução de grandes bacias de detenção, apesar da possível eficácia no controle das inundações, são comprometidas pelo elevado custo de desapropriação dos terrenos da região, visto que o número de áreas livres na área é bastante reduzido. Cabe à administração pública municipal a análise técnica e econômica para a escolha das medidas de controle da drenagem urbana a serem implantadas de modo que as soluções propostas não se resumam sempre apenas em canalização das águas por meio de galerias ou canais pluviais.

Palavras-chave: drenagem urbana, medidas não convencionais, contenção de águas pluviais, retardo do escoamento superficial.

Abstract

The evolution of ideas about the sustainability of cities provided a paradigm shift with regard to the control of urban drainage. Solutions based purely on the concept hygienist, rapid flow of water through the waterworks were losing ground to alternatives that combine measures at a non-structural source of contention in the rainwater, the so-called compensatory techniques in urban drainage. Based on literature review on the types of non-conventional, this study aims to propose some alternative ways to control runoff from the Teresina, Piaui, located on the east side of town. The study area covers a region with high population density and high level of urbanization and, yet, it is valued region in terms of real estate. The measures that are most viable are those that use small areas for retention of rainwater at the level of individual lots or in public areas. The alternatives based in implementing large detention basins, despite the possible effectiveness in flood control, are compromised by the high cost of expropriation of land in the region. It is the municipal administration to technical and economic analysis for choice of measures to control stormwater to be deployed so that the proposed solutions are not always just summarize in channeling the water through stormwater channels or galleries.

Keywords: urban drainage, non-conventional measures, containment of rainwater, runoff retardation

6.1 Introdução

O processo de ocupação dos centros urbanos gera diversos impactos no meio ambiente. Uma das transformações mais notadas, tanto pelo aspecto de mudança da paisagem como pelo fato dos efeitos gerados a partir dessa modificação do estado original, é a redução da capacidade de permeabilidade do solo urbano. O solo das cidades possui parcela considerável de sua superfície impermeabilizada pelas edificações, pavimentação de vias e calçadas. A transformação de áreas anteriormente permeáveis em áreas impermeáveis induz a um desequilíbrio hidrológico, caracterizado pelo aumento do escoamento superficial e pela antecipação dos picos de vazão no tempo, o que está diretamente relacionado com as enchentes em áreas urbanas (TUCCI, 2006).

Conforme expõe Martins (2006), as alternativas para lidar com os problemas das enchentes urbanas ocasionadas pela impermeabilização do solo quase sempre são idealizadas como obras de caráter corretivo, partindo do conceito de que as águas devem ser afastadas o mais rápido possível por meio de obras hidráulicas. Contudo, a preocupação na manutenção dos sistemas naturais de drenagem como meio de conservar a capacidade de infiltração do solo e, assim, amenizar os problemas relacionados com as inundações decorrentes da urbanização, tem se tornado cada vez mais presente.

Silveira (2000) analisa em seu trabalho as diversas etapas de desenvolvimento, no Brasil, do pensamento sobre Hidrologia Urbana. A primeira etapa é caracterizada pelo movimento higienista surgido na Europa no século XIX, o qual indicava como melhor alternativa para a saúde pública a eliminação sistemática das águas paradas e dos dejetos domésticos jogados nas vias públicas. A segunda etapa ainda conserva o conceito de evacuação rápida, mas procura estabelecer um método de cálculo para o dimensionamento mais racional das obras hidráulicas. Já a terceira etapa, a qual surge no final do século XX, juntamente com o fortalecimento da idéia de desenvolvimento sustentável, traz no seu cerne a abordagem qualitativa dos dejetos, propondo-se a melhorar a tecnologia no tratamento dos esgotos e conservar o máximo possível as características naturais do ciclo hidrológico quando da adoção de medidas de controle da drenagem urbana.

Com a evolução das idéias e concepções a respeito da sustentabilidade das cidades, no campo da hidrologia urbana são realizadas pesquisas de caráter multidisciplinar, analisando o efeito da urbanização para o escoamento de bacias hidrográficas, e realizando pesquisas sobre propostas de ocupação do espaço urbano, que minimizem os efeitos negativos gerados pela alteração do ciclo hidrológico (ALVES, 2005).

Nos estudos desenvolvidos atualmente, relativos à drenagem urbana, é direcionada atenção, cada vez maior, às etapas de planejamento das ações a serem adotadas, buscando-se medidas de prevenção de enchentes e também meios de minimizar os impactos causados pelas grandes obras de drenagem urbana.

Atualmente, a abordagem do problema das inundações urbanas pode se dar a partir de medidas técnicas de engenharia, da execução de obras ou de medidas de proteção.

São exemplos de medidas que possuem aspectos substancialmente técnicos de engenharia: a retificação de rios, canalização e execução de condutos subterrâneos, dentre outros. O princípio destas medidas baseia-se, conforme coloca Alves (2005, p. 48), “nos hidrogramas gerados, não agindo sobre as causas (fontes) do hidrograma”, ou seja, estas medidas possuem o caráter de resolução do problema de forma localizada, o que faz com que as inundações acumulem-se a jusante da bacia. São consideradas medidas estruturais convencionais, pois se efetivam a partir da execução de obras de engenharia visando apenas a resolução do problema de maneira automática e localizada.

As alternativas mais modernas para o controle da drenagem urbana priorizam a execução de obras de engenharia que, associadas ou não aos sistemas tradicionais de drenagem (canalizações), visam incrementar os processos de retardamento do escoamento, seja por meio de mecanismos que propiciam a infiltração da água das chuvas no solo ou por meio de estruturas de retenção dos escoamentos. Nos dois casos, a intenção é a de diminuir os picos de vazão por meio conveniente de armazenamento do deflúvio (CANHOLI, 2005). Trata-se do conceito de tecnologias alternativas ou compensatórias de drenagem pluvial. “O termo compensatório faz referência ao propósito central de tais técnicas de procurar compensar ou minorar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico.” (NASCIMENTO; BATISTA, 2009, p. 151)

Já a implementação de medidas de proteção e métodos de minimização dos riscos das enchentes são definidos por equipamento legal de planejamento físico das áreas sujeitas a ocorrência dos problemas das inundações. Estas medidas são baseadas em leis e regulamentos que visam a redução dos riscos de inundação de áreas urbanas, estando desta forma agindo de modo nas causas do problema. São consideradas medidas não estruturais, pois se baseiam em medidas legais de planejamento urbano (ALVES, 2005, p.49).

Neste trabalho são apresentadas algumas medidas compensatórias para o controle da drenagem urbana. Também são apresentados casos de outras cidades brasileiras onde já são adotadas medidas não convencionais para o controle da drenagem urbana. Por fim, são relacionadas sugestões de possíveis medidas compensatórias de controle da drenagem urbana

aplicáveis à cidade de Teresina, Piauí, mais especificamente na região da zona leste da cidade, visto que esta região apresenta nos períodos chuvosos diversos pontos de inundação, os quais prejudicam os moradores e aqueles que trafegam pelas vias locais.

Para a obtenção dos objetivos, foi feita uma revisão da literatura referente ao controle do escoamento superficial e sobre o processo de urbanização da zona leste da cidade de Teresina. Também, a fim de caracterizar a área impermeável da região de estudo da cidade de Teresina, utilizou-se o software *ArcGIS*. Desta maneira foi possível fazer uma estimativa das áreas impermeáveis (áreas dos lotes, calçadas e vias) por meio do uso da ferramenta de edição do *software*, e, após demarcadas as áreas de interesse, utilizou-se a ferramenta de cálculo a fim de obter-se os quantitativos das áreas demarcadas.

A análise de estudos de caso em diversas regiões do Brasil possibilitou uma reflexão direcionada à região de estudo. Deverão ser considerados na análise das alternativas, os aspectos de uso e ocupação do solo da região estudada, as características do zoneamento, a densificação urbana. A verificação das peculiaridades da área estudada possibilitará possíveis adaptações de medidas adotadas em outros lugares que enfrentam semelhante problema na época das chuvas.

6.2 Mudança de paradigma nas medidas de controle da drenagem urbana

Com a evolução das idéias e concepções a respeito da sustentabilidade das cidades, no campo da hidrologia urbana são realizadas pesquisas de caráter multidisciplinar com foco nos efeitos da urbanização para o escoamento superficial nas bacias hidrográficas, o que possibilita o desenvolvimento de propostas de ocupação do espaço urbano que minimizem os efeitos negativos gerados pela alteração do ciclo hidrológico (ALVES, 2005).

Estudo elaborado por Cruz e Tucci (2008), sobre avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana, mostra que uma antecipação das ações a serem tomadas para o controle das enchentes urbanas possibilita redução significativa de gastos públicos com obras corretivas. Na mesma linha de estudo, Alves (2005) afirma que a adoção de medidas preventivas de cunho não estrutural pode proporcionar a integração de forma harmoniosa entre o sistema urbano e o natural, sendo, portanto, fator significativo para a prevenção de inundações, aliado à possibilidade de conservação das características naturais do meio. Tais ações de controle e medidas preventivas traduzem-se em obras e legislação, ou, em outros termos, medidas estruturais e não estruturais para o controle e prevenção das enchentes urbanas.

Segundo Pômpeo (2000), com o desenvolvimento do conceito de sustentabilidade, os estudos relativos ao controle de enchentes urbanas deixaram de possuir tratamento exclusivo no âmbito técnico da engenharia, visto que, as novas ações direcionadas ao controle da drenagem urbana devem reconhecer a complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade, o que exige análise em termos técnicos e gerenciais da drenagem urbana e controle de cheias.

Tanto as medidas estruturais como as não estruturais têm como unidade de planejamento a bacia hidrográfica, a partir da qual se origina o Plano Diretor de Drenagem, importante instrumento de planejamento, coordenação, fiscalização e supervisão de uma série de ações ordenadas, com o objetivo de regulamentar o crescimento urbano, traduzido em variadas obras, visando mitigar os efeitos das inundações (TUCCI, 1997).

Esta nova abordagem aponta para uma otimização da relação entre o custo e a eficiência dos sistemas de drenagem propostos, a partir de uma legislação voltada para a regulamentação do uso e ocupação do solo, com vistas a impedir a ocupação de áreas de risco e também para a redução dos impactos gerados pela impermeabilização do solo urbano.

6.3 Exemplos de técnicas compensatórias de drenagem pluvial

Um conceito amplamente utilizado para a aplicação em medidas inovadoras de drenagem é o de detenção dos escoamentos. Neste sentido, Canholi (2005, p.35) coloca que “a finalidade principal deste tipo de solução é promover a redução do pico de enchente, por meio do amortecimento das ondas de cheia, obtido pelo armazenamento de parte do volume escoado”.

Na Figura 6.1 são apresentados alguns dispositivos empregados nos projetos que priorizam o conceito de canalização e os dispositivos mais empregados nos projetos que buscam ampliar a metodologia de abordagem para o controle das águas urbanas, utilizando a reservação na fonte ou a jusante, comparando os hidrogramas gerados em cada sistema. Observa-se na Figura 6.1 que os picos de cheia gerados nos sistemas convencionais (canalização) são bem mais elevados que os gerados nos sistemas que se utilizam de elementos projetados com base nos conceitos de reservação.

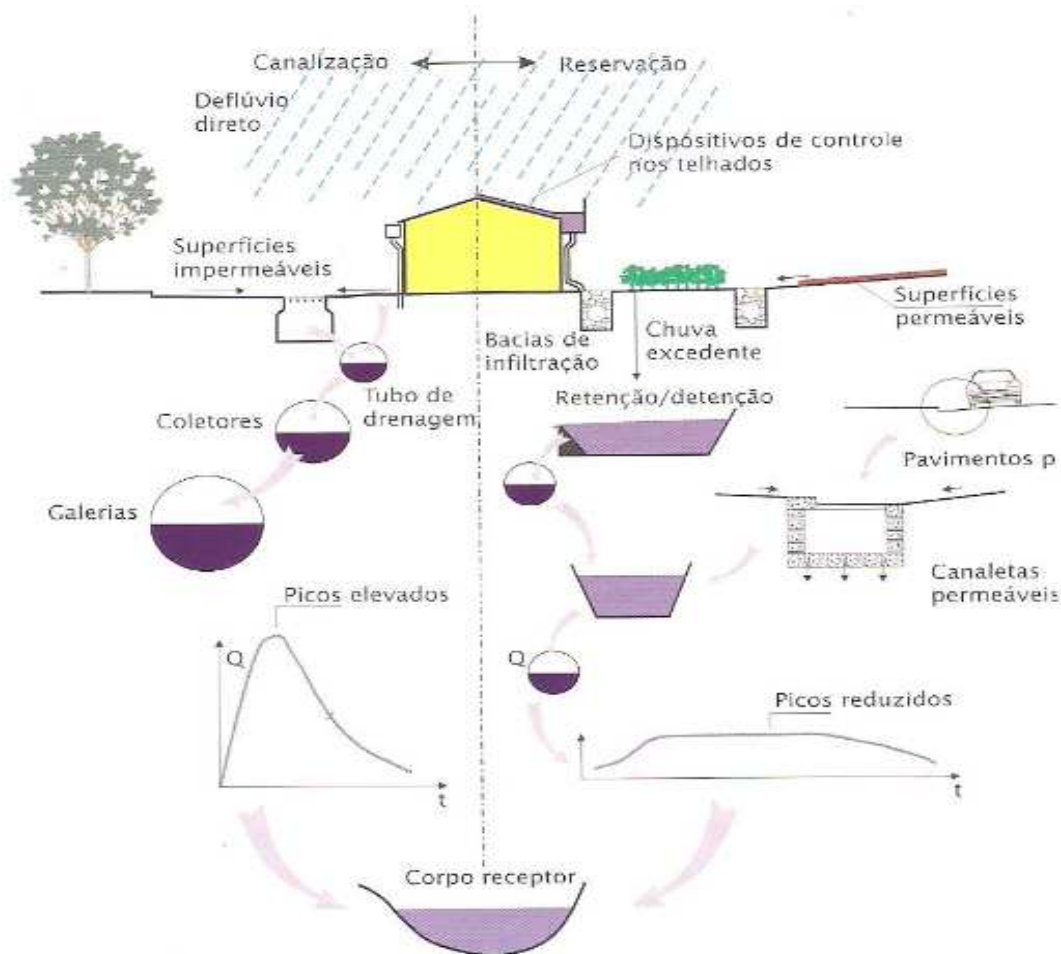


Figura 6.1: Esquema comparativo entre canalização e reservação
Fonte: Canholi (2005, p. 36)

Estes sistemas de reservação são classificados, segundo Canholi (2005), de acordo com a sua localização no sistema de drenagem, em sistemas de contenção na fonte e sistemas de contenção a jusante.

Os sistemas de contenção na fonte compreendem dispositivos de pequenas dimensões e localizados próximo aos locais onde os escoamentos são gerados. Destacam-se neste tipo de sistema as superfícies de infiltração, pavimentos permeáveis, valetas de infiltração, lagoas de infiltração, bacias de percolação, pavimentos permeáveis e poços de infiltração.

Holz e Tassi (2007) estudaram a viabilidade da implantação de sistemas não convencionais, do tipo contenção na fonte, em um loteamento localizado na cidade de Flores da Cunha, RS. A partir das características do terreno e do regime de chuva da área estudada, os autores procederam ao dimensionamento das estruturas não convencionais para um período de retorno de 10 anos. Ao final do trabalho foi possível concluir que o sistema não convencional projetado para a área (sistema misto composto por valas de infiltração,

trincheiras de infiltração e pavimento permeável) era bastante viável e seguro, além de ter seu custo de implantação bastante inferior ao sistema convencional originalmente projetado para o loteamento.

Em Projeto Piloto implantado na Prefeitura Municipal de Belo Horizonte são previstas pesquisas em inovações tecnológicas para manejo e gestão de águas urbanas. Diversos experimentos e pesquisas estão sendo desenvolvidos na cidade de Belo Horizonte visando a implantação de soluções não convencionais em drenagem urbana. São monitorados poços de infiltração, valas de infiltração, bem como são apresentados todos os passos para a execução destas estruturas (Prefeitura de Belo Horizonte, 2011). Isto demonstra a importância cada vez maior dos sistemas não convencionais em drenagem urbana.

Os sistemas de contenção a jusante, como explica Canholi (2005), dizem respeito às obras para reservação das águas das chuvas a jusante, as quais controlam os deflúvios provenientes de partes significativas da bacia. Estas obras possuem uma dimensão maior que as obras de contenção na fonte. Alguns exemplos são as bacias de retenção, bacias de detenção e bacias de sedimentação.

Bacias de retenção são reservatórios que servem para outros fins que não apenas o de retenção de parte das águas das chuvas, ou seja, estes reservatórios sempre possuem um determinado volume de água a fim de possibilitar o desenvolvimento de diversas atividades. Nos períodos de chuva, este volume de água acumulada aumentará, voltando aos níveis normais logo após o fim do período chuvoso (CANHOLI, 2005).

Na Figura 6.2 é apresentada a foto de uma bacia de retenção existente no Município de Uberaba, Estado de Minas gerais, Brasil.



Figura 6.2: Bacia de retenção em Uberaba, MG
Fonte: Canholi, 2005

Outro exemplo de adoção e aproveitamento das potencialidades da implantação de uma bacia de retenção, é apresentado na Figura 6.3 um Parque Ecológico Oeste, Localizado na cidade de Lisboa, Portugal. “Criado numa zona de vale, este parque tem uma função ecológica primordial constituindo uma bacia de retenção que permite o aproveitamento das águas da chuva que serão depois utilizadas para a rega e sustentabilidade de todo o coberto vegetal e alimentação dos lagos construídos” (LISBOA, 2006).



Figura 6.3: Bacia de retenção em Alta do Lumiar, Lisboa, Portugal
Fonte: Lisboa, 2006

Já as bacias de detenção são reservatórios que só acumulam água durante e após as chuvas. Nos demais períodos do ano permanecem secos, podendo também ser usados como locais de desenvolvimento de algumas atividades recreacionais ou paisagísticas (CANHOLI, 2005).

Na Figura 6.4 é possível identificar uma bacia de detenção próxima a uma região residencial. Esta bacia de detenção foi executada na cidade de Santo André, Estado de São Paulo, Brasil, e possui área verde e de lazer incorporadas que podem ser aproveitadas no período de estiagem. As bacias de detenção podem ser aproveitadas para atividades de lazer, através da implantação de quadras esportivas e canchas de skate, por exemplo (PORTO ALEGRE, 2010).



Figura 6.4: Bacia de detenção em Santo André, SP
Fonte: Canholi, 2005

Bacias de sedimentação: são reservatórios que têm como função principal reter sólidos em suspensão ou absorver poluentes que são carregados pelos escoamentos superficiais (TUCCI, 1995).

Na Figura 6.5 é apresentado esquema de uma bacia de sedimentação, aonde os sólidos vão sendo retidos em valas existentes na bacia. Este dispositivo atua tanto no controle quantitativo como no qualitativo das águas de chuva, pois além de retardar o escoamento, possibilita a retenção dos sólidos, que podem contaminar outros pontos da bacia ou obstruir sistemas de drenagem complementares.

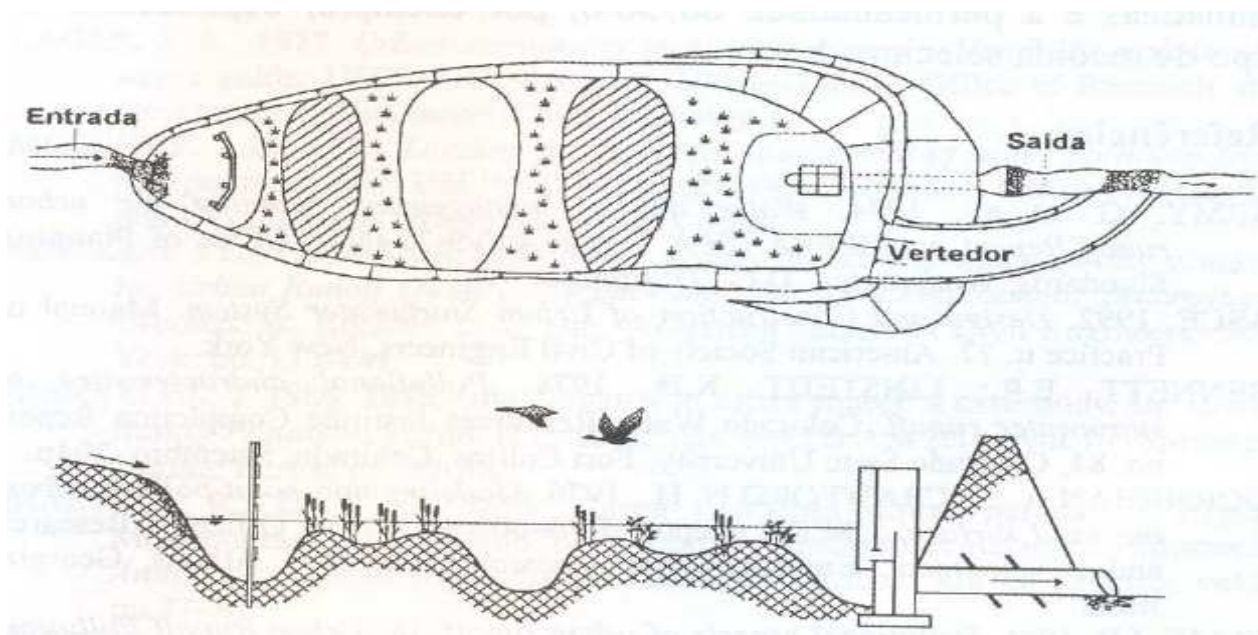


Figura 6.5: Bacia de sedimentação
Fonte: Urban Drainage and Flood Control District, 1992 apud Tucci, 1995, p. 425

As medidas não convencionais ou compensatórias, dependendo da característica de cada uma, tanto podem ser adotadas em áreas onde já exista um nível de urbanização considerável implantado, como também possibilitam um melhor planejamento para as águas de escoamento superficial a serem geradas em próximos estágios de ocupação da bacia, evitando os gastos de maiores custos para implantação de sistemas de canalização corretivos.

6.4 A cidade de Teresina e a área de estudo

Teresina é a capital do Estado do Piauí. Está localizada no Centro-norte do estado e meio-norte do nordeste brasileiro, com Latitude Sul: 05° 05' 12'' e Longitude Oeste: 42° 48' 42'' (TERESINA, 2010a).

A sua área metropolitana Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina, composta pela capital e os municípios de Altos, Beneditinos, Coivaras, Curralinhos, Demerval Lobão, José de Freitas, Lagoa Alegre, Lagoa do Piauí, Miguel Leão, Monsenhor Gil e União, no Piauí, além de Timon no Maranhão, tem mais de 1,15 milhão de habitantes (TERESINA, 2010b).

Teresina apresenta no seu contorno geográfico a seguinte delimitação (TERESINA, 2010a):

- Ao norte: União, José de Freitas;
- Ao sul: Palmeirais, Monsenhor Gil e Curralinhos;
- Ao leste: Altos, Demerval Lobão, Lagoa do Piauí e Pau d'Arco do Piauí;
- Ao oeste: estado do Maranhão.

A cidade é dividida administrativamente em cinco regiões, as quais têm seus planos de desenvolvimento urbano conduzidos pelas respectivas Superintendências de Desenvolvimento Urbano (SDU's). As SDU's são coordenadas, supervisionadas e avaliadas pela Secretaria de Planejamento e Coordenação (SEMPPLAN), fazendo parte da administração direta do município, subordinadas ao chefe do poder executivo municipal (TERESINA, 2010c).

Quanto à urbanização da cidade, Teresina, segundo IBGE (2000), entre os anos de 1991 a 2000, teve uma taxa média de crescimento geométrico de 2,03%, já em 2000, a taxa de urbanização do município de Teresina é de 94,70%, com uma pequena redução para 94,26% segundo o último censo de 2010.

Este aumento considerável da população urbana de Teresina acarreta uma ocupação

para fins de construção de conjuntos habitacionais de áreas antes consideradas rurais. Acompanhando o incremento habitacional estão as obras de infraestrutura mínimas: rede abastecimento de água, iluminação pública, pavimentação e equipamentos urbanos. Há, portanto, a necessidade de se aliar o aumento populacional na área urbana de Teresina à sustentabilidade ambiental dos novos assentamentos humanos, bem como dos já existentes.

A zona leste de Teresina é formada por 27 bairros, segundo dados da Prefeitura Municipal (TERESINA, 2010a). Melo e Bruna (2009), afirmam que o crescimento da zona leste da cidade de Teresina foi possível somente após a construção da ponte sobre o Rio Poti, em 1957, ligando a Avenida Frei Serafim à zona leste da cidade. A partir desse ano, a zona leste experimentou um crescente adensamento populacional, com incremento considerável a partir da implantação da rede coletora de esgotos na região próxima ao Rio Poty, ocasionando a valorização crescente dos imóveis da região.

Sócio-econômicamente, a região é considerada “nobre”, com renda média mensal das pessoas responsáveis pelo domicílio de R\$ 3.219,15, segundo dados do ano de 2000 da Secretaria Municipal de Planejamento – SEMPLAN.

A região de estudo conta com infraestrutura de rede de energia elétrica, iluminação pública, rede coletora de esgoto sanitário, rede de abastecimento de água, sistema de coleta das águas pluviais (galerias). Ainda, nesta região da zona leste localizam-se variadas opções de lazer, entretenimento, educação, comércio e grande concentração de habitações multifamiliares verticais.

Devido à disposição da topografia da região, as águas precipitadas na região tendem a direcionar-se no sentido leste oeste, passando por uma região altamente adensada e impermeabilizada, o que favorece o aparecimento de pontos de inundação à jusante. Praticamente toda a água que precipita na sub-bacia tende a escoar para a região de estudo, até chegar ao Rio Poty. Contudo, devido à declividade natural, à pouca capacidade de permeabilidade do solo e à existência de ruas estreitas que funcionam como “calhas” de escoamento das águas da chuva, as águas tendem a se acumular em diversos pontos.

A área de estudo está localizada na zona leste da cidade, compreendendo uma parte da sub-bacia, próxima ao Rio Poty, conforme o indicado na Figura 6.6. Totaliza cerca de 700 ha, limitada por um polígono delimitado: ao norte, em 1,10 km pela Av. Petrônio Portela e sua continuação pela Av. Visconde da Parnaíba, em 2,70 km; a leste, Av. Presidente Kennedy, na extensão de 1,80 km, até o cruzamento com a Av. João XXIII, ao sul, seguindo cerca de 2,20 km a oeste, até a Av. Raul Lopes, localizada à margem do Rio Poty – ponto mais a jusante da sub-bacia, a qual segue-se cerca de 2,50 km ao norte até encontrar Av.

Petrônio Portela novamente. Esta região localiza-se na micro-bacia do Rio Poty. Este polígono abrange quatro bairros, sendo eles: Ininga, Jóquei, Horto e Fátima.



Figura 6.6: Limites da área de estudo
Fonte: Google Earth, com adaptações

6.5 Resultados e discussão

O sistema em estudo envolve área urbana com alta densidade de ocupação do solo. Pode-se levar em consideração como parâmetro de caracterização do grau de urbanização, o quantitativo referente às áreas impermeáveis da região entre os anos de 2000 e 2007, obtidos a partir da análise das Figuras 6.7 e 6.8.

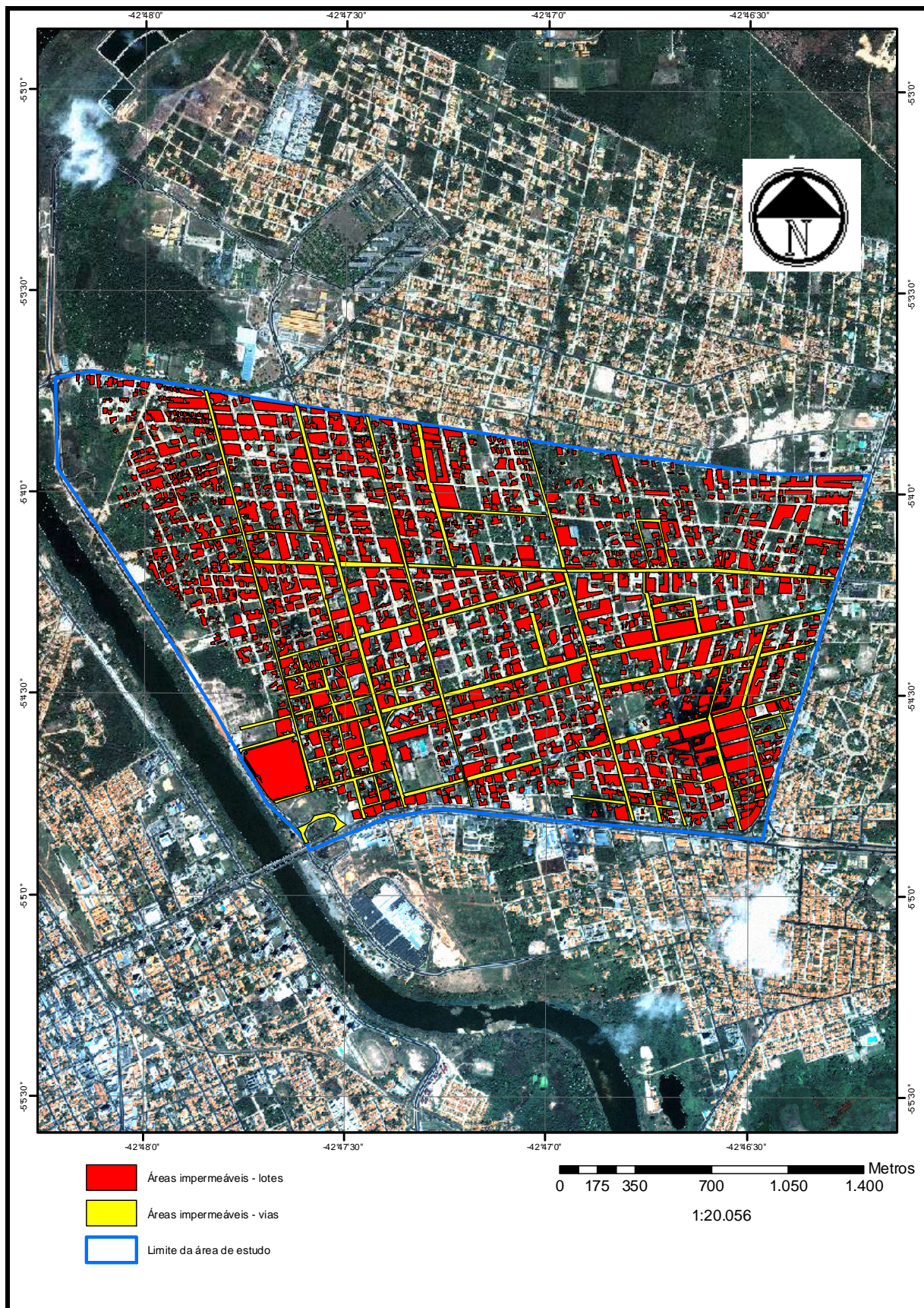


Figura 6.7: Áreas impermeáveis (vias e lotes) - ano de 2000

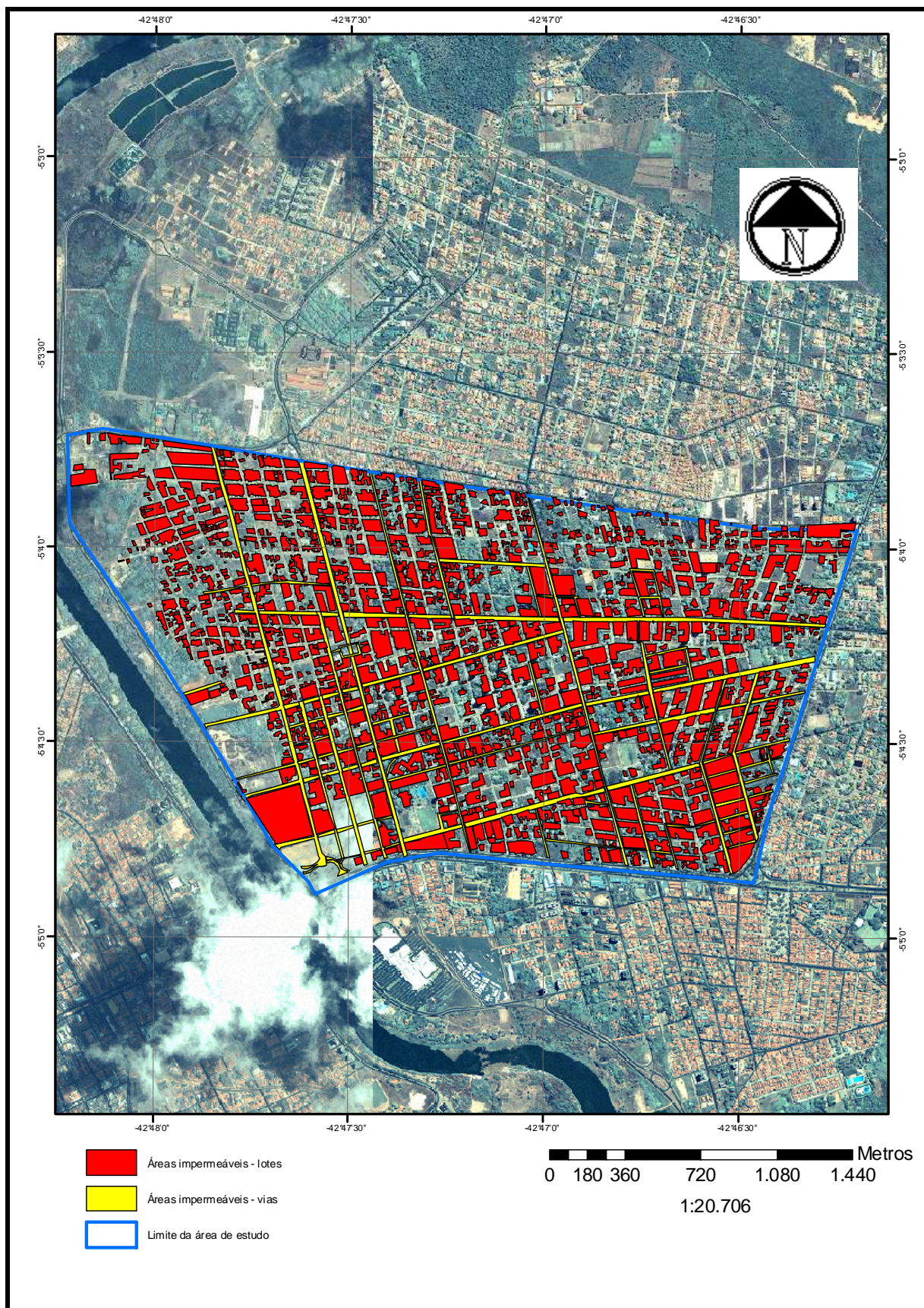


Figura 6.8: Áreas impermeáveis (vias e lotes) - ano de 2007

Na Tabela 6.1 é possível verificar o aumento da área total impermeável na região de estudo no período considerado.

Tabela 6.1 – Percentual de áreas impermeáveis nos anos de 2000 e 2007.

	Área Impermeável (ha)		% de Área Impermeável para Região de Estudo (700ha)	
	2000	2007	2000	2007
Vias	44,71	48,21	6,38 %	6,88%
Lotes	147,58	194,29	21,08 %	27,75%
Total	192,29	242,50	27,46 %	34,64%

A evolução da urbanização, aliada a não adoção de medidas preventivas para o controle das enchentes gera o aumento dos problemas com as inundações no período chuvoso.

As soluções para o controle da drenagem urbana em regiões com alto grau de urbanização e densidade populacional – caso da região estudada – devem aliar critérios técnicos, econômicos e funcionais, de modo que as melhores alternativas serão as que aliam medidas estruturais não convencionais e medidas não estruturais – basicamente a adoção de uma legislação voltada para a não geração de escoamento superficial procedente dos lotes.

A primeira solução a ser analisada diz respeito à adoção de microreservatórios de detenção nos lotes. Esta medida, de controle da vazão na sua fonte, visa à redução da vazão natural na saída dos lotes por meio do amortecimento das ondas de cheia, pelo armazenamento temporário dos volumes escoados.

Canholi (2005) explica que este tipo de solução possui a vantagem de adotar dispositivos compostos por pequenas unidades de reservação, que podem ser padronizadas, por outro lado, a avaliação do desempenho global, para fins de dimensionamento e projeto, pode ser complexa e composta por incertezas.

Tassi (2002) propõe critérios para o dimensionamento dos microrreservatórios, a partir dos quais determina o volume de armazenamento necessário para se conseguir manter a vazão de pré-urbanização no lote. A autora, a partir da análise da eficiência dos microrreservatórios em uma bacia simulada, observa que foi possível reduzir as vazões escoadas nas redes de macrodrenagem a níveis significativos, chegando a mais de 50%, com relação às vazões de pico na bacia sem microrreservatórios nos lotes. Existem considerações, que não são objeto deste trabalho, que devem ser avaliadas de acordo com as características da bacia, a fim de que se obtenha a otimização no uso deste artifício.

Para o caso da cidade de Teresina, a adoção de uma legislação específica relativa à uniformização do uso de microrreservatórios por lotes poderia ser uma alternativa, pois, desta forma, o dono do lote impermeabilizado não geraria vazões adicionais às originais, o que aumenta as vazões de pico, favorecendo o aparecimento de pontos de inundação.

Outra solução cuja adoção tenderia a melhorar as características do solo urbano no concernente ao grau de impermeabilização seria a utilização de pavimentos permeáveis. Os pavimentos permeáveis constituem-se de superfícies porosas ou perfuradas que permitem a infiltração de uma parte do escoamento superficial para dentro de uma camada inferior de reservação, formada por pedras de granulometria diferenciada, que liberará a água acumulada ao solo, por infiltração (COSTA JÚNIOR; BARBASSA, 2006).

Em estudo para avaliar a eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial, Araújo, Tucci, e Goldenfum (2000) constataram que para uma chuva simulada de 111,9 mm/h, praticamente não ocorria escoamento superficial quando foi adotado pavimento do tipo permeável. O autor sugere a utilização dos pavimentos permeáveis em estacionamentos para veículos leves. Na Figura 6.9 são apresentados alguns tipos de pavimentos permeáveis.



Figura 6.9: Tipos de pavimentos permeáveis
Fonte: Araújo Tucci, e Goldenfum, 2000

Araújo *et al* (2000) classificam os pavimentos permeáveis em três tipos: pavimento de asfalto poroso, de concreto poroso e de blocos de concreto perfurado preenchido com areia ou grama. As restrições para o uso de pavimentos permeáveis são o alto nível do lençol freático e a baixa permeabilidade do solo. Contudo, a adoção dos pavimentos permeáveis do tipo blocos vazados leva a uma quase anulação do escoamento superficial. Observa-se, portanto, que a adoção deste tipo de pavimento pode fazer com que as condições originais de geração de escoamento superficial sejam mantidas. Estes dispositivos apresentam-se como altamente

recomendados para o controle dos volumes escoados (ARAÚJO *et al*, 2000).

Apesar da grande contribuição dos pavimentos permeáveis para a redução do escoamento superficial, não existe algum tipo de incentivo por parte da administração pública da cidade de Teresina para a adoção de tal procedimento. O que se visualiza nos grandes empreendimentos da região é que, apesar da existência dos problemas relacionados à drenagem urbana, não são adotadas medidas mínimas que visem a redução do escoamento superficial.

Em algumas situações, a falta de preocupação e planejamento com o tipo de pavimento executado nos novos empreendimentos tende a aumentar o problema das inundações urbanas. É o caso da implantação do Supermercado Extra, instalado dentro da região em estudo, na Avenida Presidente Kennedy. O empreendimento foi construído em um terreno que anteriormente abrigava um clube social, com ampla área verde permeável. A implantação do empreendimento provocou a impermeabilização completa da área, tanto para a construção da edificação, como também do estacionamento (Figuras 6.10 e 6.11).



Figura 6.10: Área em destaque: antigo Clube das Classes Produtoras do Piauí – imagem de agosto de 2009

Fonte: Google Earth (com adaptações)



Figura 6.11: Supermercado EXTRA construído na área do antigo clube das classes produtoras do Piauí. Solo praticamente todo impermeabilizado – Imagem de agosto de 2011.
Fonte: João Macêdo, 2011

O incentivo à adoção dos pavimentos permeáveis nos empreendimentos da cidade de Teresina deveria partir da própria Prefeitura municipal. Tais incentivos possibilitariam que os novos empreendimentos, ao adotar pavimentos que não comprometem a capacidade de infiltração do solo, reduzissem sua contribuição para o aumento das águas superficiais.

Outra opção para minimizar as inundações urbanas na cidade de Teresina poderia ser a utilização de bacias de retenção em determinados pontos da bacia. As bacias de retenção, além de serem equipamentos de controle da drenagem, servem como elementos que podem ser integrados ao espaço urbano criando inúmeras oportunidades de lazer (FONSECA, NASCIMENTO; LONGO, 2006).

No estudo de Campana, Bernardes e Silva Júnior (2007), foi realizado o monitoramento quali-quantitativo de duas bacias de retenção localizadas na cidade de Brasília. O resultado deste estudo comprovam a eficiência hidráulica das bacias de retenção no que diz respeito à redução das vazões de pico das ondas de cheia, visto que a redução média observada na vazão de pico foi de 62,6%.

A partir da identificação dos pontos de inundação e da geração dos hidrogramas para a bacia em análise é possível identificar a localização onde deve ser implantada a bacia de retenção, bem como determinar as suas dimensões.

A solução de adoção de bacias de retenção, ou mesmo de retenção, provavelmente

seriam mais adequada à áreas que estão em processo de urbanização, pois nas áreas já adensadas, principalmente na área de estudo, o custo de desapropriação dos espaços necessários para a implantação das bacias seria muito alto, o que, provavelmente, inviabilizaria a solução, do ponto de vista econômico.

No campo das medidas não estruturais para o controle da drenagem urbana, pode-se tomar como exemplo a adoção de taxas de permeabilidade, tal como ocorre nos municípios de Fortaleza-CE e Belo Horizonte-MG.

No município de Fortaleza, a Lei Municipal 7.987/96, que dispõe sobre o uso e a ocupação do solo e adota outras providências, determina os limites mínimos para as taxas de permeabilidade de acordo com as microzonas de adensamento. No caso de lotes com taxas de permeabilidade inferior ao limite estabelecido, a Lei determina que deve existir área equivalente de absorção, através da instalação de dispositivos instalados sob as áreas edificadas.

Em Belo Horizonte também existe previsão para a manutenção de áreas permeáveis nos lotes. A Lei 7.166/1996 estabelece normas e condições para o parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município, e fixa percentuais mínimos de área permeável que devem existir nos lotes onde serão erguidas edificações.

A decisão entre para a escolha do melhor equipamento para o controle da drenagem urbana deve considerar diversos fatores, tais como: econômico, social, ambiental, técnico, entre outros. Comparando vantagens e desvantagens de cada sistema proposto, e não apenas tomando-se a decisão em função de um único parâmetro. Da mesma maneira, a adoção de medidas não estruturais também pode ser de grande valia, pois tais medidas atuam na prevenção ao aparecimento do problema. São diversas as metodologias para avaliação de alternativas, as quais não são objeto de análise deste estudo.

6.6 Conclusões e Recomendações

Foram apresentadas algumas das diversas possibilidades da prática de medidas de controle da drenagem urbana que fogem do conceito convencional da implantação de canalização (canais e galerias).

A adoção de microrreservatórios se apresenta como uma medida possível para bacias já urbanizadas, caso da situação estudada. Contudo, é necessário que exista uma legislação destinada a regular todos os parâmetros relativos à utilização deste tipo de sistema, bem como um corpo técnico e operacional que fiscalize a eficiência dos equipamentos a serem

implantados nos lotes.

Os pavimentos permeáveis são medidas que sugerem um estudo mais dedicado, tanto no referente aos aspectos técnicos como econômicos quando da implantação em vias públicas. Contudo, ao menos nas áreas dos estacionamentos dos novos empreendimentos, seria possível a implantação deste tipo de pavimentação, visto que a cada área impermeabilizada que surge, existe um incremento do escoamento superficial gerado não proporcional ao incremento em equipamentos de controle da drenagem. Também para a adoção desta medida, faz-se necessária a adoção de legislação que regule todos os parâmetros relativos a implantação dos pavimentos permeáveis, e também um acompanhamento regular dos técnicos das prefeituras a fim de validar a eficiências dos sistemas implantados.

Como a região estudada possui um grau de ocupação do solo bastante elevado, e possui o metro quadrado de imóvel mais caro da cidade de Teresina, o poder público teria um custo elevado para a desapropriação de terrenos a fim de executar medidas de contenção de jusante, tais como bacias de detenção ou retenção. Contudo, somente com a realização de um estudo detalhado por parte da Prefeitura Municipal de Teresina, analisando os aspectos econômicos, sociais, técnicos e ambientais envolvidos na proposta, seria possível concluir pela viabilidade, ou não, da implantação deste tipo de sistema.

Mesmo com esta vastidão de soluções não convencionais, que aliam a conservação do ambiente ao controle das águas pluviais, a Administração Municipal prioriza a adoção das mesmas práticas de canalização apenas, ou mesmo, não regula de maneira adequada, do ponto de vista hidrológico, o uso e ocupação do solo de regiões com potencial risco de inundação.

A adoção da maioria das medidas estruturais gera inconvenientes ao tráfego quando de sua implantação, tem um alto custo e tende a resolver o problema de maneira pontual e temporária, visto que age diretamente nos efeitos do escoamento, ou seja, para dar encaminhamento às vazões geradas, quando as soluções mais atuais agem nas fontes geradoras das altas vazões.

A metodologia utilizada, ainda que de formato simples, possibilita a discussão e reflexão a respeito de algumas medidas que podem ser adotadas como meios de controle da drenagem urbana da zona leste da cidade de Teresina (podendo ser estendidas à outras regiões da cidade), de maneira isolada ou aliadas aos sistemas convencionais existentes ou propostos, visando a minimização dos problemas das inundações urbanas.

6.7 Referências

ALVES, E. M. **Medidas não-estruturais na prevenção de enchentes em bacias urbanas: cenários para a bacia do Gregório.** São Carlos, SP. 2005. 149 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E.M., GOLDENFUM, J. A. Análise da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. da M. (Org.) **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Ed. Universidade-UFRGS, 2000. v.1, p.351-362.

BELO HORIZONTE. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Lei 7.166, de 27 de agosto de 1996.** Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município.

CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S.; SILVA JR., J. A. Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção. *Revista Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science*: v. 2, n. 3, 2007.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

COSTA JÚNIOR, L. L. da, BARBASSA, A. P. Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. II – Nº I, jan/mar 2006, p. 46-54.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 3, p.59-71, Jul/Set, 2008.

FONSECA, P. L.; NASCIMENTO, E. A.; LONGO, O. C. **Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas: medidas não convencionais no controle de cheias urbanas – principais aspectos, considerações e ações integradas.** XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de Novembro de 2006.

FORTALEZA (1996). Prefeitura Municipal de Fortaleza. **Lei 7.987/1996.** Dispõe sobre o uso e ocupação do solo do município de Fortaleza, e adota outras providências.

HOLZ, J.; TASSI, R. Usando estruturas não convencionais em grandes áreas: o caso do loteamento Monte Bello. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo: ABRH, 2007.

IBGE. **Censo 2010.**

_____. **Tendências Demográficas.** Uma análise dos resultados da sinopse preliminar do censo demográfico de 2000. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/tendencia_demografica/analise_resultados/sinopse_censo2000.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2010.

LISBOA. **Alto do Lumiar mais verde com novo parque público**. Disponível em:
<http://www.jf-sjose.com/news.php?news_id=49&page=75> Acesso em: 20 de maio de 2011.

MARTINS, P. A. G. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**: estudo de bacias de amortecimento na Região Metropolitana de São Paulo. Campinas, SP. 2006. 181p. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Campinas, 2006.

MELO, C. C. J.; BRUNA, G. C. Desenvolvimento urbano e regional de Teresina, Piauí, Brasil e sua importância no atual quadro de influência na Rede Urbana Regional no Brasil. In: CONGRESSO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE CABO VERDE, 1., 2009, Teresina. **Anais Eletrônico**. Disponível em:
<<http://www.apdr.pt/congresso/2009/pdf/Sess%C3%A3o%2037/245A.pdf>>. Acesso em 01/10/2010.

NASCIMENTO, N. O.; BATISTA, M. B.; Técnicas Compensatórias em Águas Pluviais. In: Righetto, E. A. (Coordenador). **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009, cap.4, p.149-197.

PÔMPEO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p.15 – 23, 2000.

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. **Gestão Integrada das Águas Urbanas: o caso de Belo Horizonte**. Kit de Treinamento SWICH, Estudo de caso, Minas Gerais, Brasil. 2011.

Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Detenção – as bacias que ficam secas**. Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre - DEP. 2010. Disponível em:
<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=69>. Acesso em: 28 de novembro de 2010.

SILVEIRA, A. L. L. da. Hidrologia Urbana no Brasil. In: TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M.L.M (Org.). **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000. v.1, p.511-525.

TASSI, R. **Efeitos dos Microrreservatórios de Lote Sobre a Macrodrenagem Urbana**. Porto Alegre, RS. 2002. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação – SEMPLAN. (2010a). **Teresina em Bairros**: Bairros da zona leste. Disponível em:
<http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt/orgao/downloads.php?doc_codigo=149&org_codigo=14&cat_codigo=69> . Acesso em: 01 nov. 2010

TERESINA. Prefeitura Municipal de Teresina. (2010b). **Conheça Teresina**. Disponível em:
<http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt2010/mini_topo.php?url=http://www.teresina.pi.gov.br:8080/semdec/default.asp>. Acesso em: 10 out. 2010

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação - SEMPLAN. **Quem Somos**. Disponível em:
<http://www.teresina.pi.gov.br/portalpmt2010/mini_topo.php?url=http://www.teresina.pi.gov

br/portalpmt/orgao/index.php?org_codigo=14>. Acesso em 01/11/2010 (2010c).

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 194p. (Saneamento para Todos; 4º volume)

_____. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção**. RBRH – revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 2, n.2, Jul/Dez, 1997, 5-12.

_____. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995, p.15-36.

7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES GERAIS

A metodologia adotada, apesar de simplificada mostrou-se satisfatória na obtenção dos objetivos propostos no início do trabalho. As conclusões obtidas nos Artigos elaborados levam a crer que as ações mais efetivas para reduzir os problemas das inundações urbanas devem partir da mudança do paradigma de que a melhor alternativa sempre é a execução de grandes obras de drenagem.

A solução dos problemas de drenagem nas cidades passa, primeiramente, pela previsão na Legislação Urbana de instrumentos que regulem o uso e ocupação do solo de maneira favorável à não geração de escoamento superficial. A Legislação deve se auxiliar de aspectos hidráulicos e hidrológicos a fim de determinar as taxas e os limites para áreas verdes, áreas permeáveis, tanto a nível de lote, como de empreendimentos maiores (loteamentos e condomínios).

Aliada a Legislação, deve existir uma fiscalização constante dos técnicos da Prefeitura Municipal, de modo que o que está previsto em Lei seja realmente atendido.

O que se verifica atualmente é um aumento do solo impermeabilizado, tanto pela pavimentação asfáltica das vias, como pela cimentação dos quintais dos lotes. A previsão, caso não seja tomada nenhuma medida regulatória, é de que, até 2014, mais de 50% da área estudada esteja impermeabilizada, contribuindo para o aumento das águas de chuva escoadas no solo. Para drenar estas águas a Prefeitura Municipal deverá executar obras bastante onerosas, e que solucionarão o problema apenas pontualmente e por um período de tempo determinado.

A vanguarda dos estudos sobre drenagem apregoa que o controle das águas pluviais deve se dar na fonte de geração dos escoamentos, e não quando o problema já existe, pois as medidas nesta segunda situação sempre são emergenciais, onerosas e de eficácia limitada. Deve existir um empenho técnico maior no sentido de se estudar soluções de controle da drenagem na fonte, aliando o crescimento e desenvolvimento da cidade à sustentabilidade das águas e do solo urbanos.

O estudo foi realizado em região já bastante urbanizada e com grande adensamento populacional, o que faz com que a adoção de medidas de controle da drenagem urbana sejam limitadas. A preocupação deve voltar-se, portanto, para a implantação dos novos aglomerados urbanos, prevendo-se desde o início a manutenção do caminho natural das águas, a conservação das áreas verdes nas encostas e outras medidas que visam reduzir os efeitos negativos das águas da chuva.

A formulação e implementação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana para o Município de Teresina tende a dar uma diretriz para as medidas que devem ser tomadas visando o controle das águas pluviais. No PDDU são previstas a minimização dos impactos ambientais devido ao escoamento superficial, bem como o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas, a partir da fixação dos objetivos, estratégias, caracterização dos riscos e diagnóstico.

O PDDU da cidade de Teresina, segundo dados da SEMPLAN, está em processo de elaboração. Até a data de apresentação deste trabalho ainda não foi feita a sua apresentação formal à população. Acredita-se que a sua implantação proporcionará à Administração Pública uma maior efetividade nas ações de controle da drenagem urbana, pois deverão ser apresentadas soluções específicas para a realidade da cidade, a partir da análise conjunta de bacias e da adoção de medidas de controle preventivas e não apenas corretivas.

Este trabalho serviu como uma forma de levantar a questão da drenagem urbana da cidade de Teresina, avaliando a situação atual em que se encontra a cidade e deixando diferentes assuntos que podem ser abordados em outros trabalhos.

Para trabalhos posteriores poderão ser estudados os alagamentos causados por ocupação das áreas ribeirinhas. Estes tipos de alagamentos são comuns, principalmente, na região norte da cidade de Teresina.

Também pode ser analisada a viabilidade econômica da concessão, por parte da Prefeitura Municipal de Teresina, de descontos nas taxas urbanas para os donos de lotes que conservarem áreas permeáveis nos seus terrenos.

A questão da caracterização qualitativa dos efluentes gerados nos períodos chuvosos também é um assunto que necessita de maior estudo.