

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROPUR - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO URBANO E
REGIONAL

**A NECESSIDADE DA RESERVA DE ÁREA PARA O
ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO INÍCIO DO
CRESCIMENTO URBANO**

JOSÉ RICARDO JUCHEM

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira

PORTO ALEGRE

2002

RESUMO

A necessidade da reserva de área para o armazenamento de água no início do crescimento urbano.

José Ricardo Juchem

Atualmente, o desenho urbano tem sido realizado dentro de um âmbito restrito do conhecimento. Este não tem considerado aspectos de drenagem da água que trazem grandes transtornos e custos para a sociedade e o ambiente. O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido um aumento significativo na frequência de inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água. Tal situação é decorrente, na maioria dos casos, da ocupação intensiva do solo urbano. Assim, essa abordagem demonstra, inicialmente, uma visão sobre o desenho urbano e suas interfaces; particularmente as relacionadas com a geografia, o ambiente natural e o construído. Na seqüência, pretendendo atingir o enfoque interdisciplinar, aponta vínculos entre o desenho urbano e a hidrologia através de uma análise ambiental de bairros dos municípios de Porto Alegre e Lindolfo Collor, de modo a identificar relações com a utilização de uma variável - a superfície impermeável, procurando descrever o comportamento ambiental de bacias hidrográficas urbanizadas bem como mostrar a necessidade da reserva de área para armazenar água no início do crescimento urbano. Finalizando, apresenta os principais parâmetros ou características de desenho que deverão garantir a sustentabilidade urbana e hidrológica. Apesar de prematuro, pode-se afirmar que existem indícios para que a dissertação venha suprir algumas deficiências existentes no planejamento urbano-ambiental atualmente adotado.

Palavras-Chave: Desenho, Impermeabilização, Hidrologia, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The necessity of water reserve in the beginning urban development.

José Ricardo Juchem

Actually, the urban design has been realized in the restrict scope of knowledge. It hasn't considered drainage aspects that provide large disturbances and difficulties to society and the environment. The Brazilian urban development has produced significant increase in the flooding frequency, in the sediments produce and water quality. This situation result from, in the majority of cases, the intensive occupation of urban ground. Therefore this subject show the vision about urban design and the interfaces: specially the relation between geography, natural environmental and builded environmental. In the next time, intending to affect the interdisciplinary subject, show bonds between urban design and hydrology through design study in Porto Alegre City and Lindolfo Collor City to identify the relation with a variable - impervious surface, looking for describe the environmental behavior from watershed and show the necessity of water reserve in the beginning urban development. Finally, shows a proposal of sustainability urban design that integrate urban planning and hydrology. Represent a new aspect to come providing some definitions actually adopted in the urban environmental planning.

Key words: design, impervious surface, hydrology, sustainable

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, cumpre registrar agradecimentos ao professor orientador André Luiz Lopes da Silveira e ao professor Carlos André Bulhões Mendes, criaram condições para o desenvolvimento dessa dissertação.

Também se torna lícito consignar agradecimentos às sugestões e aos estímulos demonstrados pelos professores Décio Rigatti e Juan Luis Mascaró, pelos colegas do Curso de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR-UFRGS), bem como não se poderia deixar de agradecer aos familiares e amigos pela compreensão em aceitar as longas horas dedicadas à leitura e à redação.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO | 2 |
| ABSTRACT | 3 |
| AGRADECIMENTOS | 4 |
| SUMÁRIO | 5 |
| LISTA DE FIGURAS | 7 |
| LISTA DE TABELAS | 8 |
| 1 – INTRODUÇÃO | 9 |
| 1.1 – A LIMITAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE | 9 |
| 1.2 – DELIMITAÇÃO TEMÁTICA DO ESTUDO | 12 |
| 1.3 – OBJETIVOS | 14 |
| 1.3.1 –OBJETIVO GERAL | 14 |
| 1.3.2 – OBJETIVO ESPECÍFICO | 15 |
| 1.4 – JUSTIFICATIVA | 16 |
| 1.4.1 – RELEVÂNCIA DO OBJETO DE ESTUDO | 16 |
| 1.4.2 – PERTINÊNCIA AO AMBIENTE DO PROPUR | 17 |
| 1.5 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO | 18 |
| 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 20 |
| 2.1 – A NOÇÃO DE SUSTENTABILIDADE | 20 |
| 2.2 – A DRENAGEM E O DESENHO URBANO | 26 |
| 2.2.1 – DRENAGEM URBANA | 28 |
| 2.2.2 – DESENHO URBANO | 31 |
| 2.3 – A VARIÁVEL SUPERFÍCIE IMPERMEÁVEL | 35 |
| 3 – METODOLOGIA | 43 |
| 3.1 – ANÁLISE SEGUNDO CRITÉRIOS GERAIS | 44 |
| 3.2 – ANÁLISE SEGUNDO CRITÉRIOS ESPECÍFICOS | 45 |
| 4 – ESTUDO DE CASO | 48 |
| 4.1 – O CASO DE PORTO ALEGRE | 50 |
| 4.1.1 - DESCRIÇÃO DO AMBIENTE | 50 |
| 4.1.2 - COLETA DE DADOS | 54 |
| 4.1.3 - AVALIAÇÃO DO AMBIENTE | 56 |
| 4.1.4 - APLICAÇÃO DOS RESULTADOS | 57 |

| | |
|--|----|
| <u>4.2 – O CASO DE LINDOLFO COLLOR</u> | 62 |
| <u>4.2.1 – DESCRIÇÃO DO AMBIENTE</u> | 62 |
| <u>4.2.2 - COLETA DE DADOS</u> | 63 |
| <u>4.2.3 - AVALIAÇÃO DO AMBIENTE</u> | 63 |
| <u>4.2.4 - APLICAÇÃO DOS RESULTADOS</u> | 66 |
| <u>4.3 - CONCLUSÕES</u> | 68 |
| <u>4.4 – IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DESENHO</u> | 69 |
| <u>4.4.1 – ASPECTOS GERAIS</u> | 69 |
| <u>4.4.2 – PARÂMETROS BASEADOS NO ARMAZENAMENTO</u> | 71 |
| <u>5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</u> | 78 |
| <u>5.1 – REVISÃO GERAL</u> | 78 |
| <u>5.2 – CONCLUSÕES GERAIS</u> | 79 |
| <u>5.3 – SUGESTÕES PARA PESQUISAS</u> | 81 |
| <u>6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> | 84 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Impermeabilização de superfícies | 39 |
| Figura 2 - Impermeabilização e densidade | 41 |
| Figura 3 - Enquadramento teórico-metodológico..... | 47 |
| Figura 4 - Seqüência do estudo | 48 |
| Figura 5 - Volumetria do edifício | 52 |
| Figura 6 - Quarteirão 1 (Porto Alegre)..... | 54 |
| Figura 7 - Quarteirão 2 (Porto Alegre)..... | 55 |
| Figura 8 - Quarteirões 3 e 4 (Lindolfo Collor)..... | 64 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Densidade habitacional e área impermeável..... | 36 |
| Tabela 2 - Características gerais dos quarteirões | 49 |
| Tabela 3 - Estimativa da população (Porto Alegre) | 56 |
| Tabela 4 - Resultados do quarteirão 1 (Porto Alegre) | 58 |
| Tabela 5 - Resultados do quarteirão 2 (Porto Alegre) | 59 |
| Tabela 6 - Estimativa da redução de pico com reservatórios nos lotes..... | 61 |
| Tabela 7 - Estimativa da população (Lindolfo Collor) | 65 |
| Tabela 8 - Resultados do quarteirão 3..... | 66 |
| Tabela 9 - Resultados do quarteirão 4..... | 66 |

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – A LIMITAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

Uma das facetas da sustentabilidade é aquela referente ao problema de gestão das águas. Nesse caso, está relacionada com os dispositivos de planejamento que buscam solucionar (e não ameaçar) a qualidade dos córregos urbanos e também com a desobediência à legislação ambiental.

A Lei Federal 10.257/01 que regulamenta o Estatuto da Cidade busca corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente, entretanto, a Lei Federal 4.771/65 que instituiu o Código Florestal e a Lei Federal 6.766/79 que define o Parcelamento do Solo além de proibir a ocupação de áreas ribeirinhas dos córregos, contribuem para a sobreposição de conceitos para os Planos Diretores Municipais, o que, muitas vezes, de forma imprevista, provoca o que pode ser chamado de “conflito de interesses”.

Dentre esses interesses, pode-se dizer que: (i) a densidade populacional, (ii) a forma urbana (representada pelos tipos edílicos), (iii) os padrões de assentamento (resultantes do parcelamento do solo), (iv) os materiais impermeáveis que configuram a cidade são vistos como fatores ou parâmetros de desenho que, além de diminuir a capacidade de infiltração da água no solo e subsolo, contribuem para gerar alterações no sistema de drenagem natural criando um ciclo “hidro-ilógico”. (WALESH, 1999).

Entre os condicionantes que afetam a qualidade do sistema de drenagem está a concentração de edificações e de atividades urbanas, bem como a localização pontual de indústrias, originando alguns problemas tais como: (i) redução de áreas verdes; (ii) de lazer e recreação; (iii) descontinuidade do abastecimento de água; (iv) diminuição da recarga dos lençóis freáticos; e, (v) aumento de enchentes urbanas.

A razão evidente para o enfoque desse trabalho é que tanto as bases conceituais do planejamento urbano atual (zoneamento e funcionalidade) quanto seus instrumentos de controle (Planos Diretores, Leis de Uso e Ocupação do Solo, etc.) não apresentam ainda um desempenho satisfatório com relação ao sistema de drenagem.

Com o intuito de contribuir para a qualidade do sistema de drenagem, essa abordagem busca, então, priorizar parâmetros sustentáveis de desenho que, até o presente momento, sofrem um lento processo de aceitação ou execução.

A inexistência de estudos comparativos relativos aos instrumentos de controle da drenagem e planejamento urbano não é motivo suficiente para que não se preconize a evolução das abordagens. O que passa a acontecer é um acréscimo de obras possíveis e outras formas de organização do espaço que visam à boa drenagem. Essas soluções podem ser até mais caras mas permitem que durante a evolução da cidade sejam realizadas em etapas, níveis ou módulos.

Entre outros aspectos que dificultam a implantação dos parâmetros sustentáveis de desenho estão a freqüente ausência de organização metodológica de estudos de implantação e a inexistência de instrumentos de controle para a quantificação e análise dos impactos gerados por novas edificações (ou infra-estruturas instaladas no ambiente urbano). Estas últimas devendo ter custos reduzidos e possibilidade de fácil compreensão e visualização dos resultados obtidos. Há um esforço recente de

certas cidades como Porto Alegre, Curitiba, Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte para melhorar essa situação, porém, o quadro ainda é precário.

O desenvolvimento da dissertação aqui apresentada é realizado de acordo apenas com os aspectos quantitativos (percentual de impermeabilização), reconhecendo-se como significativos os problemas de qualidade da água (poluição, sedimentos e lixo) associados aos lotes.

A perspectiva que se apresenta inicia com uma visão de conjunto, com a compreensão de como as diversas partes integrantes do sistema de drenagem podem interagir com o desenho urbano para atingir o equilíbrio e persistir ao longo do tempo, dando origem ao conceito de sustentabilidade que essa dissertação pretendeu seguir.

A sustentabilidade está relacionada à capacidade de reserva de água do desenho urbano. Para SANGARÉ (1998), a capacidade de reserva passa a ser entendida como o atributo da entidade espaço territorial capaz de oferecer autonomia com respeito: (i) ao desempenho, ou funcionalidade, da zona sustentável, e (ii) aos elementos espaciais e hídricos que constituem o sistema de drenagem .

Tal definição pode ser vista como um caminho para se chegar a condições de autonomia recíproca entre o ambiente construído e o ambiente hídrico. Isto significa percorrer um estágio descritivo de ambas situações, tanto das formas urbanas construídas como das práticas de drenagem.

A “autonomia” para as áreas urbanas está vinculada à infiltração ou à capacidade de reserva das águas pluviais disponível nas formas construídas (estacionamentos, quadras de esporte, espaços cívicos, parques), nos tipos de uso e ocupação do solo (pavimentação permeável, espaços públicos, residências geminadas ou agrupadas em condomínios), bem como em medidas alternativas de controle pluvial privado (microreservatórios em lotes e telhados das edificações, por exemplo) visando melhorar o sistema de drenagem urbana na fonte.

Contudo, a visão de sustentabilidade adotada é um atributo finito, limitado no tempo e no espaço. Essa limitação está associada a um espaço territorial com características próprias e identificáveis em termos de disponibilidade de água, natureza do solo, feições geomorfológicas, cobertura vegetal, e formas construídas. Nesse espaço, sempre haverá um limite para a sua ocupação e uso, em volume e natureza, a partir do qual será excedida a sua autonomia.

1.2 – DELIMITAÇÃO TEMÁTICA DO ESTUDO

O presente estudo parte do entendimento da complexidade do limite entre o desenho urbano e a drenagem através da escala de abrangência. Inicialmente, a complexidade é reconhecida no micronível, isto é, nas pequenas escalas representativas de organização espacial que compõem a categoria do objeto urbano.

Dentro da escala urbana, cada organização espacial engloba variáveis e parâmetros sustentáveis de desenho que são representativos de seus elementos no sistema de drenagem urbana. Entretanto, a compreensão desses elementos resulta tanto da escala inferior (intra-lote) como da escala superior (bacia hidrográfica). No macronível, a complexidade refere-se à escala dos elementos que integram a categoria do ciclo hidrológico.

Na escala regional (macronível), a amplitude dos elementos está relacionada com a compreensão de aspectos hidrológicos que fazem parte das relações estabelecidas com o sistema de drenagem natural. O nível de interação entre ambas escalas depende do reconhecimento de variáveis hídricas que se inscrevem na representação da capacidade de suporte através de organizações espaço-ambientais no decorrer do tempo.

A partir desses conceitos, o trabalho propõe-se a desenvolver instrumentos capazes de traduzirem os parâmetros de desenho considerando

os potenciais e as restrições do processo de desenvolvimento sustentável. A análise se dá em escala urbano regional avaliando os resultados dos processos de impermeabilização constituídos pela bacia hidrográfica urbanizada.

Dessa forma, o presente trabalho se constitui em uma proposta capaz de mensurar a superfície impermeável a partir de sua sustentabilidade. Configura-se, então, uma variável – a superfície impermeável que influi tanto na resposta hidrológica como nos parâmetros sustentáveis de desenho, normalmente associadas à capacidade de retenção hídrica das formas construídas inseridas no espaço territorial.

O uso da superfície impermeável como indicador urbano e hídrico não é novo. Nesta pesquisa, a sustentabilidade, ou a capacidade de reserva de água, é um dado da questão de uso e ocupação do solo que precisa ser identificado para que se possa realizar qualquer processo subsequente de melhoria no sistema de drenagem urbana. TUCCI (1995) diz que o critério de não ampliar a cheia natural deve ser usado como um freio contra a excessiva impermeabilização do solo.

O estudo de caso foi desenvolvido tendo o município de Porto Alegre e o de Lindolfo Collor como cenários, sendo que instrumentos numéricos foram utilizados com base em dados existentes, através da quantificação dos aspectos definidos para a representação da sustentabilidade.

A compreensão dos processos de desenvolvimento urbano sustentável, a partir das potencialidades endógenas do sistema de drenagem, vem sendo alvo de diversos estudos. O presente trabalho pretende contribuir na discussão desses conceitos para auxiliar na identificação dos parâmetros de desenho.

Nesse sentido, uma questão observada no presente trabalho foi a análise do armazenamento de água no espaço urbano, cuja materialização pode ser por estruturas a céu aberto ou fechadas, como forma de

compensação do efeito das áreas impermeáveis na geração do escoamento superficial.

Como apoio a esta questão central, discute-se outras questões secundárias que estão ligadas ao objeto de pesquisa, especificamente aquelas referentes à contribuição de cada medida alternativa ou parâmetro de desenho para a minimização do problema da drenagem urbana.

Visando responder aos questionamentos propostos, foi feito um estudo de caso que testou a abordagem ambiental de controle do escoamento pluvial, permitindo a análise de respostas às questões relacionadas à necessidade de reserva de área para o armazenamento, considerando as diferenças locais existentes, notadamente as relativas ao grau de ocupação do solo (início do crescimento urbano ou urbanização consolidada).

Nesses termos, é realizado um contraponto entre o potencial de armazenamento das águas de chuva e o grau de urbanização como forma de avaliação da sustentabilidade hídrica, evidenciando a fragilidade de zonas densamente urbanizadas.

Deste modo, cada zona urbanizada tem um potencial que é um fator de desenvolvimento urbano e regional que pode ser visto como um guia para estudos interdisciplinares que estão surgindo em maior número no início deste século.

1.3 – OBJETIVOS

1.3.1 –OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho foi o de analisar os conceitos de sustentabilidade, desenho urbano e drenagem, com vistas a evidenciar o potencial de medidas de controle pluvial na fonte sob condições diversas de

desenho urbano. Um estudo de caso comparativo propicia um exemplo prático de verificação de algumas idéias discutidas.

O objetivo específico a seguir caracteriza aspectos considerados no objetivo geral.

1.3.2 – OBJETIVO ESPECÍFICO

A presente dissertação buscou identificar parâmetros sustentáveis de desenho baseados na redução de superfícies impermeáveis que possam estar relacionados tanto ao crescimento da densidade populacional quanto à forma construída e ao tipo de uso e ocupação do solo urbano.

A idéia principal é aliviar e evitar as ampliações dos sistemas de drenagens existentes bem como melhorar projetos e estudos no início do crescimento urbano. Tal situação poderá levar a uma análise do que é feito antes e depois da inserção de medidas alternativas de controle pluvial visando a melhoria da capacidade de reserva do sistema urbano.

Nesses termos, a sustentabilidade refere-se à possibilidade de se atribuir uma função hidrológica ao desenho urbano através do entendimento das inter-relações atualmente estabelecidas entre o ambiente natural (ciclo hidrológico) e o ambiente urbano (configuração espacial) que, de alguma maneira, poderão contribuir para mitigar os efeitos da superfície impermeável de escoamento.

Dessa maneira, as características de desenho que poderão servir para a identificação de parâmetros, ou obras pluviais que permitam reduzir os efeitos de impacto produzidos na fonte, também tornarão possível no futuro uma definição e reavaliação do uso do solo em áreas excessivamente impermeabilizadas (como a execução de parques, praças e estacionamentos com capacidade para armazenar as águas durante o pico das precipitações pluviométricas), constituindo assim uma importante contribuição teórico-científica para a elaboração de futuras diretrizes urbanas.

Para ilustrar, um estudo de caso foi proposto para análise de um aspecto específico de compensação das áreas impermeáveis mediante armazenamento temporário de água da chuva.

1.4 – JUSTIFICATIVA

A justificativa para o desenvolvimento da pesquisa aqui apresentada fundamenta-se em dois aspectos: a relevância do tema, enquanto objeto de estudo e de preocupação da sociedade, e a pertinência do mesmo a ser desenvolvido no ambiente do PROPUR.

1.4.1 – RELEVÂNCIA DO OBJETO DE ESTUDO

A relevância do tema proposto está diretamente vinculada à necessidade de atenção que deve ser dada aos assuntos relativos ao ambiente hídrico e ao ambiente construído.

Na grande maioria das cidades brasileiras, as enchentes têm-se apresentado como um problema crônico. Esse fato geralmente decorre de práticas inadequadas de gerenciamento e planejamento da drenagem urbana, assim como da filosofia errônea dos projetos de engenharia, arquitetura e urbanismo.

A maior deficiência encontra-se na gestão de ordem ambiental que se caracteriza pela fragilidade dos mecanismos legais e administrativos para o controle da ampliação das cheias em áreas urbanizadas, enquanto que a filosofia errônea do planejamento pode ser constatada nas seguintes manifestações:

- na idéia preconcebida dos engenheiros de que a boa drenagem é aquela que permite escoar rapidamente a água das chuvas;

- nas concepções adotadas por arquitetos e urbanistas que parcelam o solo e abusam de formas e técnicas construtivas que contribuem para aumentar a impermeabilização das superfícies urbanas e praticamente ignoram os sistemas de drenagem.

A presente dissertação, que visa a identificação de parâmetros de desenho capazes de controlar o sistema de drenagem na fonte, assume grande importância na medida que pode alertar e conscientizar arquitetos, engenheiros e urbanistas, quanto às condições ambientais decorrentes dos processos de desenvolvimento e desta forma incentivar padrões mais adequados de sustentabilidade.

Dessa maneira, fica clara a relevância desse estudo que se propõe a servir de base para o entendimento de aspectos relativos aos recursos hídricos, enquanto condicionantes do desenho urbano e vice-versa, fazendo com que se torne uma pequena contribuição para minimizar a consequência dos erros até agora cometidos.

1.4.2 – PERTINÊNCIA AO AMBIENTE DO PROPUR

A abordagem de um tema que trata de desenho urbano e hidrologia em Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional - PROPUR é extremamente pertinente, pois a variável ambiental a ser utilizada (superfície impermeável) passa, cada vez mais, a integrar os modelos e as teorias sustentáveis de desenvolvimento urbano e regional nos últimos anos.

Assim, o tema abrange uma questão de sustentabilidade que, a partir da década de 90, passou a integrar definitivamente as agendas das estruturas governamentais, de organizações não-governamentais e dos

empreendimentos privados em todos os países, independente do estágio de desenvolvimento.

1.5 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho apresenta a Dissertação de Mestrado desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional (PROPUR) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

O principal objetivo desse item é o de apresentar o planejamento da pesquisa desenvolvida, o seu objeto, as teorias que fundamentam e a metodologia com a qual foi abordada. Ressalta, também, a apresentação de um estudo de caso com a aplicação da metodologia proposta e as conclusões tiradas a partir do resultado do trabalho.

A dissertação está constituída de cinco capítulos, conforme segue:

O primeiro capítulo constitui-se de uma introdução na qual é feita a inserção inicial do tema, os objetivos do estudo, a justificativa para o seu desenvolvimento e uma breve apresentação da estrutura e dos conteúdos de cada uma das partes da dissertação.

No segundo capítulo desenvolve-se a revisão bibliográfica que aborda a fundamentação teórica da dissertação. Esta revisão é organizada em aspectos relativos aos conceitos de sustentabilidade adequados ao tema e à variável em que se enquadra o objeto de estudo.

No terceiro capítulo é definida a metodologia utilizada na análise de dados e na identificação de medidas alternativas de controle pluvial. Este capítulo apresenta ainda um roteiro metodológico detalhando os procedimentos utilizados para o estudo de caso.

O quarto capítulo relata o estudo de caso considerando a disponibilidade de dados obtidos para a execução do trabalho, a necessidade

de adaptação dos dados visando alcançar os objetivos propostos, a avaliação dos dados definidos e a proposição de parâmetros sustentáveis de desenho.

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões sobre os conceitos utilizados, as medidas adotadas e as conclusões gerais sobre a utilização da variável utilizada como instrumento capaz de retratar os níveis de ocupação e uso do solo.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Considerando a abrangência do tema tratado na dissertação, a revisão bibliográfica se desenvolve em três partes para melhor organizar seu conteúdo.

Na primeira parte abordam-se conceitos sobre a sustentabilidade, buscando comentar as diferenças entre as abordagens tradicionais e a que se utiliza de uma nova lógica como paradigma conceitual.

A segunda parte abrange aspectos relativos aos conceitos utilizados e ao contexto em que se enquadra o objeto de estudo, identificando uma possível interface entre desenho urbano e drenagem sob o ponto de vista da sustentabilidade.

A terceira e última parte da revisão bibliográfica aborda aspectos relativos à variável ambiental utilizada, relatando os principais componentes que a integram no sistema urbano e o seu entendimento para planejadores.

2.1 – A NOÇÃO DE SUSTENTABILIDADE

Neste item pode-se encontrar conceitos da abordagem ambiental sob a ótica da sustentabilidade do ambiente hídrico inserido no ambiente urbano que, através do relato de autores envolvidos com o tema, conduz a idéia que essa dissertação pretende explorar.

Em 1987, o Relatório Brundtland, também conhecido como “Nosso Futuro Comum”, indicava que “o futuro da humanidade e as preocupações ambientais imediatas da maioria das pessoas seriam predominantemente urbanas” (SILVA & MENEGAT, 1998).

Nessa abordagem, a análise urbana aparece como um dos principais pontos de preocupação. Para ALVA (1997), é interessante observar que durante várias décadas de investimento no ambiente construído, o debate em torno da sustentabilidade, pelo menos aquele apreendido durante a literatura, sequer menciona a necessidade de intervenção em itens associados à morfologia urbana.

No entendimento de NETO (1999), a sustentabilidade tem sido vista sob uma ótica de impactos, ou de crítica ao modelo capitalista, que examina o problema através da infra-estrutura de serviços públicos e “não incorpora a dimensão morfológica do ambiente construído como se esse fosse apenas uma questão menor, de cunho estético, e por sua vez, não fosse associada a uma cultura de sociedade”.

Após a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, realizada no Rio de Janeiro em 1992, a noção de sustentabilidade passou a ser introduzida em todas as atividades humanas. As disciplinas de planejamento urbano e hidrologia não são exceção e procuraram deixar de lado o seu enfrentamento para superar a sua confrontação ideológica, fazendo com que as estratégias que visem o desenvolvimento sustentável integrem ambos os campos em uma nova e audaz perspectiva para o futuro.

Uma nova perspectiva que se apresenta parte do entendimento das relações entre o ambiente hídrico e o ambiente urbano. Mesmo sob o risco de excessiva simplificação, pode-se dizer que a tomada de consciência para com o processo urbano e a necessidade de intervir sobre ele surge como uma das oportunidades de melhorar a qualidade do sistema de drenagem. Por exemplo, há uma clara associação entre a morfologia urbana e os efeitos produzidos nos recursos hídricos.

Porém, a preocupação com o ambiente hídrico surge e ganha corpo no bojo de um amplo conjunto de reações ao modelo higienista, ampliando sua ação sobre o ambiente urbano. Ao nascer de um questionamento geral, a análise desse tema em suas vertentes questiona também, necessariamente, as relações de sustentabilidade.

Procurando-se, então, explicitar a questão da sustentabilidade, é possível afirmar que o termo tem sua origem na palavra “sustentável” que significa manter, prolongar, ou alimentar necessidades. Para CAMPBELL (1996) esse conceito aplicado ao desenho urbano implica em conhecer a cidade no seu todo, ou seja, como um ecossistema artificial interligado aos outros naturais. Desse modo, a cidade passa a ser considerada como um sistema aberto inserido em outros sistemas naturais que lhe dão capacidade de suporte.

De acordo com SANGARÉ (1998), a capacidade de suporte é entendida como sendo a “autonomia durável” que se propõe para formalizar o ambiente hídrico através das modalidades de assentamento urbano. A autonomia das áreas urbanas dependerá do enfoque atribuído ao sistema hidrológico, mais especificamente à capacidade de reserva de água do sistema de drenagem, das formas construídas, e das decorrentes dos tipos de uso e ocupação do solo urbano.

Vale ressaltar ainda que existem medidas para a capacidade de suporte que dependem da escala de abrangência. Exemplificando, pode-se dizer que, em uma escala reduzida, um dos problemas ambientais locais está na relação entre as redes unitárias de saneamento e drenagem, relativas à residência unifamiliar, que visam à melhoria da saúde pública.

Já em escala maior, como a de uma cidade ou região, os problemas ambientais estão relacionados à ecologia e ao ambiente, ou seja, à poluição de arroios canalizados e ao aumento de volume das águas superficiais.

Para a representação das relações que envolvem a sustentabilidade deve-se considerar uma base territorial como unidade de medida e compreender a sua produção sócio-espacial. Nesse caso, a reserva de água adquire características específicas em função da localização geográfica e dos sistemas antrópicos envolvidos.

Para BAYLISS e WALKER (1996), a sustentabilidade é como um conceito gerencial. Dentro das perspectivas econômicas e das ciências ambientais é vista como algo a ser alcançado com fins de conhecer o estado do ambiente no decorrer do tempo, buscando uma adequada e efetiva capacidade de resposta que, geralmente, acarreta em mudanças nos conceitos pré-estabelecidos.

“Para afirmar, porém, que algo (...) é sustentável, é preciso recorrer a uma comparação de atributos entre dois momentos situados no tempo: entre passado e presente, entre presente e futuro. Como a comparação passado-presente, no horizonte do atual modelo de desenvolvimento, é expressiva do que se pretende ser insustentável, parte-se para a comparação presente-futuro. Dir-se-ão então sustentáveis as práticas que se pretendam compatíveis com a qualidade futura postulada como desejável.” (ACSELRAD, 1999, p. 80)

Para se trabalhar na prática urbanística e hidrológica com relação à questão da sustentabilidade, enquanto conceito, é necessário então conhecer o tempo presente-futuro e compreender quais as novas variáveis embutidas para se formular uma concepção teórica que poderá alterar o conceito tradicional de cidade. Exemplificando, pode-se dizer que as alterações provocadas pela variável superfície impermeável modificam o ciclo hidrológico e influenciam na capacidade dos habitantes locais administrarem os problemas relacionados com a drenagem urbana.

Nesses termos, a noção de sustentabilidade é aquela que se pode recorrer para tornar as diferentes representações das variáveis mais objetivas. A sustentabilidade não é geral, mas parte de conceitos amplos que são contextualizados localmente. Só é possível torná-la abstrata numa primeira

etapa de formulação teórica, de maneira a facilitar a definição de variáveis, devendo em etapas posteriores aparecer nas relações.

A sustentabilidade pode ser um parâmetro, ou seja, uma característica de desenho urbano utilizada na discussão e definição de pesos dos interesses em jogo, atuando como balizador dos interesses econômicos, sociais e ambientais. Dessa maneira, o que está se tratando aqui constitui um fato inovador pois essa abordagem abrange uma nova visão sobre o urbanismo e a hidrologia.

Sob esse ponto de vista, tem-se como pontos de partida a forma urbana, os recursos hídricos e o sistema de drenagem natural que passa a ser assumido como definidor das restrições ambientais, ou territoriais, como se fosse um indicador regulador para as atividades e utilização da população. Emerge, também, de um novo conceito, ou seja, de um caminho para a sustentabilidade ambiental que passa a ser conhecido como “capacidade de sustentação”.

Para QUADRI (1997), a capacidade de sustentação é colocada como dependente da gestão correta dos recursos naturais comuns da cidade sugerindo que a deterioração ambiental urbana se deva à sobre-exploração ou sobrecarga destes recursos. Dentro dessa visão, é necessário administrar esses recursos de maneira que se observem sistematicamente certos limiares críticos, transgredidos, os quais geram custos sócio-ambientais excessivos. A capacidade de sustentação está condicionada por três fatores:

- *a natureza dos recursos*, definida pelas características intrínsecas da variável ambiental e suas características específicas em cada localização geográfica, implicando em avaliações da realidade sempre localizadas;
- *a sua utilização*, refere-se à maneira como estes recursos são apropriados pelas atividades humanas e como são realizados os retornos para o ambiente;

- *a forma urbana* através da flexibilidade adaptativa (capacidade de se adaptar a novos usos) da estrutura da cidade.

Em se tratando da relação recursos hídricos e meio urbano, a capacidade de sustentação é vista como um instrumento de representação da capacidade de armazenamento ou de reserva de água do sistema de drenagem que, por sua vez, está embutida na capacidade de suporte das configurações espaciais urbanas, exigindo grande variedade de informações que devem ser integradas ao sistema como um todo.

É possível antecipar que a sustentabilidade não é totalmente alcançada. Apresenta dados que servem de aviso e necessitam ser mais explicitados e visíveis, assim como aqueles que são difíceis de se observar, ou ignorados, e manipulados pelos programas de informação. O verdadeiro caminho pode ser aqui definido a partir de um instrumento legal para orientar propostas de atuação.

Pode-se dizer ainda que os processos de elaboração do Plano Diretor e a Lei de Uso e Ocupação do Solo devem adotar, desde o início, um conceito bastante abrangente do meio ambiente urbano no qual os elementos do quadro natural representam um forte condicionante às respostas de uso e ocupação do solo.

A perspectiva de sustentabilidade pode ser identificada em diversos estudos acerca de cada uma das áreas ou zonas da cidade e sua capacidade futura de adensamento. O zoneamento permite identificar parâmetros de desenho que podem ser adotados na tentativa de contribuir para a regulação do fluxo das águas.

O conceito de forma abrangente também deve estar presente tanto nas discussões acerca do uso e ocupação do solo quanto na priorização de áreas de atuação. Na definição de macrozoneamento da cidade, as diversas categorias de áreas de diretrizes especiais devem buscar princípios fundamentais para qualquer prática ambiental.

Todavia, essa dissertação pretende explorar outra visão sobre sustentabilidade a partir de um novo conceito de drenagem aplicado ao desenho urbano. Este deverá mostrar uma nova relação entre o homem, o ambiente hídrico e o ambiente urbano. A premissa básica é que a morfologia urbana deve assumir uma capacidade de sustentação e pode contribuir para reduzir o impacto da impermeabilização do solo e melhorar a qualidade do sistema de drenagem.

2.2 – A DRENAGEM E O DESENHO URBANO

Este item parte da noção, de certa forma generalizada, de que há sempre um conflito, ou uma oposição, ou uma contradição entre os ambientes “hídrico” e “urbano”. Esta oposição está nas mais variadas formas de entendimento e nas formulações teóricas sobre o desenho urbano, o ciclo hidrológico, o sistema de drenagem e, até mesmo, nas tentativas de abordagem interdisciplinar da questão ambiental dentro (e fora) da academia.

Trata-se aqui de uma hipótese difícil de se aceitar, não tanto pelos argumentos usualmente levantados acerca do inevitável progresso da urbanização, mas sobretudo por considerar que o espaço urbano constitui a materialização do sistema de drenagem, isto é, o elemento transformador dessas mesmas relações.

No entendimento de SPIRN (1995), o ambiente hídrico e o ambiente urbano, tomados em conjunto, constituem um registro de interações entre os processos naturais e os propósitos humanos através do tempo, contribuindo dessa maneira para a definição de uma identidade ímpar, descrita a seguir:

- ruas, calçadas, estacionamentos pavimentados e os sistemas de drenagem das águas pluviais interrompem o ciclo hidrológico

natural e modificam as características dos cursos d'água e lagoas;

- a deposição dos resíduos contamina tanto as águas superficiais quanto as subterrâneas, dificultando assim o atendimento da crescente demanda por água pura;
- fertilizantes, herbicidas e pesticidas, aplicados em gramados e hortas, contaminam ainda mais as águas subterrâneas e diminuem seu valor como recurso;
- a demanda de água leva as cidades a procurarem este recurso a quilômetros de distância e, desta forma, tem mudado o equilíbrio hídrico de regiões inteiras.

Nesses termos, as principais transformações no ambiente hídrico estão relacionadas aos materiais (como o concreto, a pedra, o tijolo e o asfalto) que recobrem a superfície do ambiente urbano como um escudo à prova d'água.

Incapaz de penetrar no solo e desimpedida pela superfície lisa da cidade, a chuva que cai nos telhados, praças, ruas e estacionamentos corre por essa superfície impermeável em quantidades cada vez maiores, mais rapidamente do que a mesma quantidade de chuva que cai na superfície porosa de uma floresta ou campo, contribuindo dessa maneira para a eficiência do sistema de drenagem.

Segundo ANTONIE (1964), há que se considerar ainda que “as relações estabelecidas entre o ambiente hídrico e o ambiente urbano não são estáticas e predeterminadas, mas vêm mudando com o tempo”, portanto, caracterizar a evolução histórica do sistema de drenagem como do desenho urbano, particularmente no que se refere aos seus papéis no atual estágio de desenvolvimento, torna-se imprescindível para o seu entendimento, embora isto esteja muito além das pretensões dessa dissertação.

2.2.1 – DRENAGEM URBANA

O desenvolvimento urbano tem produzido impactos significativos sobre o ambiente hídrico. As enchentes urbanas têm sido um dos principais problemas dentro da realidade brasileira, principalmente devido ao planejamento inadequado da drenagem urbana.

“As drenagens dos loteamentos são projetadas para expulsar a água dessas áreas fazendo com que a entrada do escoamento desses pluviais na macrodrenagem produz ampliação da enchente média em cerca de sete vezes ao da cheia natural. Esse processo faz com que as prefeituras canalizem os riachos e transfiram as inundações à jusante a custos elevados, sem que o problema seja resolvido para toda a bacia.” (TUCCI, C. E. M. et al, 1995).

No entendimento de POMPEO (2000), a drenagem urbana não é um assunto que possa ser tratado no âmbito exclusivamente técnico da engenharia porque a falência das soluções até hoje empregadas está evidenciada na problemática ambiental.

Assim, uma visão interdisciplinar que possa enfocar o problema das cheias urbanas se faz necessária possibilitando que a drenagem, ou o conjunto de operações e instalações destinadas a remover os excessos de água da superfície e do subsolo, seja parte integrante de um sistema maior constituído pela bacia de drenagem.

A bacia de drenagem é um conjunto de unidades estruturais, destacando-se as formas de relevo representadas pelas vertentes e as relacionadas diretamente com os canais fluviais. Em qualquer segmento, ao longo de um rio, o uso de procedimentos para a ordenação é capaz de fornecer informações de acordo com a escala de grandeza e a posição no conjunto da rede. Sob esta perspectiva, uma bacia de drenagem de grande porte engloba diversos conjuntos de bacias fluviais de escalas menores.

Partindo-se, então, de uma escala pequena, os primeiros trabalhos de drenagem urbana, realizados durante o século XVIII, tiveram início com uma prática primitiva da engenharia que acarretou na construção de coberturas inclinadas (telhados) e valas no solo utilizadas para desviar chuvas indesejáveis (SILVEIRA, 1999).

Já na segunda metade do século XIX, mudanças mais significativas ocorreram na Itália. Podem ser verificadas nas águas dos banhados e zonas alagadiças que influenciaram a saúde pública bem como no deslocamento das águas dos locais de produção. Essas idéias acabaram sendo rapidamente aceitas na Alemanha, Inglaterra e França.

A drenagem passou a sofrer alterações, não simplesmente em função da modernização das práticas de engenharia, mas, também, através do Movimento Higienista. Paris tornou-se uma referência mundial do movimento e, principalmente, sua profunda reforma urbanística elevou o conceito higienista.

O prefeito Haussmann buscou a higiene pública através da ampliação de espaços abertos, como avenidas e parques, que facilitaram a instalação da infra-estrutura urbana, incluindo a rede de esgoto.

De acordo com SILVEIRA (1999), no fim do século XIX, os países em desenvolvimento já tinham seguido, como na Europa, o conceito higienista. No Brasil, houve a peculiaridade de adotar o conceito higienista que usava uma rede de drenagem pluvial separada dos esgotos domésticos, em função das idéias de Saturnino de Brito.

O modelo higienista predominou no século XX mas as idéias ambientalistas conduziram a reflexões mais profundas sobre os conflitos entre o ambiente urbano e o ambiente hídrico, surgindo então o conceito de sustentabilidade na drenagem urbana.

Sob este ponto de vista, a evolução do sistema de drenagem urbana tornou possível o surgimento de obras de amortecimento dos escoamentos, assim como pavimentos permeáveis, superfícies e valas de

infiltração, reservatórios e lagoas de retenção, com a intenção de preservação de arroios naturais urbanos.

Porém, há o problema de dar à drenagem urbana a sua devida importância. Esta passa a emergir de uma concepção que busca novas ações para estabelecer planos diretores com a finalidade de não ampliar as cheias naturais e integrar a drenagem ao desenho urbano da cidade, ou seja, a drenagem deixa de ser um problema exclusivo de engenharia.

Os equipamentos de drenagem e de tratamento de esgotos passam a caracterizar os sistemas de saneamento como parte integrante da organização dos espaços urbanos. Esses buscam valorizar os cursos d'água através da sua preservação e recuperação, caracterizando a preocupação com o meio ambiente.

Tal fato conduz à noção de auto-sustentabilidade das cidades que, no entendimento de SANGARÉ (1998), apud SILVEIRA (1999), “a cidade deve ser autônoma em relação ao meio ambiente hidrológico e vice-versa”.

Assim, considerando esses termos, a abordagem ambiental aqui mencionada pode ser tratada da seguinte maneira:

“A abordagem ambiental faz hoje a história da drenagem urbana, mas não adianta aplicar soluções técnicas, fazer grandes investimentos financeiros, se não houver uma integração (com novas relações porque a abordagem é nova no país) dos diferentes atores do processo nos espaços urbanos e hidrológicos. A complexidade maior da abordagem ambiental está justamente na dificuldade prática desta integração, nas fases tanto de projeto (concepção) quanto de operação e manutenção” (SILVEIRA, 1999, p.13).

Para POMPÊO (2000), a abordagem ambiental tem origem na exploração da natureza. Muitos técnicos e planejadores não reconhecem a dimensão dessas questões e preferem esquecer os problemas acreditando que alguma solução poderá advir do futuro, porém outros preferem acreditar num desenvolvimento sustentável, estendendo dessa maneira esse conceito à drenagem urbana.

“A perspectiva de sustentabilidade introduz uma nova forma de direcionamento das ações, baseada no reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade. Esta postura exige que drenagem e controle de cheias em áreas urbanas sejam reconceitualizadas em termos técnicos e gerenciais” (POMPÊO, 2000, p.17).

Pode-se afirmar ainda que a sustentabilidade do ambiente hídrico, além de ser um caso especial da gestão dos recursos hídricos, deve integrar-se ao saneamento ambiental. Além disso, o planejamento de atividades urbanas relacionadas à drenagem deve estar integrado ao próprio desenho urbano, incluindo-se aqui o planejamento e sua própria expansão, como o zoneamento de atividades, o parcelamento e uso do solo e a rede viária.

2.2.2 – DESENHO URBANO

De acordo com ELIAS (1989), o termo desenho urbano é normalmente empregado no sentido de projetar, prever, tornando-se necessário aprender a desenhar, isto é, dar forma aos objetos e aos ambientes; e aprender como desenhar, ou seja, definir qual forma deve ser dada aos objetos e aos ambientes para corrigir e reduzir a impermeabilização de superfícies dos cenários urbanos.

Para GOMES (1996), o desenho urbano passa a ser a lúdica criação e estrita evolução das possíveis formas que a configuração do espaço urbano possa ter. Esse não tem que ser necessariamente expresso por retas ou curvas. Há várias tentativas para reduzi-lo a sistemas totalmente sintéticos

para facilitar sua apreensão. Nesse caso, está relacionado à identificação de parâmetros que permitam reduzir os efeitos de impactos ambientais produzidos na fonte e que repercutem no sistema de drenagem.

O período compreendido entre as duas grandes guerras mundiais foi extremamente significativo para o desenho urbano. As manifestações urbanísticas do *Movimento Moderno* buscavam não só renovar centros antigos mas criar cidades novas, revolucionando tanto funcional como plasticamente as soluções de desenho até então empregadas.

Em 1933, a Carta de Atenas, retratada por Le Corbusier no IV Congresso Internacional de Arquitetura Moderna, surge na Europa como marco fundamental para o desenho das cidades do século XX, sintetizando e interpretando as principais idéias do urbanismo funcionalista.

O urbanismo funcionalista previa a obrigatoriedade do planejamento regional e intra-urbano, a submissão da propriedade pública e privada ao solo urbano e aos interesses coletivos, a padronização das construções e a industrialização de seus componentes, a limitação da densidade e ao uso intensivo de uma moderna técnica para a organização espacial urbana: o zoneamento funcional.

O zoneamento funcional era uma “operação feita sobre um plano de cidade com o objetivo de atribuir a cada função e a cada indivíduo seu justo lugar” (LE CORBUSIER, 1993). A análise, aí contida, também admitia um modelo de cidade reprodutível uma vez que os estudos deveriam tomar como base as mesmas necessidades (habitar, trabalhar, recrear-se, circular) para as populações localizadas em todas as partes do mundo.

Sem dúvida, a Carta de Atenas foi uma importante declaração pública que traçou condicionantes físicos necessários para estabelecer um meio ambiente saneado e mais humano, entretanto, não representou a única filosofia que influenciou o desenvolvimento do desenho urbano.

Segundo APPLEYARD e JACOBS (1984), o movimento *Garden City*, ou *Cidade Jardim*, idealizado por Ebenezer Howard, também respondeu à degradação provocada pelas cidades industriais do século XIX. Estas cidades, apresentando um tecido urbano coeso, deveriam desaparecer para dar lugar a uma estética formada por superquadras, vias de circulação separadas para veículos e pedestres, residências afastadas da sua relação com a rua e edifícios concentrados em amplas áreas verdes.

Os partidários da *Cidade Jardim* eram adeptos da implantação de residências enfileiradas com recuo para áreas verdes, enquanto os seguidores da *Cidade Compacta* preferiam a construção de edifícios mais altos para acomodar um maior número de pessoas.

O confronto entre essas teorias urbanísticas, aqui denominado de paradoxo da densidade, resultou em estereótipos ou modelos abstratos de cidades que não existem. A cidade moderna passou a ser heterogênea, sua densidade não é uniforme, constituindo-se em um agregado de pequenos fragmentos, distritos e tipologias arquitetônicas que diferem umas das outras em termos de densidade.

A diferença mais significativa entre ambos movimentos residiu na densidade, isto é, na “relação entre as cifras da população e a superfície que ela ocupa” (LE CORBUSIER, 1993). Desse modo, quanto maior for a densidade da cidade e a proporção de áreas impermeáveis em relação às áreas verdes maior é a carga sobre o sistema de drenagem e maior a quantidade de água das chuvas que alcança os cursos d’água num menor espaço de tempo.

À medida que os centros urbanos crescem em tamanho e densidade, as mudanças que ocorrem no seu interior e no seu entorno, principalmente sobre a água, agravam os problemas ambientais e afetam o próprio bem-estar da cidade e dos habitantes. Geralmente, as cidades importam mais água do que todos os outros bens e matérias-primas

combinados, apesar de sofrerem com a sua crescente escassez, por poluição e desperdício.

“Cada chuva carrega sujeira, entulho, materiais pesados e fezes de animais das ruas e estacionamentos para rios e lagos. Os sistemas pluviais que drenam as superfícies pavimentadas agravam as enchentes e impedem a recarga dos lençóis freáticos, fazendo com que o decréscimo resultante no fluxo dos cursos d’água concentre ainda mais poluentes” (SPIRN, 1995, p.145).

De acordo com SPIRN (1995), as atividades urbanas, a densidade populacional, a forma e os materiais impermeáveis com os quais a cidade é construída, o padrão de assentamento e a sua relação com a rede de drenagem natural, assim como o projeto dos sistemas de drenagem e controle das enchentes, produzem um regime hídrico-urbano bastante característico:

- o escoamento abundante e rápido dos temporais cria vazões extremamente altas durante e imediatamente após as chuvas, diminuindo o fluxo no intervalo entre essas;
- a pavimentação e os bueiros reduzem a infiltração e baixam o nível freático no solo;
- as atividades urbanas e sua localização, a forma urbana e seus materiais, influenciam o nível de enchentes e a sua localização, assim como o grau de poluição e a quantidade de água consumida.

Entretanto, essas alterações ambientais, provenientes das deformações do regime hídrico-urbano, assim como as mudanças ideológicas do urbanismo atual, fizeram o desenho urbano imergir em novos programas de habitação, meio-ambiente e energia, com profundos reflexos na relação da população com a cidade. O desenho urbano tomou como premissa a análise de práticas e conflitos que ocorreram no espaço que, por sua vez, passaram a orientar a discussão sobre os limites para a implementação de estratégias baseadas na sustentabilidade.

O desenho urbano passa, então, a ser formado por um conjunto de arranjos arquitetônicos que necessitam obedecer a uma determinada ordem, respeitando os limites necessários para manter a “capacidade de autonomia”, ou de auto-sustentabilidade do sistema de drenagem.

Pode-se afirmar ainda que os países que integraram o Movimento Moderno possuíram, por muito tempo, padrões de proposição, análise e priorização de projetos urbanos extremamente limitados a uma análise funcional, sem meios e condições de identificar, analisar e incorporar, as conseqüências ou efeitos ambientais de um determinado projeto no sistema de drenagem.

Como se trata de uma perspectiva relativamente recente nos campos do conhecimento, a capacidade de reserva hídrica do desenho urbano não detém ainda uma técnica com consistência suficiente para estabelecer proposições imunes às polêmicas e controvérsias. Desse modo, pode-se afirmar que há um esforço para reduzir a superfície impermeável dos centros urbanos e colocar o desenho e a drenagem urbana em um novo paradigma que tem marcado presença neste início de século.

2.3 – A VARIÁVEL SUPERFÍCIE IMPERMEÁVEL

De acordo com os itens anteriores, percebe-se que a superfície impermeável é uma variável básica que pode condicionar importantes parâmetros de desenho bem como o funcionamento hidrológico.

“A superfície impermeável é um indicador quantificável do uso do solo que correlaciona fechadamente os impactos. Uma vez que a função e distribuição da superfície impermeável são compreendidas, grande número de estratégias para reduzir as superfícies impermeáveis e seus impactos sobre os recursos hídricos podem ser aplicadas ao planejamento da comunidade, em nível de desenho, regulamentação e uso do solo. Estas estratégias complementam várias tendências em

planejamento, zoneamento e desenho da paisagem que vão, através da importância da qualidade da água, direcionar a qualidade de vida da comunidade“ (ARNOLD; GIBBONS, 1996, p. 243).

Na visão dos arquitetos e urbanistas, as superfícies impermeáveis também podem ser definidas como qualquer material que previne a infiltração de água no solo. As estradas, coberturas ou telhados são os tipos de superfícies impermeáveis facilmente identificáveis dentro do sistema urbano, incluindo também passeios públicos, pátios, leitos de pedra ou rocha, e o solo devidamente compactado. Assim, a medida que o desenvolvimento urbano altera a paisagem natural há um aumento na porcentagem de solo coberto pela superfície impermeabilizada.

De acordo com STANKOWSKI (1972) apud ARNOLD e GIBBONS (1996), o asfaltamento resultante da construção maciça de estradas, ligando os centros aos subúrbios, mostra claramente que as superfícies impermeáveis transformaram-se em sinônimo da presença humana. Sob este aspecto, pode-se dizer que a impermeabilização está correlacionada com a densidade habitacional da área urbanizada. Para bacias urbanas no Brasil, TUCCI (1997) apresenta a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Densidade habitacional e área impermeável

| Densidade Habitacional(Hab/ha) | Área Impermeável (%) |
|--------------------------------|----------------------|
| 25 | 11,3 |
| 50 | 23,3 |
| 75 | 36,0 |
| 100 | 50,0 |
| 120 | 58,7 |
| 150 | 64,7 |
| 200 | 66,7 |

(adaptado de CAMPANA E TUCCI, 1992)

As superfícies impermeáveis não indicam somente urbanização, mas também as principais contribuições para os impactos ambientais oriundos do desenvolvimento urbano. Quando a paisagem natural é muito pavimentada, uma cadeia de eventos é iniciada, terminando na degradação dos recursos hídricos, assim como no percurso onde a água é transportada e armazenada.

Segundo CARTER (1961) apud ARNOLD e GIBBONS (1996), à medida que a área coberta pelas superfícies impermeáveis aumenta, a velocidade e o volume de superfície de escoamento também aumenta, existindo dessa maneira um decréscimo na infiltração.

O grande volume de escoamento superficial, o aumento na eficiência do direcionamento da água através de calhas e sarjetas, o seu armazenamento em reservatórios, assim como o estreitamento de canais, resulta em enchentes com fluxos ainda maiores em volume e pico do que em áreas rurais.

Para DUNNE e LEOPOLD (1978) e HARBOR (1994) apud ARNOLD e GIBBONS (1996), o modo pelo qual se dá a mudança no processo de infiltração reduz a recarga do solo proporcionada pelas chuvas, baixando dessa maneira os níveis de água subterrânea. A redução na contribuição dos lençóis freáticos ocasionam a seca nas cabeceiras durante os baixos períodos de fluxo.

Muitos planejadores desejam proteger os recursos hídricos de suas cidades mas não sabem por onde começar. O lado específico e ao mesmo tempo difuso da origem do escoamento superficial poluído parece demandar extensa informação técnica sobre o carregamento de poluentes, modelagem hidrológica, e a efetividade de diversas práticas de gerenciamento. Esta informação, portanto, é difícil de adquirir, não somente pelo seu custo elevado, mas devido à fonte não pontual aqui relacionada envolver campos de pesquisa ainda não explorados.

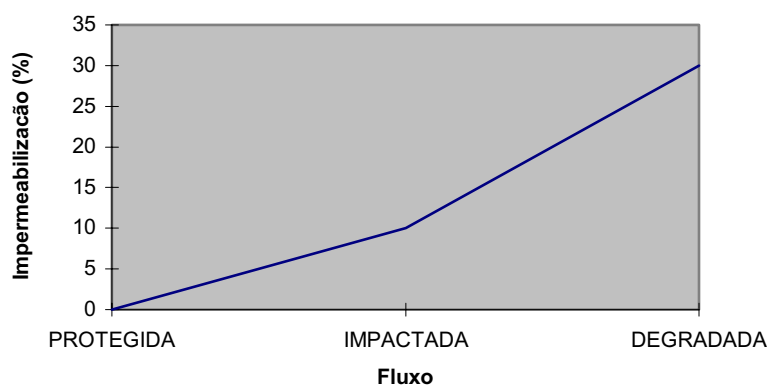
Para MORENO (1999), o planejamento realizado em nível local ou urbano, ou onde a informação detalhada torna-se inviável, a superfície impermeável pode ser praticável e servir de indicador para estimar a poluição hídrica potencial. Dessa maneira, apresentam-se dois fatores que podem ser argumentados em favor do uso desse parâmetro.

O primeiro fator diz que a impermeabilização é *integradora*, isto é, pode estimar ou predizer impactos cumulativos nos recursos hídricos sem considerar fatores específicos, contornando a complexidade das fontes de poluição não pontuais.

As superfícies impermeáveis ou impermeabilizadas não podem ser consideradas poluidoras, mas são: (i) um contribuinte crítico às mudanças hidrológicas; (ii) um componente principal do uso do solo que faz gerar poluição; (iii) um fator de prevenção natural da poluição no subsolo; (iv) um sistema conveniente para transportar os poluentes.

As pesquisas realizadas por KLEIN (1979), GRIFFIN (1980), BOTH e REINFELT (1993) apud ARNOLD e GIBBONS (1996), mostram que existe uma forte correlação entre a impermeabilização e a vida útil dos córregos urbanos. Esta última decresce com o aumento da superfície impermeável, sendo que a média de valores de impermeabilização onde as áreas ainda são consideradas “protegidas” é de menos de 10%, “impactadas” é de 30%, e “degradadas” ou impraticáveis acima de 30%. O comportamento da curva de impermeabilização de superfícies pode ser observada na Figura 1 logo em seguida.

Figura 1 - Impermeabilização de superfícies



Fonte: ARNOLD e GIBBONS (1996)

A literatura científica tem incluído outros fatores nos estudos de evolução dos arroios, de acordo com alguns critérios específicos: carga de poluentes, qualidade do habitat, diversidade e abundância de espécies aquáticas, etc. Entretanto, uma revisão desses estudos realizada por SCHUELER (1994) apud ARNOLD e GIBBONS (1996), concluiu que esta abordagem, conduzida em diversas áreas geográficas, concentrando-se em diferentes variáveis e empregando diferentes métodos, apresentou uma surpreendente conclusão similar – a degradação dos cursos d’água ocorre nos níveis relativamente baixos de impermeabilização (10-20%).

O segundo fator mostra que a impermeabilização é *mensurável*, independente do tamanho da área a ser considerada. Há, entretanto, métodos apropriados para realizar medições de áreas impermeáveis, de acordo com os seguintes níveis de observação:

- em nível local, um levantamento aerofotogramétrico é adequado;

- em nível regional, imagens obtidas através de satélites podem ser utilizadas para calcular a superfície impermeável e classificar diversas categorias de uso do solo.

Com o auxílio de SIG - Sistema de Informações Geográficas e técnicas de sensoriamento remoto, essas informações podem ser melhor exploradas, obtendo-se com maior precisão diversas taxas de ocupação do solo, incluindo as taxas de impermeabilização.

Para medir e usar a superfície impermeável como ferramenta para proteger os recursos hídricos é necessário saber como a superfície está distribuída no ambiente. Em uma escala crescente de refinamento, a superfície impermeável pode ser melhor avaliada, assim como a função que exerce dentro de cada tipo de uso do solo e seu impacto podem ser melhor identificados. Assim, melhores proposições para diminuí-la ou compensá-la podem surgir, em apoio a que diversas áreas de planejamento ou pesquisa busquem uma regulamentação para reduzir a superfície impermeável.

As bacias hidrográficas têm sido utilizadas como uma unidade de planejamento adequada para medição e análise de áreas impermeáveis. Estas, apresentam a vantagem de poderem ser definidas geograficamente e também constituírem um sistema de organização espacial em qualquer escala: partindo de uma base maior - os estados, a uma base menor - a região, a uma sub-base, ou seja, o município.

Os resultados dessa análise na bacia também podem ser úteis para ajudar no planejamento de áreas localizadas, da seguinte maneira:

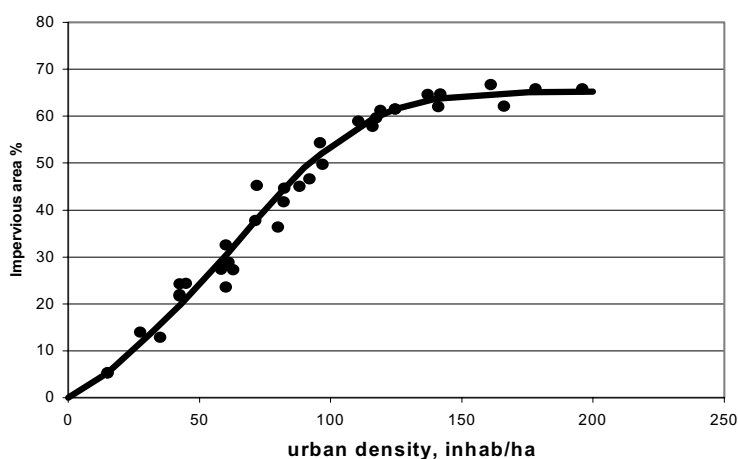
- em zonas de baixa impermeabilização, medidas de prevenção e de conservação dos sistemas naturais através do planejamento de espaços abertos deveriam ser adotadas;
- em zonas impactadas, o planejamento preventivo deveria ser focalizado no desenho, visando reduzir a superfície de escoamento e a impermeabilização;

- em zonas degradadas, a atenuação deveria ser realizada através da restauração da fonte poluidora.

Tais considerações, em nível local, não deveriam permitir que a cidade fosse condicionada somente aos impactos imediatos de um dado desenvolvimento, mas sim ao incremento de sua contribuição, ou proteção, para recursos hídricos de grande escala. Assim, uma revisão nos planos de gerenciamento dos recursos hídricos se faz necessária e, talvez, num futuro próximo, poderá incluir um parâmetro de simulação.

Para que se possa conhecer os efeitos de redução da impermeabilização no desenho hídrico-urbano torna-se necessário a definição de um parâmetro de simulação, ou seja, de quantificação e avaliação do comportamento gerado pela densidade populacional sobre a superfície impermeável. De acordo com a Figura 2, representada logo a seguir, o crescimento da densidade populacional tem sido responsável pelo excessivo aumento na impermeabilização de superfícies do aglomerado urbano.

Figura 2 - Impermeabilização e densidade



Fonte: TUCCI e PORTO (2001)

No entanto, tal afirmação nem sempre é verdadeira. A medida que a estreita relação entre a área impermeável e a densidade populacional for inversamente proporcional, ou seja, quanto maior for a superfície impermeável, menor é a densidade populacional, pode-se afirmar que a

mesma população está deslocada de seu centro geométrico e que a situação é de menor impacto dessa, havendo outros fatores de intervenção urbana que impermeabilizaram o solo. Exemplificando, uma densidade populacional menor pode estar relacionada ao movimento dos operários de uma indústria altamente impermeabilizada que efetivamente se deslocam do trabalho para a residência e vice-versa.

Os cálculos que determinam tanto a densidade populacional como a superfície impermeável também estão relacionados a outros deslocamentos da população e, geralmente, embasados na área habitacional. Desse modo, sempre haverá uma forma de fazer desenho urbano que irá diferir dos procedimentos tradicionais. A abordagem, aqui apresentada, deverá identificar soluções que implicam em superfícies urbanas com densidades populacionais diferentes e áreas impermeáveis reduzidas.

3 – METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é apresentar o roteiro e os procedimentos adotados para a caracterização e quantificação dos processos a serem estudados para a sustentabilidade do sistema de drenagem.

Pode-se dizer que a metodologia dará prioridade à análise da capacidade de reserva do desenho urbano, o que torna necessário compreender as principais relações existentes entre o ambiente urbano e o ambiente hídrico.

O assentamento urbano deverá ser guiado por uma estruturação que será conservada mas, também, conscientemente modificada. Sua capacidade de reserva estará ligada a peculiar conjunção entre a garantia da continuidade de sua qualidade hídrica e a abertura para novas modificações que permitam o seu desenvolvimento.

O estabelecimento de modificações passará a ser estudado através de um novo desenho para o local, empregando estratégias vinculadas ao projeto de drenagem urbana, nos quais estão inter-relacionadas distintos graus de impermeabilização do solo urbano. Nesta linha, os assentamentos urbanos (localizados no micronível) são vistos como “objetos de suporte”, enquanto que os recursos hídricos (localizados no macronível) como “objetos de preservação”.

O estudo de caso aborda o micronível, onde foi verificado a possibilidade de redução da superfície impermeável através de medidas

alternativas de controle pluvial (por exemplo, trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis), enquanto que no macronível foram consideradas bacias de retenção ou detenção, visando a sustentabilidade do sistema de drenagem.

O restabelecimento das relações foi buscado, conceituando um desenho que vise melhores oportunidades para a sustentabilidade do desenvolvimento urbano, reaproximando técnicos e planejadores da questão ambiental. A partir daí, foi desenvolvida uma abordagem metodológica, referindo-se a uma análise com fins de subsidiar projetos de cenários urbanos contextualizados em bacias hidrográficas.

Dentro desse contexto, o estudo de caso proposto fará um contraste de duas situações distintas do Município de Porto Alegre e do Município de Lindolfo Collor, servindo de base para a identificação de parâmetros “sustentáveis” de desenho.

3.1 – ANÁLISE SEGUNDO CRITÉRIOS GERAIS

Primeiramente, uma precedente *análise segundo critérios gerais* deverá dar uma visão geral da complexidade que envolve o estudo. Essa etapa tem início com a *descrição do ambiente*, ou seja, com a análise baseada em instrumentos legais como planos diretores, códigos de obras ou decretos, bem como do arranjo ordenado no espaço e no tempo, nunca rígido (renova-se constantemente), mas que persiste, procurando identificar a organização espacial e os principais parâmetros que fazem parte do desenho urbano.

Através dessa descrição, pretende-se apresentar os aspectos hidrológicos da *organização espacial* urbana. A noção dessa complexidade estrutural, incluindo o uso do solo, a forma urbana, o padrão de assentamento e sua relação com a rede de drenagem natural, permitirão identificar e caracterizar a variável a ser utilizada, a superfície impermeável.

3.2 – ANÁLISE SEGUNDO CRITÉRIOS ESPECÍFICOS

Na seqüência, será realizada uma *análise segundo critérios específicos* que, constituindo-se de uma leitura de um caso real, deverá detectar através da *coleta de dados* os principais espaços de abordagem, ou seja, quarteirões com características razoavelmente homogêneas existentes em Porto Alegre e Lindolfo Collor.

A coleta de dados fez uso do software AutocadR2000 para a restituição dos aerofotogramétricos dos municípios em questão. O trabalho de digitalização, envolveu também o mapeamento de superfícies impermeáveis que foram medidas no local. Nessa etapa, incluiu-se, ainda, a *avaliação do ambiente* em relação à quantificação de superfícies impermeabilizadas e da densidade populacional.

A constatação da densidade populacional, com base na área habitacional, teve influência na identificação de diferentes parâmetros de desenho, considerando as características específicas do lote.

A utilização desse conceito de planejamento fez com que o desenvolvimento fosse concentrado na porção do terreno que possui características adequadas à implantação física, ou seja, ao se detectar a presença de solo aluvial, a área permaneceu livre de edificações e possibilitou outro tipo de uso, como os parques que poderão agregar a função de armazenamento das águas à recreação pública.

Também foi avaliada a possibilidade de reduzir a superfície impermeável através das medidas alternativas de controle pluvial. As *medidas alternativas de controle pluvial* devem propiciar a redução da superfície impermeável para mitigar os efeitos da superfície de escoamento, aumentando assim a capacidade de suporte do sistema de drenagem.

A possibilidade de redução da superfície impermeável para cada uma das tipologias urbanas - edificações isoladas ou geminadas, habitações coletivas, lotes, estacionamentos, etc., constatada no quarteirão de elevado percentual de impermeabilização, deve considerar ainda a capacidade de carga das redes de serviço já instaladas (redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e de águas pluviais) e os aspectos ambientais característicos da propriedade (tipos de solo, cobertura vegetal, entre outros).

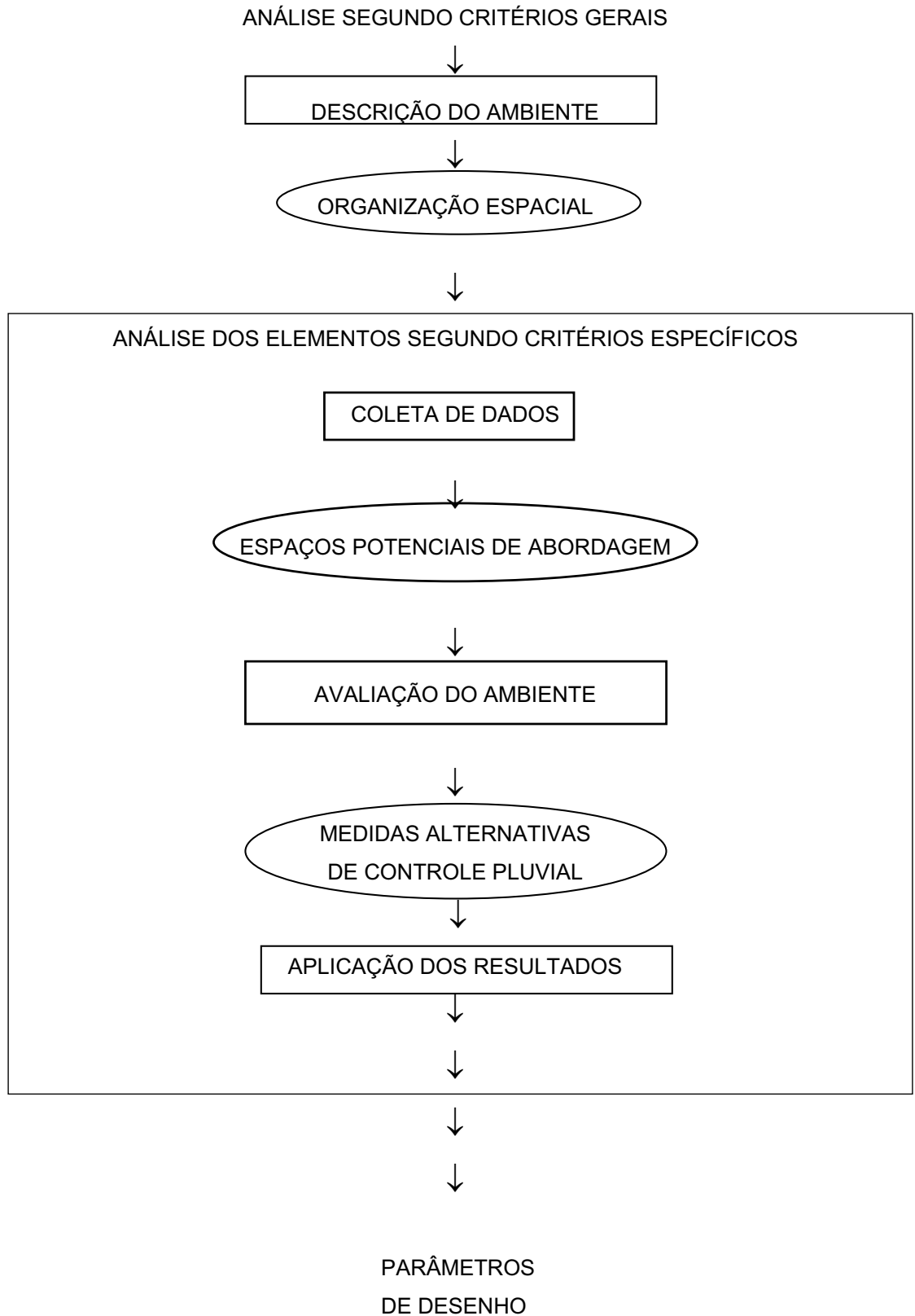
A *aplicação dos resultados* mostra um quadro comparativo entre os diferentes percentuais de impermeabilização existentes. Para tal fim, foi realizado um diagnóstico a partir do que está acontecendo atualmente no contexto urbano, procurando-se verificar que tipos de arranjo estão relacionados com o comportamento hidrológico.

Essa verificação tornou possível a identificação de *parâmetros*, aqui definidos como sendo as características de desenho urbano que, de alguma maneira, permitem a redução da superfície impermeável e dos efeitos de impacto produzidos na fonte do sistema de drenagem, constituindo assim a idéia de sustentabilidade urbana que essa abordagem pretende explorar.

Desse modo, a dissertação segue a corrente que busca relacionar o ambiente construído e o hídrico, partindo de uma análise detida nas relações para gerar alterações no desenho urbano, com a finalidade de equacionar a inter-relação, isto é, projetar suas inter-relações.

O entendimento da inter-relação é o indicador mais preciso para a projeção de estruturas organizadas do sistema de drenagem, viabilizando a preservação do ciclo hidrológico e da vida urbana. Nestas circunstâncias, é relevante o enquadramento teórico-metodológico para maior esclarecimento, ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Enquadramento teórico-metodológico

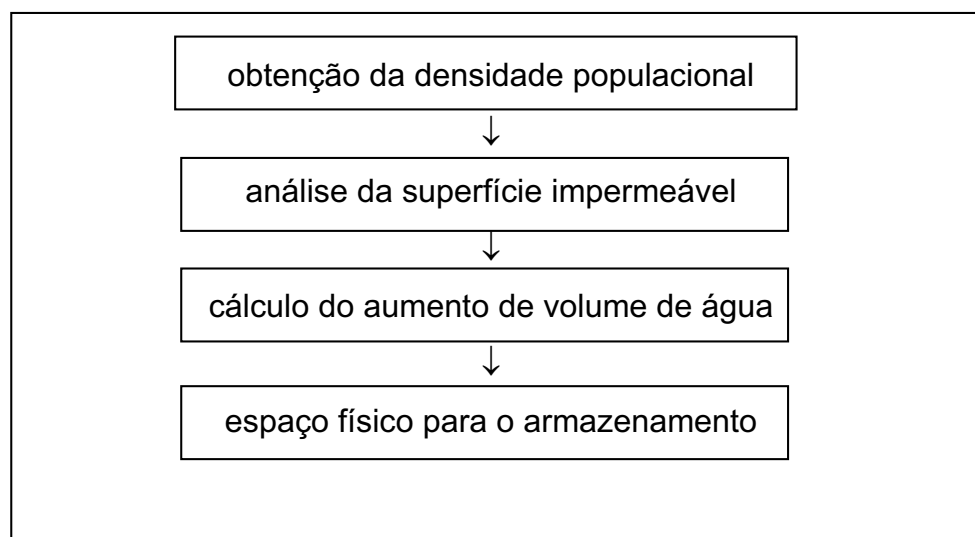


4 – ESTUDO DE CASO

O estudo de caso adota o Município de Porto Alegre e o de Lindolfo Collor, ambos localizados no Estado do Rio Grande do Sul, como regiões alvo para a aplicação da metodologia discutida no capítulo anterior.

Visando complementar a estruturação do presente capítulo é apresentado através da Figura 4 a seqüência a ser empregada no presente estudo.

Figura 4 - Seqüência do estudo



Inicialmente, a seqüência de estudo parte da densidade populacional responsável pela impermeabilização de superfícies dos quarteirões de cada um dos municípios, sendo que a área de Porto Alegre encontra-se consolidada, “degradada”, e Lindolfo Collor está em fase de expansão do seu desenvolvimento.

Através do conhecimento do nível de impermeabilização será possível o cálculo de volume de água excedente que necessita de espaço físico para o seu armazenamento.

Com a análise das informações obtidas haverá uma melhor interpretação dos resultados em função das possibilidades de comparação entre os Municípios de características opostas. Foram analisados quatro quarteirões (dois de Porto Alegre e dois de Lindolfo Collor) cujas características gerais estão na Tabela 2.

Tabela 2 - Características gerais dos quarteirões

| Quadra/Localidade | Áreas (ha) | Área Impermeável (%) |
|---------------------|---------------|-------------------------|
| Q01/Porto Alegre | 0,84 | 85 |
| Q02/Porto Alegre | 1,49 | 94 |
| Q03/Lindolfo Collor | 0,49 | 29 |
| Q04/Lindolfo Collor | 0,59 | 28 |

4.1 – O CASO DE PORTO ALEGRE

4.1.1 - DESCRIÇÃO DO AMBIENTE

O processo de elaboração do atual Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental e a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Porto Alegre adotaram, desde o início, um conceito bastante abrangente de ambiente hídrico e urbano no qual os elementos do quadro natural representam um forte condicionante às propostas de ocupação e uso do solo.

Estudos acerca de insolação, ventilação, e conservação de energia também foram importantes elementos definidores do potencial construtivo dos lotes, da mesma forma que parâmetros de permeabilidade do solo foram adotados na tentativa de contribuir para a regulação do fluxo das águas do Lago Guaíba.

O conceito de risco, de forma abrangente, esteve presente, tanto nas discussões acerca do uso e ocupação do solo, quanto na priorização de áreas de atuação da política habitacional municipal. Na definição do macrozoneamento da cidade, diversas categorias de áreas de diretrizes especiais buscaram abarcar as diferentes situações que necessitam intervenções e tratamento especial em termos sociais, urbanísticos e ambientais, constituindo assim um valioso instrumento de proteção das partes mais frágeis da cidade.

Com respeito ao desenho urbano, pode-se afirmar que a delimitação da volumetria do tecido urbano é resultante da conjugação de taxas de ocupação (ou da projeção horizontal máxima da construção no terreno) com um regime específico de alturas. Desde o 1º PDDU - Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, a taxa de ocupação apresenta-se como um valor máximo dentro de uma equação matemática que comporta igualmente

variáveis de alturas e recuos, sendo que a superfície impermeável não aparece explicitamente nas relações.

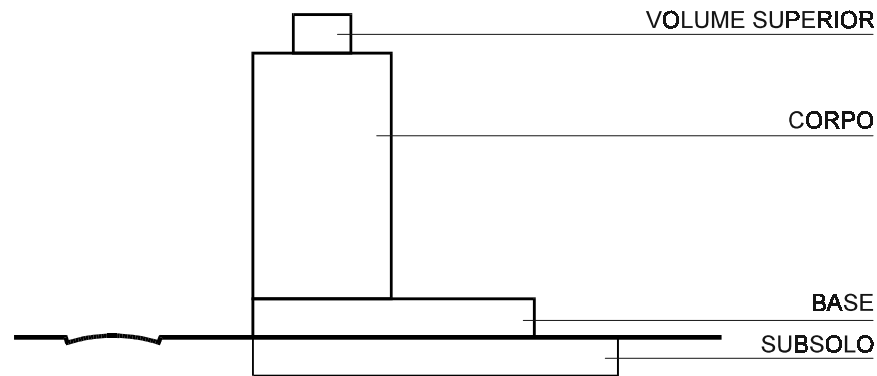
A altura passou, então, a ser considerada uma dimensão básica na delimitação da volumetria do tecido urbano. Esta pode regular-se conjugando o regime de alturas com a definição positiva de uma projeção horizontal através de uma faixa ou taxa de ocupação, ou com a definição implícita dessa projeção através de recuos de frente, fundos e laterais, ou ainda por uma combinação de ambos.

Assim, como a taxa de ocupação, a volumetria pode ser dada em termos de gabarito máximo ou gabarito obrigatório. O recuo frontal pode constituir um alinhamento obrigatório ou ser obtido em função da altura do edifício ou caixa de rua.

No entendimento de ABREU FILHO (1996), há três modalidades de volumetria, sendo a que domina no contexto normativo é a que conjuga alturas com recuos e taxa de ocupação. De acordo com a Figura 5, tal situação implica na clara preferência pelo modelo de edifício afastado das divisas, ainda que erguendo-se sobre a base de maior área, em lote de testadas maiores que o mínimo legal.

Em situação especial, a altura é definida em função da caixa da rua e, finalmente, resoluções normativas definem para certas situações um gabarito virtual, definido não em pavimentos, ou relação com a caixa da rua, mas em metros.

Figura 5 - Volumetria do edifício



Fonte: 2º PDDUA (1999)

No entanto, as caixas de rua oferecem melhores condições de privacidade. Considerando que boa parte dos lotes de Porto Alegre tem testadas por volta de 10 metros e que a maior altura é valorizada em prédios de apartamentos ou escritórios, isso significa que boa parte dos lotes situados em áreas de renovação urbana por substituição tipológica permanecem sem possibilidades de edificação enquanto não são lembrados, o que favorece o uso de taxas de ocupação sem fins permeáveis.

Segundo o artigo 143, da Lei Complementar nº43, de 21 de julho de 1979, a taxa de ocupação visa: (i) incentivar o lazer e a recreação nas construções situadas em Unidades Territoriais carentes de equipamentos urbanos, (ii) preservar áreas livres em termos de paisagem urbana ou natural, (iii) adequar construções às condições de permeabilidade e relevo do solo e (iv) estabelecer espaço entre as edificações.

Para ABREU FILHO (1996), “a taxa de ocupação não constitui, por si só, incentivo ao lazer e recreação, independente de discussão a respeito da validade desse incentivo.” Tampouco pode-se garantir a preservação de áreas livres de interesse urbanístico ou ambiental. Nos termos do PDDU, seria necessário a definição de áreas correspondentes.

Como instrumento de adequação da construção às condições de permeabilidade, cabe aqui considerá-la esperançosa. Entretanto, não impede a pavimentação do terreno para estacionamentos em casos de habitação coletiva e nem a ocupação do subsolo em terrenos em aclive ou declive excetuando-se o recuo de jardim.

Por outro lado, os limites de 4 metros de altura acima do terreno natural e que definem a ocupação são inconsistentes com a possibilidade de edificação de dois pavimentos nas divisas; tampouco contemplam as situações de aclives e declives não paralelos à testada do lote.

Verifica-se ainda que, como meio de estabelecer espaços entre as edificações, a taxa de ocupação teria que subordinar-se a uma visão consistente da estrutura morfológica dos quarteirões, integrando-se com dispositivos de alturas e recuos do PDDU ou disposições pertinentes ao Código de Edificações. Trata-se, portanto, de dispositivo ou medida de serventia limitada, que deve ser seriamente reconsiderado.

O art. 97 da Lei Complementar nº434, de 01 de dezembro de 1999, estabelece uma das principais bases para a regulamentação da drenagem urbana. Nas zonas identificadas como problemáticas deverão ser construídos reservatórios de retenção pluvial. No entanto, a localização e o dimensionamento desses reservatórios ainda não foram definidos. Recentemente, um decreto estabeleceu critérios gerais de controle.

Outro aspecto relacionado com a drenagem urbana refere-se à faixa marginal dos arroios urbanos. No desenvolvimento da cidade observa-se que o atual PDDUA - Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental não respeitou alguns desses limites estipulados pelo Código Florestal, o que dificulta o controle da infra-estrutura da drenagem urbana. Neste sentido, verifica-se a necessidade de parâmetros sustentáveis de desenho para atuar sobre a cidade já desenvolvida.

4.1.2 - COLETA DE DADOS

Para a aplicação do estudo de caso foram digitalizados mapas de dois bairros, ambos localizados no Bairro Petrópolis de Porto Alegre, na escala 1/1000, a partir da planta de reconstituição aerofotogramétrica efetuada em 1982 (Figura 6 e Figura 7). Em seguida, pesquisas de campo foram realizadas para o levantamento da superfície impermeável de cada lote e número de apartamentos existente em cada edifício. O procedimento adotado foi entrevistar o porteiro dos edifícios e o proprietário da residência.

Figura 6 - Quarteirão 1 (Porto Alegre)



Figura 7 - Quarteirão 2 (Porto Alegre)



4.1.3 - AVALIAÇÃO DO AMBIENTE

Nas últimas décadas, ficou constatado que existe uma forte tendência de verticalização com a implantação de edifícios residenciais no bairro Petrópolis em Porto Alegre (atualmente existem 23 edifícios construídos nos dois quarteirões analisados). Os quarteirões tendem a configurar-se como uma soma desordenada de edifícios de variadas densidades, alturas e alinhamentos. Na Figura 7 (lote 26 do quarteirão 2) é possível perceber que o processo de renovação urbana por substituição tipológica se faz de forma quase inevitável.

Em visita ao local, foram verificados alguns problemas como: (i) saturação do sistema de drenagem; (ii) construção de edifícios e residências junto às divisas do lote; e, (iii) impermeabilização excessiva das áreas destinadas ao ajardinamento.

De acordo com o número de unidades habitacionais existentes, foi estimada a evolução populacional para a área de estudo em Porto Alegre.

Tabela 3 - Estimativa da população (Porto Alegre)

| Ano | População | Densidade (hab/ha) | Aumento Percentual |
|-------|-----------|--------------------|--------------------|
| 1970 | 640 | 279,47 | - |
| 1980 | 1130 | 493,44 | 76,56% |
| 1990 | 1610 | 703,06 | 151,56% |
| 2002 | 1970 | 860,26 | 207,81% |
| 2020* | 2770 | 1209,61 | 332,81% |

* Projeção de mais 10 edifícios em 18 anos.
Os valores de população foram obtidos multiplicando-se o número de unidades habitacionais por 5.

A partir de uma análise da Tabela 3, é possível perceber que, na situação atual, há um aumento de 207,81% na intensidade do uso do solo com relação ao ano de 1970. Os sinais de saturação verificados no sistema de drenagem podem estar associados a este aumento devido ao bairro não ter

vido projetado para atender a crescente demanda na rede de infra-estrutura. Desse modo, um aumento de 40,61% na população seguramente implicará na necessidade de substituição dessas redes.

A quantidade de redes a serem substituídas poderá ser reduzida desde que o esgotamento pluvial seja realizado através de reservatórios para armazenar a água durante o pico das precipitações pluviométricas. No entanto, a pequena largura dos lotes (variando de 5 a 10m) faz com que as construções localizadas junto às divisas dificultem o uso de medidas alternativas de controle pluvial, tornando a área extremamente degradada.

A degradação do ambiente urbano também está relacionada à impermeabilização excessiva dos lotes. Esta não se dá somente ao nível dos edifícios, mas em quase todos os lotes de residências unifamiliares. Tal situação é decorrente de fator cultural, ou seja, para os proprietários de residências a pavimentação das áreas destinadas ao ajardinamento diminui os custos com relação à manutenção.

4.1.4 - APLICAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados aqui alcançados dizem respeito somente aos parâmetros de desenho adotados para o lote urbano. Nesse caso, pode-se dizer que o atual Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre não trata da relação com o solo público, somente diz respeito ao solo privado. Este deveria incluir índices para áreas pluviais localizadas em parques, ou praças, e indicadores de impermeabilização que pudessem auxiliar no controle da superfície impermeável em locais como estacionamentos e passeios públicos.

Pode-se dizer ainda que esses indicadores deverão estar relacionados à manutenção das funções hídricas que são determinadas através de coeficientes de absorção ou de permeabilidade do solo, podendo

seus valores estarem embutidos em índices admissíveis para a drenagem urbana.

Tabela 4 - Resultados do quarteirão 1 (Porto Alegre)

| Logradouro | Divisão Territorial | | Regime Urbanístico | | | Permeabilidade do solo | |
|-----------------|---------------------|-----------------------|--------------------|------|-------------|------------------------|------------|
| | Lote No. | Área(m ²) | Uso | Ano | Ocupação(%) | Aperm(%) | Aimperm(%) |
| Av. Lageado | 1 | 376,76 | Ed. Res. | 1958 | 77,94 | 0,00 | 100,00 |
| | 2 | 65,00 | Res.Unif. | 1958 | 67,68 | 0,00 | 100,00 |
| | 3 | 264,96 | Res.Unif. | 1955 | 60,51 | 27,92 | 72,08 |
| | 4 | 282,10 | Res.Unif. | 1958 | 11,56 | 88,44 | 11,56 |
| | 5 | 258,12 | Res.Unif. | 1953 | 52,53 | 0,00 | 100,00 |
| | 6 | 200,56 | Res.Unif. | 1970 | 72,30 | 30,57 | 69,43 |
| Av. Itaquí | 7 | 293,05 | Ed. Res. | 1973 | 73,92 | 0,00 | 100,00 |
| | 8 | 768,02 | Ed. Res. | 1975 | 53,68 | 10,42 | 89,58 |
| | 9 | 522,40 | Ed. Res. | 1970 | 48,00 | 7,06 | 92,94 |
| | 10 | 442,75 | Ed. Res. | 1972 | 53,69 | 6,77 | 93,23 |
| | 11 | 387,77 | Ed. Res. | 1972 | 61,31 | 0,00 | 100,00 |
| | 12 | 533,43 | Ed. Res. | 1980 | 70,53 | 4,34 | 95,66 |
| Av. Bagé | 13 | 527,07 | Ed. Res. | 1970 | 70,19 | 7,40 | 92,60 |
| | 14 | 264,87 | Res.Unif. | 1959 | 57,88 | 0,00 | 100,00 |
| | 15 | 430,82 | Res.Unif. | 1975 | 89,30 | 8,88 | 91,12 |
| | 16 | 297,00 | Ed. Res. | 1975 | 54,26 | 26,86 | 73,14 |
| Av. Santos Neto | 17 | 309,71 | Ed. Res. | 1955 | 72,56 | 0,00 | 100,00 |
| | 18 | 595,35 | Res.Unif. | 1958 | 46,72 | 0,00 | 100,00 |
| | 19 | 337,19 | Res.Unif. | 1960 | 70,09 | 0,00 | 100,00 |
| | 20 | 458,46 | Res.Unif. | 1960 | 48,82 | 7,70 | 92,30 |
| | 21 | 780,24 | Res.Unif. | 1953 | 19,95 | 70,63 | 29,37 |
| Média | | | | | | 14,14 | 85,86 |

Conforme os resultados da Tabela 4, é possível observar que 66,67% dos lotes existentes no quarteirão 1 apresentam superfícies impermeáveis variando de 92,30% a 100%. Isto implica em dizer que, apesar das taxas de ocupação do solo (11,56% a 77,94%) serem reduzidas na década de 50, os resultados obtidos demonstram que há um excesso de impermeabilização nas áreas destinadas ao ajardinamento das residências unifamiliares.

Com a introdução do 1º Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre (em 1979), pode-se constatar que a impermeabilização está

relacionada à maior intensidade de uso do solo urbano, com valores mais elevados da taxa de ocupação (estipulada em 80%) se considerada a capacidade de suporte do sistema de drenagem.

Tabela 5 - Resultados do quarteirão 2 (Porto Alegre)

| Logradouro | Divisão Territorial | | Regime Urbanístico | | | Permeabilidade do solo | |
|-------------|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------|-------------|------------------------|-----------|
| | Lote No. | Área(m ²) | Uso | Ano | Ocupação(%) | Aperm(%) | Aimper(%) |
| Av. Lageado | 1 | 320,00 | Ed. Res. | 1953 | 85,09 | 5,00 | 95,00 |
| | 2 | 540,00 | Res.Unif. | 1970 | 63,65 | 0,00 | 100,00 |
| | 3 | 280,00 | Res.Unif. | 1952 | 61,48 | 0,00 | 100,00 |
| | 4 | 280,00 | Res.Unif. | 1952 | 34,28 | 0,00 | 100,00 |
| | 5 | 320,00 | Res.Unif. | 1952 | 60,12 | 0,00 | 100,00 |
| | 6 | 680,00 | Ed. Res. | 1985 | 42,59 | 3,24 | 96,76 |
| | 7 | 280,00 | Res.Unif. | 1970 | 32,14 | 0,00 | 100,00 |
| | 8 | 280,00 | Res.Unif. | 1967 | 26,78 | 0,00 | 100,00 |
| | 9 | 280,00 | Res.Unif. | 1970 | 28,57 | 0,00 | 100,00 |
| | 10 | 240,00 | Estacion. | 1991 | | 0,00 | 100,00 |
| | 11 | 280,00 | Ed. Res. | 1970 | 68,39 | 2,52 | 97,48 |
| | 12 | 280,00 | Ed. Res. | 1970 | 85,27 | 0,00 | 100,00 |
| | 13 | 360,00 | Res.Unif. | 1953 | 25,54 | 5,26 | 94,74 |
| | 14 | 260,00 | Res.Unif. | 1981 | 60,86 | 39,14 | 60,86 |
| | Av. Ijuí | 15 | 260,00 | Comercial | 1973 | 67,31 | 0,00 |
| | 16 | 279,95 | Res.Unif. | 1970 | 35,00 | 0,00 | 100,00 |
| | 17 | 280,00 | Res.Unif. | 1968 | 51,92 | 0,00 | 100,00 |
| | 18 | 280,00 | Res.Unif. | 1973 | 39,29 | 0,00 | 100,00 |
| | 19 | 240,00 | Res.Unif. | 1960 | 33,33 | 0,00 | 100,00 |
| | 20 | 560,00 | Ed. Res. | 1992 | 38,53 | 3,21 | 96,79 |
| | 21 | 560,00 | Ed. Res. | 1993 | 58,39 | 4,82 | 95,18 |
| | 22 | 560,00 | Ed. Res. | 1986 | 60,00 | 5,36 | 94,64 |
| | Av. Bagé | 23 | 336,00 | Res.Unif. | 1967 | 50,30 | 0,00 |
| | 24 | 420,00 | Res.Unif. | 1970 | 45,71 | 0,00 | 100,00 |
| | 25 | 420,00 | Res.Unif. | 1960 | 37,38 | 7,62 | 92,38 |
| | 26 | 1,176,00 | Ed. Res. | 1994 | 21,43 | 38,92 | 61,08 |
| | 27 | 294,00 | Res.Unif. | 1970 | 52,38 | 8,16 | 91,84 |
| | 28 | 294,00 | Res.Unif. | 1970 | 58,33 | 6,80 | 93,20 |
| | 29 | 252,00 | Res.Unif. | 1960 | 51,90 | 0,00 | 100,00 |
| | 30 | 252,00 | Res.Unif. | 1970 | 53,96 | 0,00 | 100,00 |
| | 31 | 288,75 | Res.Unif. | 1970 | 95,39 | 0,00 | 100,00 |
| | 32 | 567,00 | Ed. Res. | 1990 | 70,14 | 7,14 | 92,86 |
| | Av. Itaqui | 33 | 600,00 | Ed. Res. | 1988 | 67,41 | 0,00 |
| | 34 | 840,00 | Ed. Res. | 1987 | 62,02 | 0,00 | 100,00 |
| | 35 | 240,00 | Ed. Res. | 1985 | 49,93 | 4,17 | 95,83 |
| | 36 | 520,00 | Ed. Res. | 1980 | 50,76 | 2,70 | 97,30 |
| | 37 | 280,00 | Estacion. | 1993 | | 0,00 | 100,00 |
| | 38 | 280,00 | Res.Unif. | 1970 | 32,50 | 0,00 | 100,00 |
| | 39 | 200,00 | Res.Unif. | 1973 | 37,50 | 0,00 | 100,00 |
| | Média | | | | | | 3,70 |

Na Tabela 5, verifica-se que os recuos destinados ao ajardinamento de edifícios residenciais do quarteirão 2 não resolvem a questão da permeabilidade do solo. A superfície permeável compreende um intervalo muito pequeno que varia de 2,52% a 7,62% da superfície do lote, com exceção do lote 26 que apresenta 38,92%. Estes recuos geralmente são pavimentados para o acesso de veículos e pedestres.

Considerando ainda que 86,95% dos edifícios residenciais localizados em ambos quarteirões apresentam impermeabilização variando entre 90% a 100% da área do lote, pode-se dizer que as preocupações com áreas livres destinadas ao lazer e à recreação deram lugar às superfícies altamente impermeabilizadas, aumentando desse modo o excedente pluvial.

De acordo com a legislação recente de Porto Alegre, a reservação para manter a vazão pré-existente pode ser calculada da seguinte maneira:

$$V = 4,25 AI$$

Onde:

$V \Rightarrow$ volume de água específico a reservar em m^3/ha

$AI \Rightarrow$ taxa de áreas impermeáveis em %

Substituindo a equação pelos valores encontrados no caso de Porto Alegre, temos:

$$V = 4,25 \cdot 94 \Rightarrow V = 399,50 m^3/ha$$

De acordo com o que foi observado no local, o Bairro Petrópolis não apresenta espaço físico para armazenar a quantidade de água que se incrementou ($V = 399,50 m^3/ha$) com o excesso de impermeabilização do solo, sendo necessário outro tipo de medida alternativa para o local, como os reservatórios individuais acoplados à edificação que deverão ser especificados

em legislação reguladora ou manual técnico de apoio ao Plano Diretor de Drenagem.

O armazenamento em reservatório no lote urbano pode ser realizado para o amortecimento do escoamento superficial que, em conjunto com outros usos, poderá ser utilizado como abastecimento de água, irrigação de grama, lavagem de superfícies e automóveis.

GENZ (1994) utilizou um modelo matemático hidrológico para simular um lote padrão com 360,00m² de superfície, de uso residencial, taxa de ocupação de 56%, e recuo de ajardinamento de 4,00m.

As duas alternativas de localização consistiram nas seguintes: (i) um reservatório na saída do lote; (ii) dois reservatórios sendo que um em cada saída do telhado. O reservatório estudado tem área de 1,5m x 1,5m e altura de 0,95m, totalizando um volume de 2,14m³.

A seguir, a Tabela 6 mostra que os resultados com dois reservatórios podem retornar à vazão preexistente no lote.

Tabela 6 - Estimativa da redução de pico com reservatórios nos lotes

| LOCALIZAÇÃO | NÚMERO DE ORIFÍCIOS | NÚMERO DE RESERVATÓRIOS | DIÂMETRO DO ORIFÍCIO (mm) | AUMENTO DA TAXA MÁXIMA* (%) | |
|------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| | | | | OCUPAÇÃO DO LOTE (%) | 56% 100% |
| SAÍDA DO LOTE | 3 | 1 | 40 | 6,1 | 23,1 |
| SAÍDA DO TELHADO | 2 | 2 | 32 | 8,0 | 23,3 |
| SAÍDA DO TELHADO | 1 | 2 | 40 | 0,01 | 5,0 |
| SAÍDA DO TELHADO | 1 | 2 | 32 | -15,0 | 0,0 |

Fonte: GENZ (1994)

*Aumento com relação às condições preexistentes

Ampliando o espaço de atuação, ou seja, no contexto da macrodrenagem de um bacia urbana, TASSI (2002) simulou o efeito conjunto de microreservatórios nos lotes e chegou à conclusão de que seria possível efetivamente obter níveis de redução da vazão significativos no sistema de drenagem tradicional.

4.2 – O CASO DE LINDOLFO COLLOR

4.2.1 – DESCRIÇÃO DO AMBIENTE

O Município de Lindolfo Collor é predominantemente rural, formado por grande número de glebas na região central da cidade, e não possui Plano Diretor com respeito ao seu perímetro urbano. Apesar de novo, emancipado em 26 de março de 1992, apresenta problemas com relação à drenagem urbana. Ocupa de maneira indiscriminada a várzea do Arroio Feitoria, desrespeitando o Código Florestal.

A Legislação de Parcelamento do Solo não trata de questões relacionadas com o uso e ocupação do solo, apenas delimita a área mínima de 300,00m para os lotes urbanos e os respectivos arruamentos, ficando a critério do empreendedor a colocação de esgotamento pluvial que, geralmente, é direcionado para os arroios da localidade aumentando a vazão de jusante.

O Código de Obras trata de afastamentos mínimos de 4,00m para recuos de ajardinamento e 1,50m das respectivas divisas quando houver aberturas para as mesmas, levando em consideração apenas a área destinada à ventilação e iluminação.

4.2.2 - COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada através da digitalização de mapas de dois quarteirões, ambos localizados no Bairro Centro de Lindolfo Collor, na escala 1/1000, a partir do recadastramento imobiliário efetuado em 1993 (Figura 4.5).

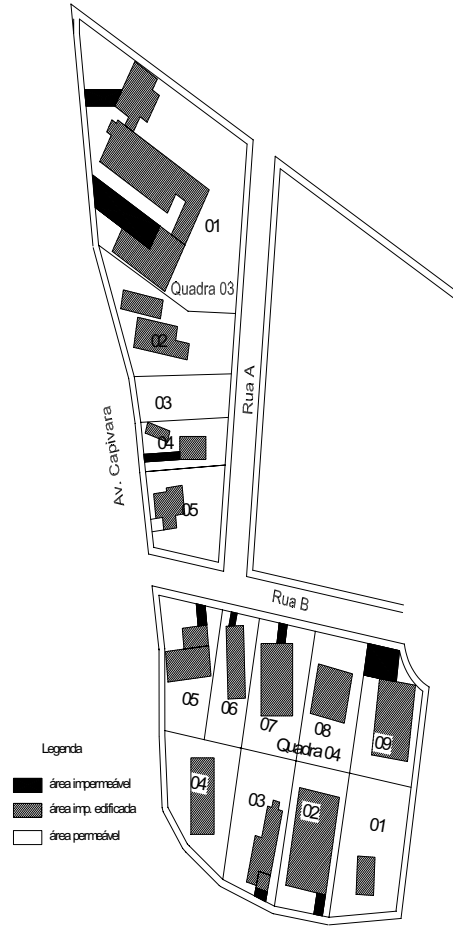
A seguir, pesquisas de campo foram realizadas para o levantamento da superfície impermeável de cada lote. O procedimento foi o mesmo adotado na situação anterior, ou seja, entrevistar o proprietário de cada residência ou comércio.

4.2.3 - AVALIAÇÃO DO AMBIENTE

Em visita ao local, pode-se observar que existe uma tendência de substituição de prédios residenciais por prédios comerciais, aumentando a impermeabilização no Bairro Centro.

Os quarteirões configuram-se como uma soma desordenada de prédios com diversos alinhamentos e alturas. Isto implica em dizer que os recuos obrigatórios ainda não aparecem nas relações. Na Figura 8 (lote 03 do quarteirão 3) é possível perceber que este lote deverá atender as necessidades do Código de Obras implantado em 1993.

Figura 8 - Quarteirões 3 e 4 (Lindolfo Collor)



Foram verificados alguns problemas como: (i) desrespeito aos alinhamentos do terreno; (ii) construção de alguns prédios junto às divisas do lote.

De acordo com o número de unidades habitacionais fornecido pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, foi estimada a evolução populacional para a área de estudo em Lindolfo Collor.

Tabela 7 - Estimativa da população (Lindolfo Collor)

| Ano | População | Densidade (hab/ha) | Aumento Percentual |
|-------|-----------|--------------------|--------------------|
| 1970 | 3.260 | 0,99 | - |
| 1996 | 3.813 | 1,17 | 14,50% |
| 2000 | 4.414 | 1,35 | 35,39% |
| 2004* | 5.076 | 1,55 | 55,07% |

* Projeção de mais 15% em 4 anos.
Os valores de população foram obtidos multiplicando-se o número de unidades habitacionais por 5.

A partir de uma análise da Tabela 7, é possível perceber que, na situação atual, deverá ocorrer aumento de 55,07% na intensidade do uso do solo com relação ao ano de 1970. A área não apresenta sinais de saturação no sistema de drenagem que poderiam estar associados a este aumento populacional. Assim, pode-se dizer que, um aumento de 15% na população inicial não acarretará na necessidade de substituição dessas redes.

A deterioração do ambiente urbano está relacionada à falta de manutenção das áreas permeáveis destinadas ao ajardinamento. Esta não se dá somente ao nível dos prédios comerciais, mas em quase todos os lotes de residências unifamiliares. Tal situação é decorrente da falta de poder aquisitivo, ou seja, a população de baixa renda não apresenta condições financeiras para a conservação.

4.2.4 - APLICAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos estão relacionados somente com o espaço privado, isto é, aos parâmetros de desenho adotados para o lote urbano. Nesse sentido, pode-se dizer que Lindolfo Collor não trata da relação com o solo público. Este deveria preocupar-se em destinar área para o armazenamento permanente, ou temporário, de água antes que o espaço se torne efetivamente consolidado.

Tabela 8 - Resultados do quarteirão 3

| Divisão Territorial | | | Regime Urbanístico | | | Permeabilidade do solo | |
|---------------------|----------|-----------------------|--------------------|------|-------------|------------------------|------------|
| Logradouro | Lote No. | Área(m ²) | Uso | Ano | Ocupação(%) | Aperm(%) | Aimperm(%) |
| Av. Capivara | 1 | 2.821,71 | Com. | 1907 | 29,52 | 62,46 | 37,54 |
| | 2 | 835,97 | Com. | 1958 | 24,23 | 75,77 | 24,23 |
| | 3 | 371,44 | - | - | - | 100,00 | 0,00 |
| | 4 | 365,17 | Com. | 1965 | 21,36 | 71,87 | 28,13 |
| | 5 | 565,43 | Res.Unif. | 1965 | 15,09 | 82,48 | 17,52 |
| Média | | | | | | 78,52 | 21,48 |

De acordo com os resultados do quarteirão 1, verificados na Tabela 8, é possível perceber que 80,00% dos lotes apresentam superfície permeável variando entre 71,87% a 100,00%. Isto significa que este pequeno quarteirão não apresenta excesso de impermeabilização nas áreas destinadas aos ajardinamentos e que dificilmente apresentará problemas de infiltração no solo de composição arenosa-argilosa.

Tabela 9 - Resultados do quarteirão 4

| Divisão Territorial | | | Regime Urbanístico | | | Permeabilidade do solo | |
|---------------------|----------|-----------------------|--------------------|------|-------------|------------------------|------------|
| Logradouro | Lote No. | Área(m ²) | Uso | Ano | Ocupação(%) | Aperm(%) | Aimperm(%) |
| Av. Capivara | 1 | 776,18 | Com. | 1980 | 7,74 | 92,26 | 7,74 |
| | 2 | 737,75 | Ins. | 1999 | 49,31 | 48,37 | 51,63 |
| | 3 | 704,26 | Com. | 1960 | 21,01 | 77,60 | 22,40 |
| | 4 | 667,62 | Com. | 1967 | 23,97 | 76,03 | 23,97 |
| Rua B | 5 | 601,99 | Com. | 1967 | 27,71 | 69,56 | 30,44 |
| | 6 | 447,26 | Res.Unif. | 1998 | 25,51 | 72,88 | 27,12 |
| | 7 | 666,30 | Res.Unif. | 1970 | 30,97 | 67,75 | 32,25 |
| | 8 | 650,76 | Res.Unif. | 1967 | 24,39 | 75,61 | 24,39 |
| | 9 | 685,70 | Res.Unif. | 1981 | 36,83 | 63,17 | 36,83 |
| Média | | | | | | 71,47 | 28,53 |

Conforme os resultados da Tabela 9, o que permite a infiltração é a dimensão básica adotada pelos lotes que varia de 447,26m² a 776,18m². Desse modo, há necessidade de se prever lotes maiores do que o padrão adotado (300,00m²) para evitar a deterioração do sistema de drenagem e, conseqüentemente, aumento do excedente pluvial.

De acordo com recente decreto para Porto Alegre, a reservação necessária para evitar excessos pluviais na rede é estimada da seguinte maneira:

$$V = 4,25 AI$$

Onde:

V ⇒ volume de água específico a reservar em m³/ha

AI ⇒ taxa de áreas impermeáveis em %

Substituindo a equação pelos valores encontrados no caso de Lindolfo Collor, temos:

$$V = 4,25 \cdot 29 \Rightarrow V = 123,25 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Em visita ao local, ficou constatado que o Bairro Centro de Lindolfo Collor apresenta, junto às proximidades, uma área que poderia ser destinada ao armazenamento permanente ou temporário, sendo que a quantidade de água que se incrementou (V=123,25m³/ha) poderia ser destinada a essa bacia de detenção a ser prevista em Plano Diretor.

O principal objetivo das bacias de detenção e de retenção é minimizar o impacto hidrológico através da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica.

As bacias, ou reservatórios, podem ser dimensionadas para manter uma lâmina permanente de água (retenção), ou secarem após o seu

uso durante uma chuva (detenção), permitindo a criação de áreas de esportes e lazer.

A vantagem de manutenção da lâmina do conseqüente volume morto de água é que não haverá crescimento de vegetação no fundo, sendo o reservatório mais eficiente para o controle de qualidade da água.

Segundo URBONAS e STAHERE (1993) apud GENZ e TUCCI (1995), esse controle tem as seguintes vantagens e desvantagens, respectivamente: (i) custos reduzidos, se comparados a um grande número de controles distribuídos; (ii) custo menor de operação e manutenção; (iii) facilidade de administrar a construção; (iv) dificuldade de achar locais adequados; (v) custo de aquisição da área.

4.3 - CONCLUSÕES

- Há uma necessidade de reserva de área para o armazenamento de água em cidades em fase de pré-desenvolvimento.
- Em áreas consolidadas, ou desenvolvidas, parâmetros de desenho para o lote urbano deveriam ser adotados para reduzir a superfície impermeável;
- A superfície impermeável é uma conseqüência de diversos parâmetros de desenho (taxa de ocupação, índice de aproveitamento, densidade, etc.) que são estipulados pelo Plano Diretor;
- Se modificados os parâmetros de desenho pode haver uma diminuição da superfície impermeável;

- O uso de obras pluviais de infiltração e retenção para a compensação de superfícies impermeáveis poderia ser implementado nos espaços disponíveis;
- Para espaços disponíveis reduzidos deveriam ser exigidas medidas alternativas de controle pluvial localizadas junto à edificação, como microrreservatórios;
- Poderia ser introduzido um parâmetro de desenho calcado na fração mínima de ajardinamento a ser utilizada como área permeável.

4.4 – IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DESENHO

4.4.1 – ASPECTOS GERAIS

Os parâmetros sustentáveis de desenho buscam o controle do escoamento na fonte através da recuperação da capacidade de infiltração ou da detenção do escoamento adicional gerado pelas superfícies urbanas. “O princípio fundamental deste controle é o de que qualquer novo empreendimento deve manter as condições naturais pré-existentes de vazão para um determinado risco definido.” (TUCCI, 1995).

A identificação de áreas de maior risco de enchentes e aquelas que fornecem normalmente o armazenamento das águas ajudará a visualizar uma estratégia integral para a macrodrenagem urbana. Parâmetros sustentáveis de desenho para a prevenção de enchentes, assim como para a conservação e recuperação da água da cidade, devem:

- Proteger os recursos hídricos mais importantes da cidade, tanto os usados corretamente para suprimento de água

como os que tem potencial para satisfazer a demanda crescente;

- Localizar nas cabeceiras e nas várzeas a jusante novos parques e áreas verdes para preservar a capacidade de armazenamento das águas e melhorar a recarga dos lençóis freáticos;
- Estimular a localização de novas indústrias fora das várzeas e das áreas de recarga dos mananciais que são altamente vulneráveis à poluição das águas;
- Localizar novos edifícios públicos fora das áreas sujeitas às inundações e encorajar novos empreendimentos comerciais e residenciais a fazerem o mesmo.

Na microdrenagem, o desenho de cada novo edifício, rua, estacionamento e praça da cidade também deve ser considerado para prevenir ou mitigar os efeitos das enchentes e para conservar e recuperar os recursos hídricos da seguinte maneira:

- Tratar da relação entre o local do projeto e os problemas críticos de drenagem na fonte da área ou zona em estudo;
- Localizar e projetar jardins que evitem os danos das enchentes;
- Explorar a capacidade dos telhados, das praças, dos estacionamentos e do solo para reter ou absorver o escoamento dos aguaceiros;
- Explorar as propriedades estéticas da água, sem desperdiçá-la.

4.4.2 – PARÂMETROS BASEADOS NO ARMAZENAMENTO

O armazenamento de água é aqui considerado o principal parâmetro de desenho para garantir a sustentabilidade do sistema de drenagem em espaços públicos e privados. Este pode ser do tamanho necessário para a microdrenagem (estacionamentos, praças, loteamentos) ou ter porte para a macrodrenagem urbana. “O efeito do armazenamento urbano é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo.” (TUCCI,1995). Pode ser classificado da seguinte maneira:

A) Armazenamento permanente:

O armazenamento permanente torna-se apropriado quando se dispõe de abastecimento contínuo e as aflúncias e perdas permitem condições estáveis. Os reservatórios urbanos, que podem manter-se em um nível mínimo de água, oferecem um grande potencial de usos para a comunidade. Estes tem a mesma função que a bacia de detenção, sendo que a principal característica são as dimensões superiores.

B) Armazenamento temporário:

As áreas não pavimentadas são insuficientes ou incapazes de fazer frente ao armazenamento natural, entretanto, vários espaços disponíveis na cidade podem ter funções hidrológicas. Segundo HOUGH (1995), um estudo realizado em 1994 ilustra que 57% das áreas urbanas não apresentam construções. Desse modo, grande proporção de espaços públicos da cidade estão disponíveis e podem ser desenhados para realizar o armazenamento temporário.

O desenho dos espaços públicos deve proporcionar o armazenamento de água da chuva o tempo que for necessário para reduzir o fluxo elevado e após liberá-la lentamente através das redes pluviais. Assim, o

solo serve a um duplo propósito: assiste às funções hidrológicas, mas também proporciona outros tipos de uso como quadras de esporte, estacionamentos e praças.

De acordo com HOUGH (1995), outro exemplo são as ruas que, além de ocupar cerca de 27% do espaço da cidade, podem servir de armazenamento temporário e atuar como coletores pluviais. Nesse caso, a utilização da pavimentação permeável é recomendável, ou seja, asfalto poroso, pavimentação modular ou cascalho, disposta sobre solos com boa drenagem ou em combinação com poços secos permitem que uma maior quantidade de chuva se infiltre no solo ao invés de escorrer para os bueiros.

Para o espaço privado, o tamanho do lote, o total de sua área que poderá ser ocupada (taxa de ocupação), os recuos de ajardinamento e a densidade em relação ao total da área a ser construída constituem os parâmetros sustentáveis de desenho mais adequados. Estes podem ser vistos a seguir:

A) Tamanho do lote:

O tamanho do lote está vinculado à cultura e práticas sociais de uma sociedade e pode variar de país para país. No Brasil, o lote de 200m² (10mx20m) e a habitação de 60m² são considerados padrões mínimos capazes de prover a qualidade de vida para a população. Porém, a Lei Federal 6.766/79 define lotes mínimos de 125m² para assentamentos de baixa renda.

Por outro lado, lotes largos influenciam decisivamente nas dimensões do quarteirão que, por sua vez, tendem a criar desenhos ineficientes e aumento da rede de infra-estrutura de drenagem. Já os lotes estreitos se encaixam mais facilmente num modelo padrão de quarteirão que tem suas dimensões máximas e mínimas definidas pela regulamentação em vigor.

Para ACIOLY e DAVIDSON (1998), lotes estreitos (com 5m a 10m de largura) impõem limitações ao desenho e a forma das edificações, resultando em construções muito estreitas e longas, com espaços bastante exíguos. Estes induzem a um padrão de extensão da construção em direção ao fundo do lote que acaba resultando em longos e ineficientes corredores e espaços com precárias condições de permeabilidade, ventilação e iluminação natural.

Os lotes estreitos devem ser somente utilizados quando necessário devido ao impacto gerado no sistema de drenagem. O seu uso em áreas residenciais deve estar diretamente associado à habitação geminada, onde os lotes com bastante profundidade, baixa taxa de ocupação e possibilidades de concretizarem altos índices de aproveitamento, permitem a redução da superfície impermeável.

B) Taxa de ocupação:

A taxa de ocupação define a relação entre as projeções máximas de construção e as áreas de terreno sobre as quais acedem as construções” (PDDUA, 1999). Este parâmetro também está relacionado com o montante de superfície impermeabilizada por configurações urbanas.

Segundo ACIOLY e DAVIDSON (1998), uma baixa taxa de ocupação (inferior à 60%), reservada exclusivamente para área residencial, pode vir a ser um dos critérios para se chegar a configurações urbanas eficientes. Entretanto, para tornar possível a infiltração da água no solo deve-se verificar que medida alternativa de controle pluvial seria mais adequada para garantir a sustentabilidade da drenagem intra-lote.

Conforme o PDDUA de Porto Alegre, a solução de edifícios com taxa de ocupação variável (90% na base e 75% no corpo) dificulta ainda mais a implantação de medidas alternativas de controle pluvial. No entanto, edifícios

residenciais com taxas de ocupação menores (entre 60% e 70%) também não garantem a permeabilidade do solo.

Assim, como já foi dito anteriormente, reservatórios para o armazenamento deveriam ser incorporados à edificação. Por outro lado, para se obter uma taxa de ocupação adequada (de até 30%) nos centros urbanos torna-se necessário o remembramento de lotes estreitos para ampliar a área de ajardinamento.

C) Recuo de ajardinamento

O recuo de ajardinamento representa a distância mínima que a fachada principal deve manter em relação ao alinhamento do terreno. Atualmente, estes recuos são considerados inconsistentes com relação à capacidade de suporte do sistema de drenagem. O problema não está na determinação da fração mínima exigida pela legislação, mas na impermeabilização excessiva do solo através da ocupação informal de jardins e espaços livres no interior dos lotes.

Desse modo, a solução a ser adotada deveria, obrigatoriamente, garantir a infiltração da água no solo através do uso de materiais permeáveis (como blocos de concreto, asfalto poroso, etc.) nos recuos de ajardinamento ou possibilitar que as superfícies impermeáveis fossem compensadas por obras de infiltração ou retenção.

D) Densidade urbana

A densidade urbana contribui de maneira significativa para a configuração dos assentamentos urbanos e gestão dos recursos hídricos. Ela representa o número total da população de uma área específica expressa em habitantes por unidade de solo, ou total de habitações de uma determinada área urbana expressa em habitações por unidade de solo (geralmente, hectares).

No entendimento de ACIOLY e DAVIDSON (1998), é muito comum encontrar valores expressos na forma de densidade líquida e densidade bruta. O primeiro valor está relacionado somente com a área alocada para uso residencial enquanto o segundo valor refere-se a toda área do assentamento, incluindo-se ruas e acessos, espaços públicos e outros usos.

Este parâmetros tem por objetivo avaliar tecnicamente a distribuição e o consumo do solo. Segundo MASCARÓ apud ACIOLY e DAVIDSON (1998), tem-se assumido que quanto maior a densidade, melhor será a utilização e maximização da infra-estrutura do solo urbano. No entanto, os assentamentos urbanos de alta densidade, além de impermeabilizarem excessivamente o solo, sobrecarregam e causam congestionamento das redes de drenagem.

A relação entre a densidade e a impermeabilização é complexa. Ambientes muito densos, com pouco espaço livre, e áreas verdes escassas podem levar a uma catástrofe hídrico-urbana ao mesmo que reduzem significativamente o montante de solo a ser consumido por atividades urbanas. No entanto, os assentamentos de baixa densidade consomem grande quantidade de glebas para um número pequeno de habitantes, embora possam produzir espaços permeáveis, como é o caso de Lindolfo Collor.

A densidade urbana deve contribuir para uma solução através da qual a gleba disponível deve ser dividida em lotes e áreas específicas para a infiltração e reserva de água, definindo-se também os domínios público e privado. Daí se explica o fato de a densidade bruta ser altamente influenciada e estar diretamente associada à impermeabilização, a qual deve ser adequada tanto do ponto de vista cultural quanto ambiental. Para Porto Alegre, as densidades brutas variam de 140 a 525 habitantes/ha, conforme a área de ocupação.

Então, ao fixar a área do lote em 125m² e a densidade em 400 habitantes/ha e variando-se a porcentagem de solo alocado para uso residencial, não se altera nem a densidade habitacional líquida (80 habitações/ha) e nem a área total da gleba necessária para uso residencial, porque a taxa de impermeabilização (100%) e o tamanho do lote mantém-se o mesmo.

Por outro lado, se for utilizada uma porcentagem de solo alocado de 70% para uso residencial diminuirá a área total de solo necessária para acomodar a população e número de famílias predeterminadas, aumentando a densidade demográfica bruta.

Para ACIOLY e DAVIDSON (1998), a decisão de fixar a densidade sobre as perdas e ganhos entre os domínios público e privado foi tomada com base no princípio de que a alocação de 60% a 65% de toda uma gleba para uso residencial deve resultar em soluções eficientes, portanto, estudos sobre a drenagem urbana devem ser considerados.

Ao se passar o índice de aproveitamento de 3,2 para 2,7 observa-se que haverá uma diminuição das densidades a uma mesma proporção. Portanto, o tamanho do lote determinará a maioria dos resultados. Quanto menor o lote, mais alta será a densidade urbana e menor a quantidade de solo para se acomodar medidas alternativas de controle pluvial e a população com a mesma composição familiar.

Com relação ao armazenamento, pode-se dizer ainda que o controle na fonte dos loteamentos tem a vantagem da escala, pois apenas um reservatório pode ser mais eficiente que o somatório de pequenos reservatórios. As vantagens do controle na fonte são: (i) redução da quantidade de material sólido; (ii) redução da rede de drenagem; e, (iii) redução da manutenção entre os usuários.

O uso de reservatórios de retenção no lote geralmente ocorre em áreas já loteadas (como é o caso de Porto Alegre), enquanto que o reservatório na saída do loteamento (como é o caso de Lindolfo Collor) pode ser usado para futuros desenvolvimentos.

Segundo BEMFICA (2001), ao tentar-se projetar reservatórios em todos os lotes de um loteamento, verificou-se que a economia gerada pela redução do excedente pluvial e, conseqüentemente, dos diâmetros das canalizações foi anulada pela necessidade de execução de redes pluviais em ambos os lados da via (em novos loteamentos, em geral, a rede é executada apenas de um lado da rua, com travessias de bocas-de-lobo). O fator econômico, principal atrativo para o empreendedor foi, neste caso, descartado.

Do ponto de vista técnico, constata-se ainda que as redes públicas precisam estar a uma profundidade mínima, a fim de viabilizar a ligação dos reservatórios individuais. Para BEMFICA (2001), isso dificulta consideravelmente a implantação desses dispositivos em áreas muito planas da cidade, nas quais a topografia não permite que as redes sejam aprofundadas.

Por outro lado, um obstáculo importante com relação à execução dos reservatórios de armazenamento é, basicamente, cultural. A idéia de ter uma área pública alagada, ainda que esporadicamente, não agrada aos empreendedores locais. Mesmo a economia em canalizações não se torna um grande atrativo, pois, para a implantação do reservatório em loteamentos, alguns lotes seriam perdidos.

Portanto, a utilização de praças e parques como áreas de retenção, que seria uma alternativa à perda dos lotes anteriormente mencionada, encontra uma grande resistência por parte dos órgãos intervenientes cujo principal argumento contrário é a utilização do sistema de esgoto misto na maioria das cidades brasileiras.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo tem como objetivo a realização das avaliações de caráter geral sobre o estudo. Essas avaliações incluem uma revisão dos resultados, uma comparação entre os objetivos propostos e identificam os objetos merecedores de atenção para pesquisas futuras.

5.1 – REVISÃO GERAL

A dissertação, conforme proposta inicial, através de uma revisão bibliográfica que aborda e discute a fundamentação teórica da pesquisa, desenvolve uma inserção ao tema proposto. Esta, parte da revisão organizada em aspectos relativos aos conceitos utilizados e ao contexto em que se enquadra o objeto de estudo. Foi trazido para a discussão os conceitos alternativos utilizados em estudos de drenagem urbana e desenvolvimento sustentável.

O resultado obtido nesta etapa é o conjunto de conceitos e formas de atuação e avaliação que estão disponibilizados para arquitetos, engenheiros e urbanistas que pretendem se organizar e desenvolver esforços na busca de processos de desenvolvimento de bacias hidrográficas urbanizadas mais sustentáveis.

A metodologia para a análise de dados, a ser utilizada na proposição de parâmetros sustentáveis de desenho, apresentada através de um roteiro metodológico, detalhando desde o processo de coleta de dados até a definição das medidas alternativas utilizadas no trabalho, foi executada de forma que permita a reprodução ou adaptação dos resultados.

Considerando a disponibilidade e a qualidade dos dados para a execução do trabalho, o estudo de caso disponibiliza uma visão limitada das condições de permeabilidade do solo do Município de Porto Alegre e de Lindolfo Collor, mas, ao mesmo tempo, esclarece os aspectos quantitativos que compõe cada uma das situações.

5.2 – CONCLUSÕES GERAIS

Para a análise de comparação entre os objetivos propostos e os resultados alcançados são trazidos do Capítulo 1 a transcrição desses objetivos.

O objetivo geral proposto no início do trabalho é a discussão sobre a necessidade do desenvolvimento de formas de integrar medidas alternativas de controle pluvial às características de desenho urbano atualmente adotadas.

Para a avaliação dos resultados obtidos frente ao objetivo proposto inicia-se com as questões teóricas e conceituais sobre medidas de desenvolvimento sustentável a serem consideradas.

A proposição da discussão sobre as medidas no estudo alerta sobre a importância da consideração de aspectos ambientais nos processos de desenvolvimento. O estudo propõe que essa consideração se dê através da análise de conceitos de sustentabilidade.

De acordo com o capítulo 2, pode-se afirmar que a sustentabilidade deve incorporar uma dimensão morfológica do ambiente construído. Esta deixa de ser uma variável e passa a ser um parâmetro ou medida alternativa de controle na fonte do sistema, ou seja, cada empreendimento deve ser auto-sustentável com relação à drenagem urbana.

Neste sentido, a discussão sobre a variável superfície impermeável, que mede aspectos diferentes na natureza ou no enfoque, disponibiliza exemplos e permite o debate de formas de avaliação do desenvolvimento do sistema de drenagem.

Apesar da tentativa de avaliação da capacidade de reserva dos processos em desenvolvimento no sistema de drenagem, a variável, em função da falta de informações do conjunto (como topografia, por exemplo), não é suficiente para tal, apesar de representar um avanço nessa direção.

Do estudo de caso, conclui-se que o armazenamento é o principal parâmetro que deve ser considerado em planejamento urbano. Este pode ser de modo individual (localizado no espaço privado) ou ter porte para receber água proveniente de todo um loteamento (localizado em espaço público).

Em Porto Alegre, observou-se a necessidade de armazenar água em reservatórios individuais, instalados em prédios comerciais e residenciais, já que a área analisada encontra-se consolidada e não apresenta espaço físico suficiente para um armazenamento de caráter coletivo.

Já no caso de Lindolfo Collor, a exemplo do que ocorre em áreas menos densificadas, a situação analisada foi inversa, havendo possibilidade de armazenamento em área equivalente a de um parque público. Esta situação é mais favorável uma vez que cidades em fase inicial de desenvolvimento podem incorporar índices de drenagem em seus planos diretores.

Quanto aos resultados obtidos em relação a identificação de parâmetros sustentáveis de desenho, o estudo apresenta uma série de medidas alternativas de controle pluvial úteis em estudos de quantificação de aspectos de drenagem urbana e interpretação de informações ambientais em geral.

O estabelecimento de parâmetros propiciou uma perspectiva maior para o estudo em análise, entretanto, nada impede que recuos de ajardinamento sejam executados com materiais impermeáveis desde que sejam executadas obras de retenção pluvial.

Outro aspecto que merece atenção é que os indicadores como a densidade e taxa de ocupação devem levar em conta o uso a que se destina o solo, podendo estar embutidos em um índice de impermeabilização. Desse modo, o rol de parâmetros sustentáveis de desenho não pretende ser definitivo e sim parte de uma sugestão.

Em síntese, os resultados referentes à metodologia proposta e aos resultados da avaliação dos parâmetros sustentáveis de desenho disponibilizaram uma análise crítica e um repertório de medidas e conceitos aos municípios que, empenhados na melhoria de suas condições de drenagem, podem estabelecer fóruns de discussão de seus processos de desenvolvimento.

5.3 – SUGESTÕES PARA PESQUISAS

O desenvolvimento de estudos que tratam de parâmetros de desenho em escala urbana e regional não necessitam de defesa quanto à sua pertinência em centros de estudos e pesquisas. A especificidade com o qual esse tema foi abordado, com a introdução de aspectos de drenagem urbana na

proposição de um desenvolvimento sustentável mostra-se atenta às tendências atuais de pesquisa nesse campo.

A análise dos resultados obtidos a partir dos esforços imprimidos na pesquisa e na elaboração dessa dissertação frente aos objetivos propostos, por um lado indica um nível razoável de satisfação, e por outro tem a capacidade de apontar pontos que merecem ser considerados com possibilidades de maior desenvolvimento.

Como o tema abordado neste trabalho possibilitou a discussão da pertinência referente aos aspectos hídricos a serem incluídos no desenho urbano, as sugestões para pesquisas futuras podem ser divididas em dois grupos: as referentes às informações utilizadas e as referentes aos parâmetros de desenho adotados.

Quanto às informações, para uma avaliação satisfatória da sustentabilidade dos processos urbanos e hidrológicos é importante salientar a falta de adequada cobertura planialtimétrica da área.

O desenvolvimento de mais métodos alternativos de controle na fonte do sistema de drenagem poderiam ser quantificados em suas reais capacidades e são úteis para a representação do desenvolvimento sustentável.

Cabe ainda ressaltar que, na produção e na consideração de informações, deve ser buscada a coerência entre os dados e as identidades culturais e as linguagens de cada local, considerando-se aquilo que poderia ser definido como a malha urbana existente.

Quanto aos novos esforços de pesquisa em relação ao emprego e ao desenvolvimento de parâmetros sustentáveis de desenho, a consideração da quantificação da superfície impermeável assim como o devido zoneamento se tornam necessários.

Todo e qualquer estudo no sentido de permitir uma melhor avaliação das áreas ou zonas de impacto decorrente de falhas no sistema de drenagem ou da eficiência produzida em alguns municípios é de grande importância para o alcance de processos de desenvolvimento com bases mais sustentáveis.

Cabe destacar que importante são as tendências evidenciadas pelo estudo e não as situações específicas que envolvem determinados tipos de medidas alternativas de controle pluvial que podem resultar em equívoco referente ao tratamento dos dados.

Por último, a dissertação pretende servir como elemento de alerta para as cidades exercitarem-se no debate sobre o tema: “A necessidade de reserva de área para o armazenamento de água no início do crescimento urbano”, procurando dessa maneira uma definição de seus processos individuais de avaliação.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU FILHO, S. B. *Estudos para reformulação do 1º Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre: dispositivos de controle das edificações*. Porto Alegre: UFRGS: PMPA, 1996.
- ACIOLY, Cláudio ; DAVIDSON, Forbes. *Densidade urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana*. Rio de Janeiro: Mauad, 1998.
- ACSELRAD, Henri. Discursos da sustentabilidade urbana. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, n.1, p.79-90, 1999.
- ALVA, Eduardo N. *Metrópolis (in)sustentáveis*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.
- ANTONIE, Louis H. Drainage and best use of urban land. *Public works*, n.95, p.88-90, 1964.
- APLEYARD, Donald; JACOBS, Allan. Hacia un manifiesto por el diseño urbano. *Ciudad y territorio*: n. 59-60, jan-jun, 1994.
- ARNOLD, C.C. ; GIBBONS, C.J. Impervious Surface Coverage: the emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association*, Spring, v.62, n.2, p.243-258, 1996.

- BAYLISS, Duncan; WALKER, Gordon. Environmental Monitoring and planning for sustainability. *Environmental planning and sustainability*. New York: John Wiley, 1996. 381p.
- BEMFICA, Daniela. Legislação aplicada ao planejamento da drenagem urbana. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) *Avaliação e controle da drenagem urbana*, Porto Alegre:Ed, ABRH, v. 2, p.479-485, 2001.
- BRASÍLIA. Congresso Nacional. *Estatuto da cidade*: lei nº 10.257 de 10/07/01. 1ª. ed. Porto Alegre: Crea-RS, 2001. 70 p.
- CAMPBELL, Scott. Green Cities, growing cities, just cities? Urban planning and contradictions of sustainable development. *Journal of the American Planning Association*, Spring, v. 62, n.3, p.296-318, 1996.
- DUNNE, Thomas ; LEOPOLD, Luna B. *Water in environmental planning*. São Francisco W. H. Freeman, 1978.
- ELIAS, Eduardo de Oliveira. *Escritura urbana: invasão da forma, evasão do sentido*, São Paulo, Perspectiva, 1989.
- GENZ, F. *Parâmetros para a previsão e controle de cheias urbanas*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1994. (Dissertação de Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.
- GOMES, Luiz Vidal Negreiros. *Desenhismo*. Santa Maria: Ed. da Universidade Federal de Santa Maria, 1996.
- HARBOR, J.M. A practical method for estimating the impact of land use change on surface runoff, groundwater recharge and wetland hydrology. *Journal of American Planning Association*, Chicago, v. 60, n.1, p. 95-108, 1994.

- HOUGH, Michael. *Cities and natural process*, London : Routledge, 1995. Cap. 2: Water, p.33-96.
- IBAMA. *Novo código florestal: lei federal nº 4.771 de 15/09/65*. Porto Alegre: SUPES-RS.
- LE CORBUSIER. *Carta de Atenas*. São Paulo: Hucitec - Edusp, 1993.
- MENEGAT, R. ; PORTO, M. L. ; CARRARO, C.C. ; FERNANDES, L.A.D. *Atlas ambiental de Porto Alegre*. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1998.
- MORENO, A. Possibilidades metodológicas de aplicação de indicadores ambientais a nível municipal. *Revista de Estudos Ambientais*, Blumenau, v.1, n.1, p.77-95, 1999.
- NETO, Ana Paula Faria. *Sustentabilidade urbana*. Porto Alegre: UFRGS, 1999. (Teorias da Urbanização) - Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.
- POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.5, n.1, p.15-23, jan./mar., 2000.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. *Plano diretor de desenvolvimento urbano de Porto Alegre - 1. PDDU: lei complementar nº 43 de 21/07/79 com alterações posteriores*. 4ª. ed. Porto Alegre: Corag, 1994. 428 p. il.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. *Plano diretor de desenvolvimento urbano ambiental de Porto Alegre – 2. PDDUA: lei complementar nº 434 de 01/12/99 com atualizações até 31/03/2001*. 1ª. ed. Porto Alegre: Corag, 1999. 165 p. il.

- QUADRI, Gabriel. Políticas ambientais para uma cidade sustentável. In: ALVA, Eduardo Neira. *Metrópoles insustentáveis*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997. p.133-136.
- SANGARÉ, Issa Bakary. *Évaluation de quelques conditions de "durabilité" de l'assainissement urbain: les cas de Tours*. In: Novatech, Lyon, p.173-179, 1998.
- SILVA, N.L.A. da; MENEGAT, R. Atlas ambiental de Porto Alegre: *a busca do desenvolvimento sustentável em ambientes urbanos*. Porto Alegre. Ed. da Universidade/UFRGS, 1998.
- SILVEIRA, A.L.L. A história da drenagem. *Revista Rio-Águas*, Rio de Janeiro, p.9-13, out./nov. 1999.
- SPIRN, Anne Whiston. *O jardim de granito: a natureza e o desenho da cidade*. São Paulo: Edusp, 1995. 345p.
- TASSI, R. *Efeito dos microreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana*. Dissertação de Mestrado, PPGRHSA, IDH/UFRGS, 2002.
- TUCCI, C.E.M. *Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol.2, n.2, jul-dez, 1997.
- TUCCI, C.E.M. ; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: *Drenagem urbana*, Porto Alegre: Ed. da Universidade/ UFRGS, 1995.
- TUCCI, C.E.M. ; PORTO, R.L. Storm hydrology and urban drainage. In: *Urban drainage in humid tropics*. Paris: UNESCO, 2001. p.69-102.

WALESH, S.G. Integration drainage with the public and the government officials in urban water planning. In: *HYDROPOLIS: the role of water in urban planning*. London: Hoech, 1999.