

ANÁLISE PRELIMINAR DAS MODIFICAÇÕES TEMPORAIS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUA INTERFERÊNCIA NA DRENAGEM URBANA: O EXEMPLO DE ILHA SOLTEIRA

Thiago Garcia da Silva Santim¹ & Jefferson Nascimento de Oliveira²

RESUMO --- Neste trabalho é quantificado a influência do desenvolvimento da urbanização na rede de drenagem urbana da cidade de Ilha Solteira por meio da evolução histórica do coeficiente de escoamento superficial (*runoff*). Assim, o trabalho foi dividido em três fases. Na primeira fase, com o intuito de adequar o estudo às necessidades reais do gerenciamento urbano, é abordada a hidrologia urbana, as novas tendências no controle do escoamento superficial e os problemas e dificuldades encontrados pelos planejadores urbanos. A segunda fase consiste no levantamento de dados e informações históricas sobre o uso e ocupação do solo da cidade desde a sua construção, em 1970, até o ano de 2006. Por fim, na última fase, são demonstrados os resultados obtidos elucidando os conceitos abordados na primeira fase, além de fornecer subsídios e ferramentas para simulações de projeções futuras sobre o desenvolvimento da cidade e de como será a relação entre o desenvolvimento urbano e o escoamento superficial. Possibilitando a integração entre planos diretores, conciliando interesses conflitantes e permitindo ainda estudos relacionados ao aspecto qualitativo, transcendendo a simples análise quantitativa do escoamento superficial.

ABSTRACT --- In this work the influence of the urban development is quantified in the urban drainage pattern in the city of Ilha Solteira through the historical evolution of the runoff coefficient. Like this, the work was divided in three phases. In the first phase, with the intention of adapting the study to the real needs of the urban administration, the urban hydrology is approached as well as the new tendencies in the control of the superficial drainage and the problems and difficulties found by the urban planners. The second phase consists in the obtaining of data and historical information about the use and occupation of the city's surface from your construction, in 1970, until the year of 2006. Finally, in the last phase, the obtained results are demonstrated elucidating the concepts approached in the first phase, besides supplying subsidies and tools for simulations of future projections above the development of the city and of as it will be the relationship between the urban development and the superficial drainage. Making possible the integration among master plans, reconciling tuneless interests and allowing studies related to the qualitative aspect, transcending the simple quantitative analysis of the superficial drainage.

Palavras-chave: Drenagem urbana, impactos da urbanização, Ilha Solteira.

1) Aluno do Departamento de Engenharia Civil – UNESP – Faculdade de Engenharia – Ilha Solteira, Av. Brasil, 56, Ilha Solteira, SP, 15385-000. E-mail: tgssantim777@yahoo.com.br.

2) Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil – UNESP – Faculdade de Engenharia – Ilha Solteira, Av. Brasil, 56, Ilha Solteira, SP, 15385-000. E-mail: jeffno@dec.feis.unesp.br.

1 – INTRODUÇÃO

O crescimento populacional acelerado dos centros urbanos nas últimas décadas, somado à falta de planejamento para o desenvolvimento das cidades e ao descaso da sociedade na preservação dos recursos naturais têm resultado em alterações nos meios físicos e biológicos, influenciando diretamente nas variáveis hidrológicas.

Condizente com este quadro tem-se o modelo de urbanização brasileiro cuja característica principal é a impermeabilização dos espaços sem considerar as mudanças subsequentes no micro clima local e no ciclo hidrológico.

Estas alterações condicionam as precipitações convectivas a um regime irregular de distribuição e frequência, no qual apresentam intensidades maiores para durações cada vez menores. Tais fatores são mais agravantes em áreas cujo sistema de drenagem é deficiente pela imprudência ou pelo desconhecimento da hidrologia urbana e do controle dos parâmetros urbanos.

A hidrologia urbana é o estudo das interferências antrópicas nas variáveis hidrológicas. A falta de informações sobre o comportamento destas variáveis nas cidades, bem como dos parâmetros urbanos, como ocorre na maioria das cidades brasileiras, não permite aos planejadores urbanos prognosticar os efeitos negativos da urbanização e por consequência implementar medidas de controle que mitiguem os impactos negativos do desenvolvimento urbano e promovam o gerenciamento integrado entre os planos diretores. Esta falta de integração afeta diretamente a drenagem urbana que passa a tratar a água como um problema (inundações, desmoronamento, erosões entre outros). Além de considerar a água um vetor de doenças pela carência de saneamento básico, transformando os córregos em condutores de esgoto a céu aberto.

Os projetos brasileiros distorcem a realidade para ajustá-la a modelos que preconizam soluções pontuais em detrimento das soluções areolares. Como exemplo temos os projetos de drenagem desenvolvidos com a filosofia de que a melhor drenagem é a que expulsa a água do local o mais rápido possível, este é um conceito higienista consolidado no início do século passado pelo sanitarista Saturnino Brito. Porém, este princípio acaba transferindo o problema de montante para jusante agravando ainda mais a situação. Fazendo com que as inundações ocorram mais rápido com maior frequência e maior magnitude em diferentes pontos da cidade. Segundo Canholi (2005) estas soluções convencionais tornam-se mais deletérias, quanto ao potencial de provocar inundações do que a própria impermeabilização da bacia.

Em contrapartida, nos países desenvolvidos o entendimento da drenagem urbana como um sistema multidisciplinar vem sendo desenvolvido desde a década de 70, em decorrência da crescente necessidade de conhecimento das relações freqüentemente conflitante entre o trinômio: cidade, sociedade e ciclo hidrológico. Esta necessidade fez com que a ênfase nas questões de

drenagem urbana se concentrasse na qualidade da água coletada. Uma nova concepção que promoveu as soluções não estruturais, não convencionais e obras de impacto zero. Práticas eficazes no controle das inundações, pois proporcionam o retardamento dos escoamentos de forma a propiciar o aumento dos tempos de concentração e a consequente redução nas vazões máximas, bem como amortecer os picos e reduzir os volumes de enchentes por meio da retenção em reservatórios e melhoria das condições de infiltração (princípio conservacionista ou de reservação).

De acordo com Canholi (2005), o processo evolutivo das obras de detenção em centros urbanos pode ser demonstrado pela Figura 1.

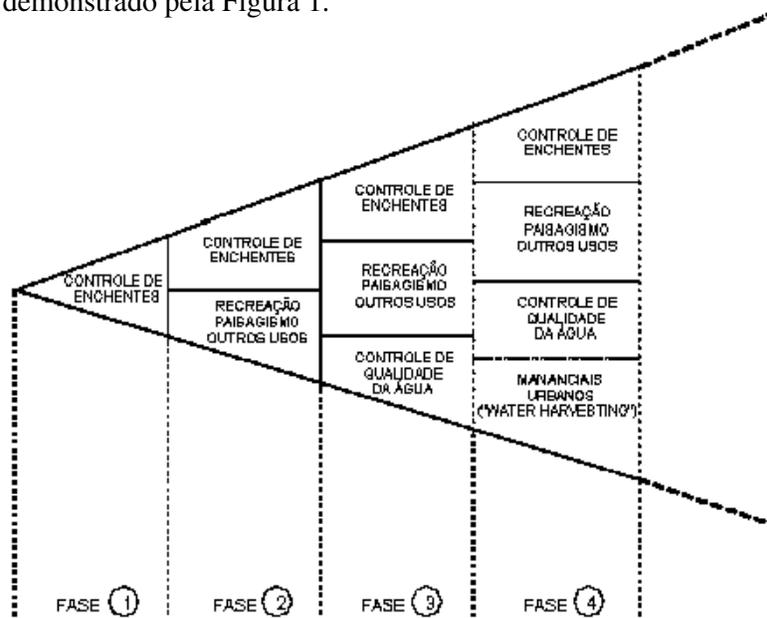


Figura 1 – Evolução da utilização de obras de detenção em centros urbanos (Walesh, 1989 e Usepa, 1999 *apud* Canholi, 2005).

No limite entre as fases 1 e 2 desta tendência está o Brasil, onde a ênfase nas questões de drenagem urbana ainda se concentra no controle quantitativo das enchentes.

Tucci (2000) destaca que a diferença entre controlar o impacto da urbanização antes do desenvolvimento da bacia e após a sua ocupação é tão grande que a maioria dos municípios não têm condições econômicas para controlar neste último estágio. Todavia o controle preventivo somente poderá ser realizado prognosticando os impactos potenciais e simulando medidas de controle possíveis. Assim será feita a avaliação de sua eficácia em todo o sistema urbano além da aceitação por parte da comunidade. Para que por fim estas soluções venham a ser incorporadas ao planejamento da cidade, com a premissa de minimizar custos e prejuízos futuros para a população, meio ambiente e órgãos gestores da água, promovendo a continuidade do ciclo hidrológico dentro de bases sustentáveis tanto para a cidade quanto para o meio ambiente.

Neste contexto destaca-se a importância de promover estudos que avaliam os efeitos da urbanização em bacias de pequeno porte, sendo este o objetivo precípua deste trabalho que

quantificou a influência da urbanização sobre a rede de drenagem urbana de Ilha Solteira por meio do coeficiente de escoamento superficial (C) ou coeficiente de *runoff*.

O coeficiente de *runoff* tem um valor adimensional, pois relaciona o volume escoado superficialmente com o volume precipitado que o deu origem. Portanto é obtido levando-se em consideração a área e a permeabilidade da bacia em decorrência do uso e ocupação do solo. Este coeficiente é uma das variáveis da fórmula racional, utilizada para os projetos de drenagem em bacias de pequeno porte (menores que 2 km²), pois a precipitação é considerada constante em todo o processo. Daí nota-se a importância da análise do comportamento do coeficiente de *runoff* em uma bacia em processo de urbanização. E sendo a estância turística de Ilha Solteira uma cidade nova e com o processo de urbanização em seus primórdios, ela torna-se interessante para este tipo de estudo. Pois, além de apresentar características pouco avaliadas nas pesquisas brasileiras, que voltam o escopo dos seus estudos para as bacias de grande porte cujo processo de urbanização já se encontra em um estágio bastante avançado, a cidade possui a mesma rede de drenagem do projeto inicial. Assim, as dimensões atuais foram projetadas com base em parâmetros urbanos que não representam mais as condições hodiernas do núcleo urbano no que diz respeito ao uso e ocupação do solo.

Esta análise possibilitará a realização de projeções futuras sobre o desenvolvimento da cidade, fornecendo subsídios para uma abordagem multidisciplinar dos efeitos provenientes da urbanização.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

O estudo das cidades torna-se cada vez mais difícil à medida que o processo de urbanização segue modelos sem diretrizes e sem o controle dos parâmetros urbanos e das variáveis hidrológicas.

Esse processo predatório de ocupação pode ser visto por todo o Brasil em todas as suas fases, desde os seus primórdios, quando as mazelas não possuem proporções agravantes, até os casos das grandes metrópoles, onde as pequenas mazelas tornam-se problemas de grandes proporções, deletérios à condição de vida da sociedade e à própria cidade. Segundo Tucci (2000) a solução para estes problemas torna-se gradativamente mais difícil, tanto pelo aspecto econômico quanto pelo social, conforme o desenvolvimento da cidade.

Para propor soluções adequadas às deficiências do processo de urbanização preconizado no Brasil, estudos sobre a hidrologia urbana, análise da eficácia dos sistemas de drenagem, comportamento da população e controle do uso e ocupação do solo devem ser priorizados. Para que assim, o tempo perdido em um processo anacrônico seja compensado e o meio no qual a cidade foi inserida seja recuperado, proporcionando à sociedade condições adequadas de vida.

Nesta primeira fase do trabalho, com a premissa de voltar o escopo dos estudos às novas metodologias multidisciplinares e multifinalitárias, foi feito o embasamento teórico, seguindo a métrica proposta por Tucci (2001), demonstrada na Figura 2.

Conforme a figura apresentada, os passos 2, 3 e 4 pertencem ao campo da hidrologia, enquanto o passo 1 situa-se no contexto sócio-econômico da região e o passo 5 refere-se à fase de projeto das obras a serem implantadas na bacia. Assim torna-se imprescindível a análise de fatores como: micro clima, precipitações, hidrologia urbana, uso e ocupação do solo, escoamento superficial e medidas de controle.

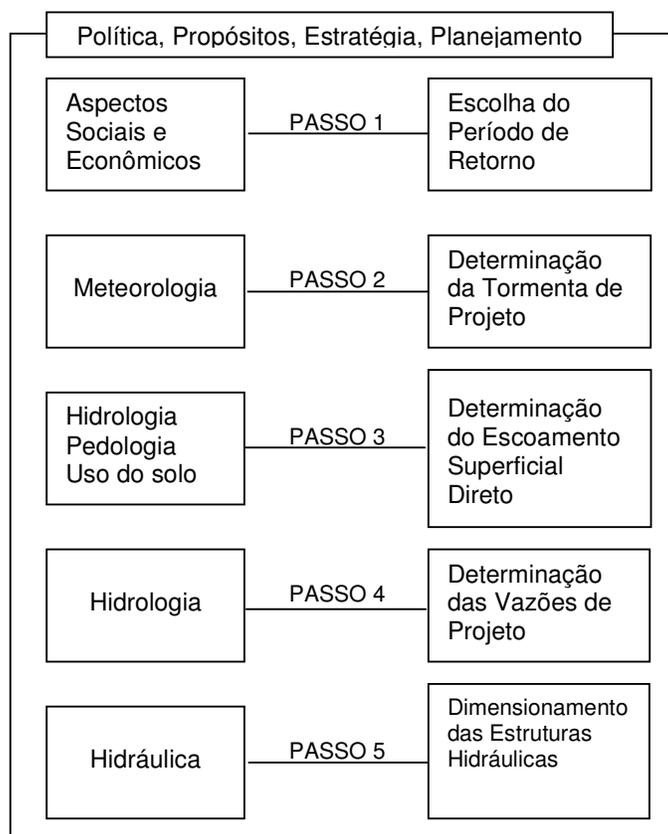


Figura 2 – Metodologia de projeto para a elaboração das obras de drenagem urbana (Tucci, 2001)

2.1 – Micro clima e precipitações

Villela (1975) destaca que o clima, feição característica e permanente do tempo em uma região, influi diretamente nas variáveis que descrevem os fenômenos hidrológicos: precipitação, infiltração e evapotranspiração. Devido a isto os estudos das alterações no micro clima local tornam-se necessários, pois como afirma Tucci (1995), estas variáveis são importantes na elaboração de projetos e no gerenciamento dos sistemas de drenagem urbana. De acordo com Tucci (2000), o aumento de temperatura proveniente do acréscimo de áreas impermeáveis resulta em uma maior evapotranspiração e conseqüente aumento nas perturbações atmosféricas, o que altera o regime das chuvas como elucidado pela Tabela 1.

Tabela 1 – Alterações de parâmetros climáticos devido à urbanização (Tucci, 2001)

Elemento	Variação em relação à área rural
Precipitações totais	de 5 a 10% maior
Temperatura do ar	de 0,5 a 10% maior
Umidade relativa	de 2 a 8% maior
Nebulosidade	100% maior

Tucci (2000) atenta que as alterações dos regimes das chuvas têm importância relevante na drenagem urbana, pois esta é a principal variável no estudo do escoamento superficial. Portanto, torna-se fundamental conhecer das precipitações os tipos, intensidades, durações, frequências, distribuições, formas de medições e análise dos dados. Para que seja possível a análise do comportamento destas precipitações ao longo dos anos.

As chuvas para a análise hidrológica podem ser classificadas em três tipos: ciclônicas, orográficas e convectivas. Sendo este último tipo o mais importante para a elaboração e manejo de projetos em áreas urbanas em virtude das suas características e do seu processo de formação.

De acordo com Vianello (2000), as precipitações convectivas são as chuvas extremas locais de grande intensidade e curta duração que caem em pancadas acompanhadas, em geral, de trovões, descargas elétricas, granizo, ventos fortes, súbitas variações de temperatura e ocasionalmente, tornados. Ainda segundo o mesmo autor, para que o processo de formação de uma chuva convectiva se inicie, é necessário que haja intensas correntes de convecção de ar quente e úmido. Este mecanismo de convecção, subida do ar menos denso e da descida do ar mais denso, é iniciado pelo aquecimento superficial.

Em virtude deste processo de formação, regiões com altos índices de impermeabilização provocam um reforço no processo convectivo, possibilitando a aparição de um maior número de células pluviosas aumentando não somente o volume precipitado, mas também as intensidades máximas à medida que as durações diminuem, conforme afirma Tucci (2000).

Vianello (2000) ainda ressalta que o total precipitado pode chegar a 500 mm em apenas uma hora. Esta elevada intensidade para uma duração tão curta, acarreta em sérias catástrofes nas áreas cujo sistema de drenagem é deficiente.

2.2 – Hidrologia urbana e uso e ocupação do solo

Como visto no item anterior, as alterações nos parâmetros de uso e ocupação do solo influenciam nas variáveis hidrológicas. Para Lazaro (1990), esta interação entre os processos hidrológicos com os ambientes afetados pela urbanização é a definição de hidrologia urbana.

Canholi (2005) afirma que conhecer a hidrologia urbana, ou seja, entender o sistema multidisciplinar de inter-relações entre as variáveis hidrológicas e os parâmetros urbanos, permite

ao engenheiro compreender os efeitos que a evolução da urbanização causa, podendo assim elaborar soluções mais eficientes, eficazes e econômicas para a problemática da drenagem urbana.

Para tanto é essencial o monitoramento das variáveis hidrológicas e das características de uso e ocupação do solo. De acordo com Santos *et al* (2001) obter dados sobre as variáveis hidrológicas e meteorológicas é essencial para conhecer as características da região e possibilitar a utilização de modelos matemáticos que permitem prever chuvas e ou vazões dentro do período de retorno admitido. Assim o dimensionamento e funcionamento satisfatório dos sistemas de drenagem em bacias urbanas também estão intrinsecamente relacionados à estimativa adequada dos parâmetros de uso e ocupação do solo do modelo adotado, conforme expõe D’Almeida (2004).

Assim, Tucci (1995) conclui que à medida que a urbanização promove a compactação, impermeabilização e a remoção da cobertura vegetal do solo, o volume que antes escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pela vegetação, favorecendo a infiltração e a recarga dos aquíferos, passa a escoar pelos condutos da drenagem pluvial. Procedimento que resulta no aumento do volume escoado e na redução do tempo de concentração da bacia e do tempo de retorno da vazão, exigindo uma maior capacidade de escoamento das seções transversais dos cursos naturais. Este processo é responsável por alterações que culminam no aumento das freqüências e da magnitude das cheias dos rios urbanos, intensificando processos erosivos e de assoreamento e provocando prejuízos e transtornos à população e aos órgãos gestores da água em decorrência das enchentes.

2.3 – Escoamento superficial

Segundo Villela (1975), o escoamento superficial é a fase básica do ciclo hidrológico mais importante para o engenheiro, pois trata da ocorrência e transporte da água na superfície terrestre. Ainda segundo o mesmo autor, os fatores que influenciam no deflúvio, além dos já supracitados: clima, precipitações e uso e ocupação do solo; tem-se também a capacidade de infiltração e declividade da bacia e as obras hidráulicas existentes.

Conforme Tucci (2001), o escoamento superficial é caracterizado pela variável vazão (Q), volume escoado pela unidade de tempo, sendo esta a principal grandeza que representa o deflúvio e a principal informação no gerenciamento da drenagem urbana. O coeficiente de escoamento superficial (C) ou coeficiente de *runoff* é a segunda grandeza que caracteriza o deflúvio. O coeficiente de *runoff* é obtido pela relação entre o volume escoado e o volume precipitado que o deu origem, levando-se em consideração as características fisiográficas da bacia e as condições climáticas, tais como a intensidade e duração da precipitação e a chuva antecedente. Ainda têm-se como grandezas que caracterizam o escoamento superficial o tempo de concentração (t_c) e o período de retorno (Tr). O tempo de concentração mede o intervalo de tempo para que toda a bacia

Canholi (2005) enfoca que as medidas não estruturais, em contrapartida às estruturais, visam disciplinar a ocupação territorial e o comportamento de consumo da sociedade e atividades econômicas por meio de ações preventivas: regulamentação do uso e ocupação do solo, educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e lixo; e ou por meio de ações corretivas: seguro enchente, sistemas de alerta e previsão de inundação e construção à prova de enchentes.

O mesmo autor sugere a implantação das medidas estruturais integradas com as medidas não estruturais para que haja uma maximização dos benefícios e uma redução dos custos. Entretanto, esta integração torna-se difícil em virtude da falta de uma análise mais completa da bacia hidrográfica urbana como um todo. Tucci (2000) justifica esta falta de estudos devido a não existência de suporte técnico especializado neste assunto por parte da administração da drenagem urbana, que é feita na maioria das vezes pelos municípios. Situação oportuna à implantação de soluções pontuais com curto prazo de eficácia e, portanto mais onerosas a longo prazo. Mas, o entendimento mais amplo vem tornando o termo drenagem urbana o produto da integração multidisciplinar, ou seja, estendendo o escopo dos estudos para além dos conceitos de engenharia e diretrizes estabelecidas pela política do setor, até ao campo social por meio da educação ambiental, o que acaba proporcionando melhores soluções e de longo prazo. Possibilitando ainda a melhor aceitação da comunidade às novas formas de gerenciamento e controle do escoamento superficial.

Canholi (2005) elucida novas medidas de controle embasadas no conceito conservacionista ou de reservação muito difundido nos países desenvolvidos onde a ênfase da drenagem urbana não está somente no controle quantitativo dos escoamentos, mas também no controle qualitativo. Como produto desta nova visão, tem-se as medidas não convencionais, práticas eficazes tanto nos aspectos relacionados à drenagem urbana quanto nos aspectos relacionados ao meio ambiente. Estas medidas valorizam o visual dos centros urbanos, proporcionam conforto térmico reduzindo o processo de formação das ilhas de calor, garantem a recarga dos aquíferos e em conjunto com as medidas estruturais, permitem o uso múltiplo destas estruturas. Estas medidas ainda preconizam a proteção, recuperação e naturalização de mananciais sujeitos aos impactos da urbanização (obras de impacto zero). Portanto, esta solução é um implemento para as cidades, pois mitigam os impactos negativos da urbanização no ciclo hidrológico e no meio ambiente natural, além de tornar mais eficaz os sistemas de drenagem urbana.

O mesmo autor destaca ainda que para a implantação destas medidas não convencionais deve-se exercer um rigoroso monitoramento dos parâmetros urbanos. Estabelecendo-se assim uma base de dados suficiente para a realização de simulações da influência da urbanização na rede de drenagem, permitindo aos planejadores urbanos monitorar, controlar e prognosticar os efeitos negativos da urbanização.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

A segunda fase do trabalho consiste no desenvolvimento da metodologia de análise e levantamento de dados para subsidiar as simulações.

3.1 – Área de estudo

A cidade de Ilha Solteira foi fundada em 1968 e projetada para abrigar os responsáveis pela realização da segunda etapa do Complexo Hidrelétrico Urubupungá. Localiza-se no extremo noroeste do estado de São Paulo, na margem paulista do Rio Paraná, logo abaixo da confluência com o rio São José dos Dourados, como ilustrado pela Figura 3.

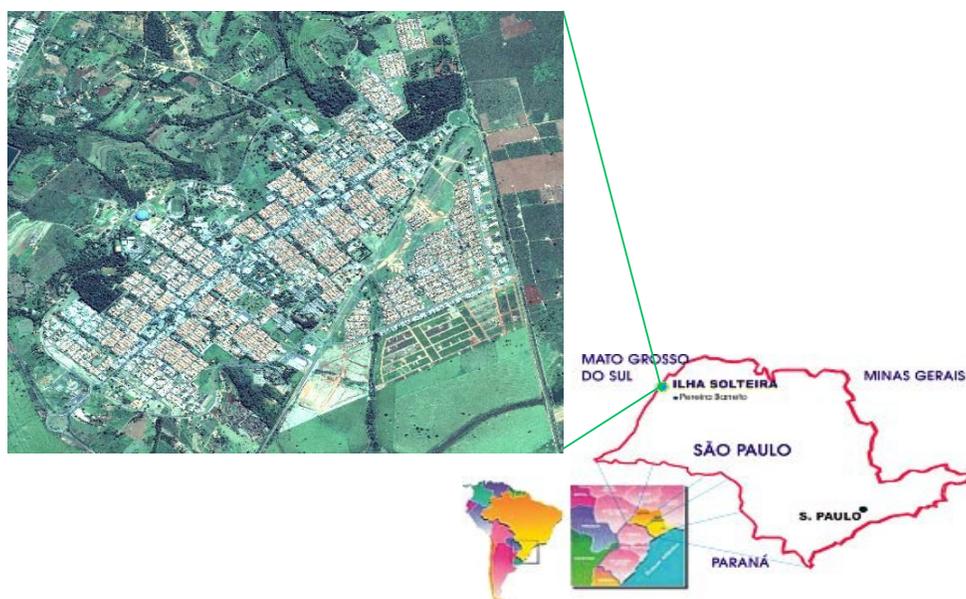


Figura 3: Localização da área de estudo

Atualmente, de acordo com dados do IBGE, conta com uma população de 25.427 habitantes em uma área territorial de 639km² sendo 4,30km² ocupados pela área urbana. O clima da região é o tropical tipo AW, segundo o critério de Köppen, ou seja, chuvas de verão e estiagem de inverno. Apresenta índice pluviométrico em torno de 1300 mm anuais e temperatura média anual de 28°C, com a média das máximas anuais atingindo 31°C.

Referente à infra-estrutura, a cidade manteve as mesmas características do projeto inicial do núcleo urbano. Em especial, destaca-se a rede de drenagem que mesmo após 38 anos de desenvolvimento urbano e a conseqüente alteração dos parâmetros de uso e ocupação do solo utilizados no planejamento da cidade, continua apresentando as mesmas dimensões e as mesmas medidas de controle.

3.2 – Materiais

Para a realização do objetivo deste trabalho, avaliar a influência da urbanização na rede de drenagem de Ilha Solteira, foi necessário obter dados sobre a evolução dos parâmetros urbanos ao longo dos anos. Assim, por meio do levantamento de informações históricas, da análise de mapas e plantas das residências, do estudo de trabalhos anteriores e de imagens de satélite foi possível, com o auxílio de ferramentas computacionais como o Autocad 2000 e as planilhas do Microsoft Excel 2003, executar o detalhamento espacial e temporal do núcleo urbano.

3.3 – Metodologia

Embasado nos conceitos e nas dificuldades elucidadas na primeira fase deste trabalho, e as ajustando ao modelo de análise do impacto da urbanização na quantidade do escoamento superficial, em termos de vazão máxima pelo tempo, proposto por Walesh (1989) foi elaborada a metodologia deste trabalho.

Partindo do pressuposto de que os resultados em termos de vazão seriam obtidos por meio do método racional em simulações, devido a não existência de monitoramento das vazões efluentes do núcleo urbano e, portanto da inexistência de dados, a cidade foi subdividida em 17 setores, como demonstrado na Figura 4.

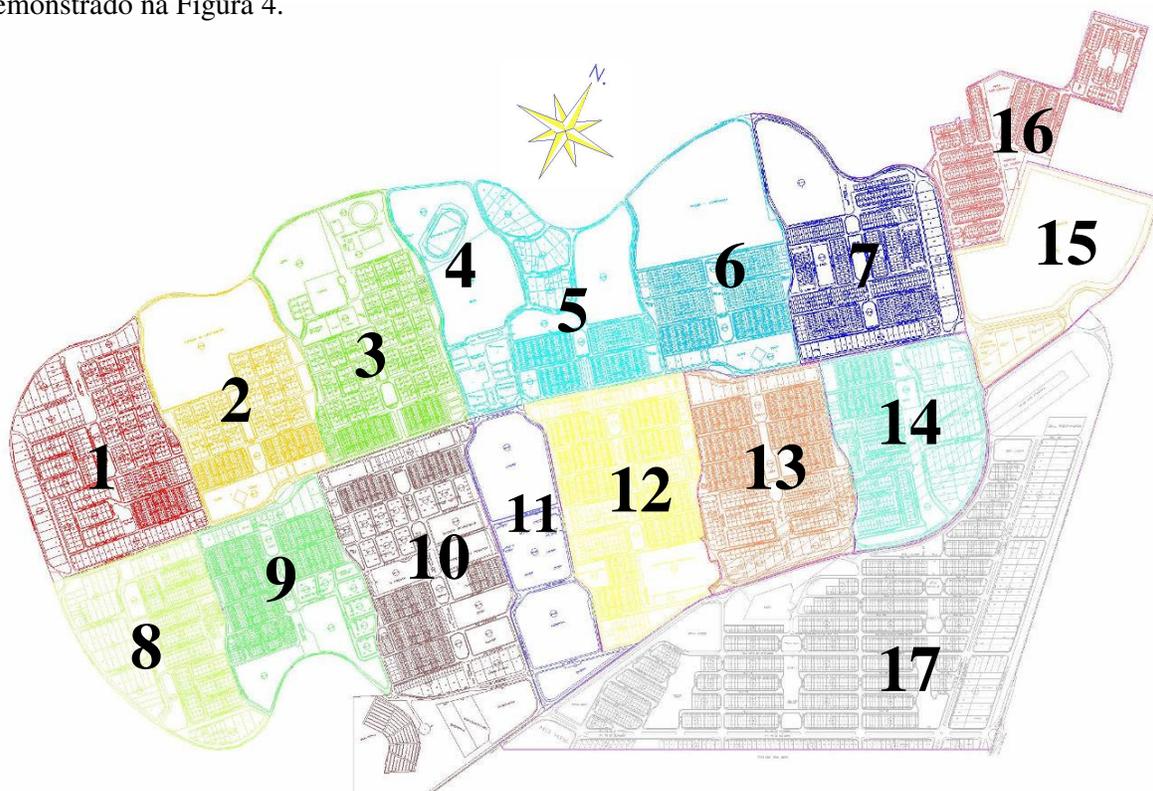


Figura 4 – Setores para o estudo

Esta divisão foi baseada nas características construtivas, pois por se tratar de uma cidade projetada o núcleo principal, do setor 1 ao 14, segue padrões construtivos.

Pelo mapa atual da cidade digitalizado, foi possível determinar a área dos diferentes tipos de uso para cada setor.

Com base nas informações históricas foram definidas as características de ocupação do solo ao longo dos anos. Para cada forma de ocupação do solo, em decorrência do uso, foi atribuído um valor de coeficiente de *runoff* conforme apresentado pela Tabela 2.

Tabela 2 – Coeficiente de *runoff* característico à forma de ocupação do solo

Uso	Forma de ocupação	Runoff (C)
Lotes	Área ocupada por telhados	0,90
	Área livre ocupada por concreto	0,85
	Área livre ocupada por bloquetes	0,80
	Área livre ocupada por piçarra	0,50
	Área livre ocupada por solo exposto	0,38
	Área livre ocupada por grama	0,31
Sistema Viário	Solo exposto (compactado)	0,88
	Piçarra	0,50
	Bloquetes	0,88
	Bloquetes assentados com concreto	0,90
	Asfalto	0,95
	Concreto	0,95
	Concreto com faixas de grama	0,75
	Grama	0,31
Áreas Verdes e Praças	Grama	0,31
	Árvores/Arbustos	0,25
	Solo exposto	0,38
	Pavimento intertravado	0,80
	Concreto	0,85

Os valores do coeficiente de escoamento superficial foram definidos com base nas publicações de Canholi (2005), ABCP (2004) e Wilken (1978) para um tempo de retorno igual a 100 anos, estabelecendo assim, um critério de segurança relativo aos parâmetros urbanos. Para que uma eventual chuva menor que a de projeto não ocasione um escoamento maior do que o esperado, conforme alertava Canholi (2005).

O termo uso refere-se à finalidade designada para uma dada área do espaço urbano. Para esta análise, com base nas informações históricas, lançou-se mão de três finalidades de uso:

- Lotes: áreas reservadas para fins comerciais, institucionais e particulares;
- Sistema viário: compreende a toda área utilizada por ruas, avenidas, alamedas, vielas, calçadas e estacionamentos;
- Áreas verdes e praças: áreas cuja finalidade não é a construção ou estabelecimento de sistema viário.

A terminação ocupação refere-se aos parâmetros que caracterizam a superfície do solo.

A próxima etapa foi definir os anos mais relevantes para a análise. Assim, voltou-se o foco dos estudos, mais uma vez, para os 38 anos de história da estância turística de Ilha Solteira:

- 1970 – neste ano a primeira fase da construção do núcleo urbano estava concluída;
- 1980 – ano em que o núcleo urbano previsto no projeto estava completo e no qual os efeitos das alterações nas residências por parte dos moradores já poderiam ser observados;
- 1990 – criação de novos loteamentos dentro dos limites urbanos estabelecidos no projeto inicial;
- 1996 – primeira expansão além dos limites fixados pelo plano diretor de Ilha Solteira;
- 2006 – ano da realização do estudo.

Por fim, todo este banco de dados descritivo do meio urbano ao longo dos anos foi inserido em planilhas de monitoramento pertinentes a cada setor.

Com a aplicação do método racional para cada forma de ocupação do solo ao longo dos anos em decorrência do uso, foi obtida a vazão máxima gerada para uma precipitação padronizada de tempo de retorno igual a 5 anos, tempo de duração de 10 minutos e intensidade igual a 122,65mm/h. A intensidade desta chuva foi obtida por meio da equação de chuvas intensas para a cidade de Andradina (55 km da área de estudo), equação 2, conforme DAEE (1998).

$$i_{t,T} = 34,5743 \times (t + 20)^{-0,8809} + 2,6906 \times (t + 10)^{-0,6683} \times [-0,4766 - 0,8977 \ln \ln(T / T - 1)] \quad (2)$$

Em que:

- $i_{t,T}$ – intensidade da chuva, correspondente à duração t e tempo de retorno T (mm/min);
- t – duração da chuva (min);
- T – período de retorno (anos).

O tempo de retorno de 5 anos foi admitido em virtude de ser um valor mais representativo das condições hodiernas, visto que o escopo dos estudos está voltado para a discussão da influência da urbanização e não para as vazões máximas de projeto, embora o modelo permita tal simulação.

A duração da chuva foi adotada em consequência da estimativa do tempo de concentração de cada setor ser por volta de 10 minutos. Para tal estimativa foi utilizada a fórmula do *California Culverts Practice*, equação 3. Esta fórmula simplificada é recomendada para o método racional, visto que não há a necessidade de dados topográficos em decorrência da pequena área de drenagem.

$$tc = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (3)$$

Em que:

- tc – tempo de concentração (min);
- Δh – desnível do talvegue (m).
- L – comprimento do talvegue (km);

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A terceira fase do projeto diz respeito à apresentação dos resultados da simulação proposta na metodologia. Em uma primeira apreciação, efetuou-se a simulação para o setor 1, apresentado pela Figura 5. Atualmente, este setor não apresentou alterações no seu limite urbano estabelecido no ano de 1996, como ilustrado abaixo.



Figura 5 – Processo de urbanização do setor 1

Com base na metodologia proposta, foram obtidos os resultados do comportamento da variação do coeficiente de escoamento superficial relativo a cada forma de ocupação peculiar a cada tipo de uso para os lotes, Figura 6, para o sistema viário, Figura 7 e para as áreas verdes e praças, Figura 8.

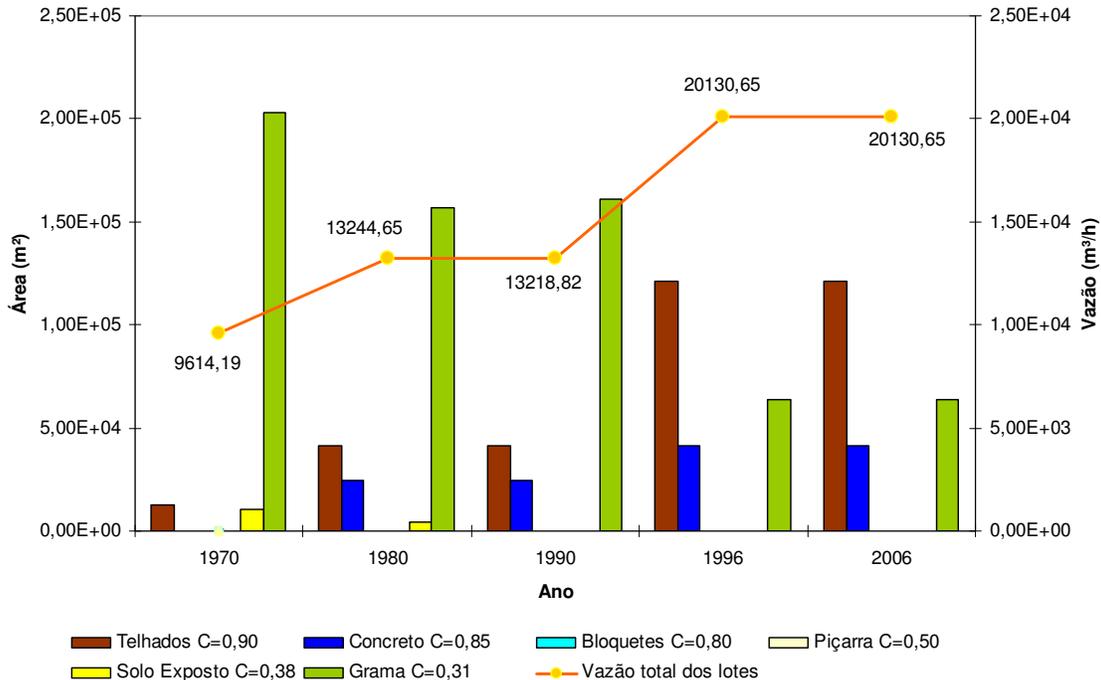


Figura 6 – Comparativo do incremento de vazão relativo ao desenvolvimento da ocupação dos lotes do setor 1 de Ilha Solteira

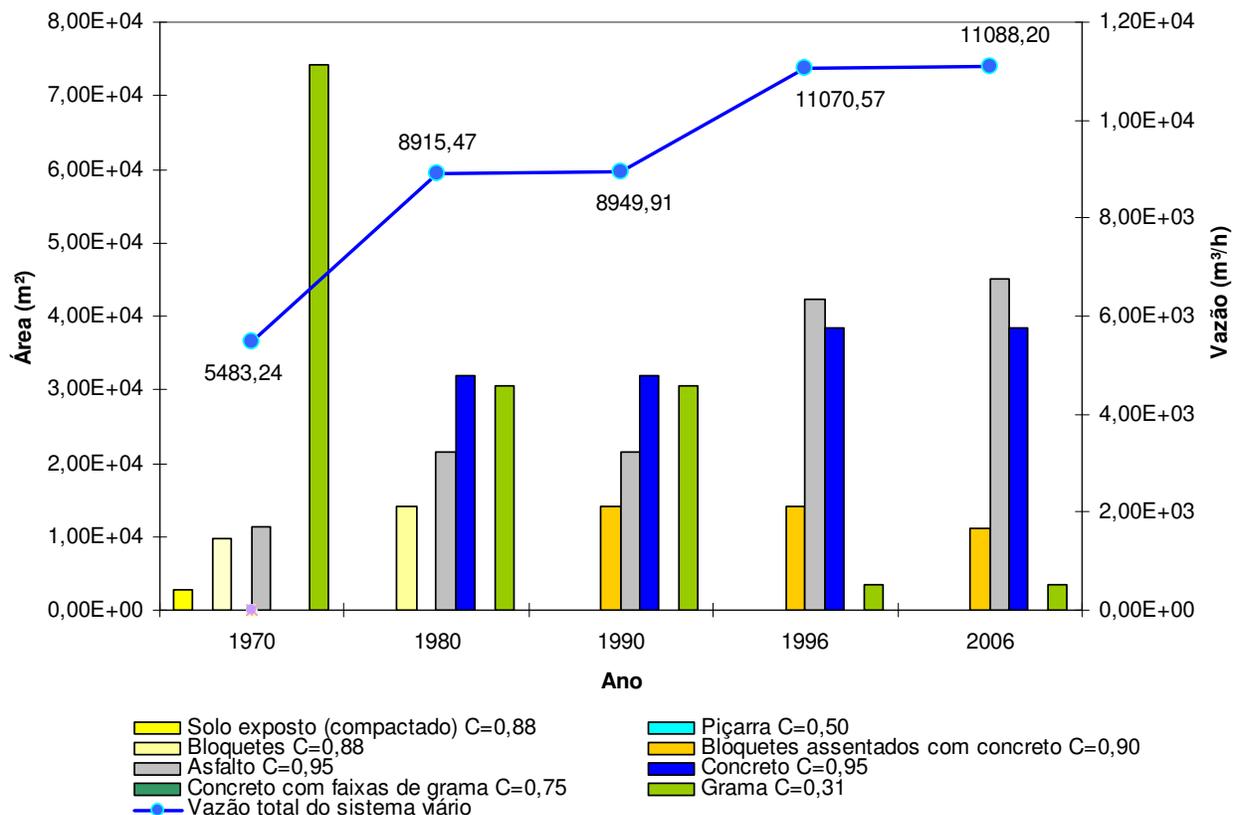


Figura 7 – Comparativo do incremento de vazão relativo ao desenvolvimento da ocupação do sistema viário do setor 1 de Ilha Solteira

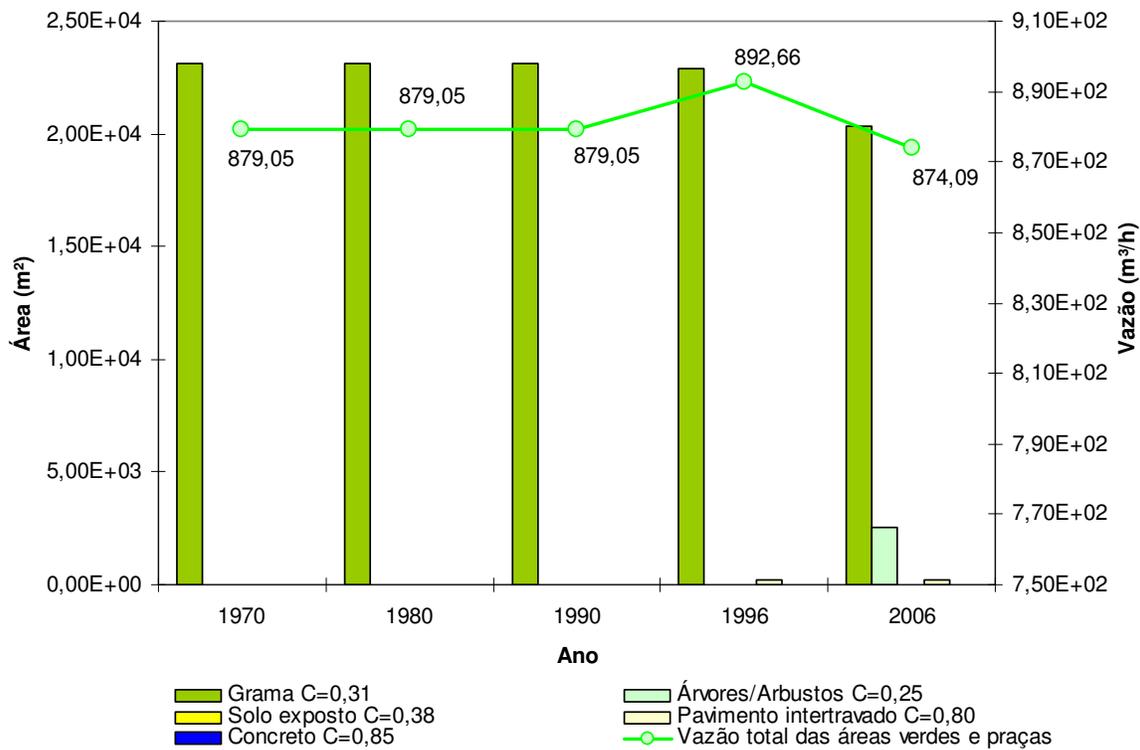


Figura 8 – Comparativo do incremento de vazão relativo ao desenvolvimento da ocupação das áreas verdes e praças do setor 1 de Ilha Solteira

Por fim, a vazão total gerada neste setor para a precipitação de intensidade igual a 122,65 mm/h foi calculada ao longo dos anos abordados, sendo seu resultado demonstrado pela Figura 9.

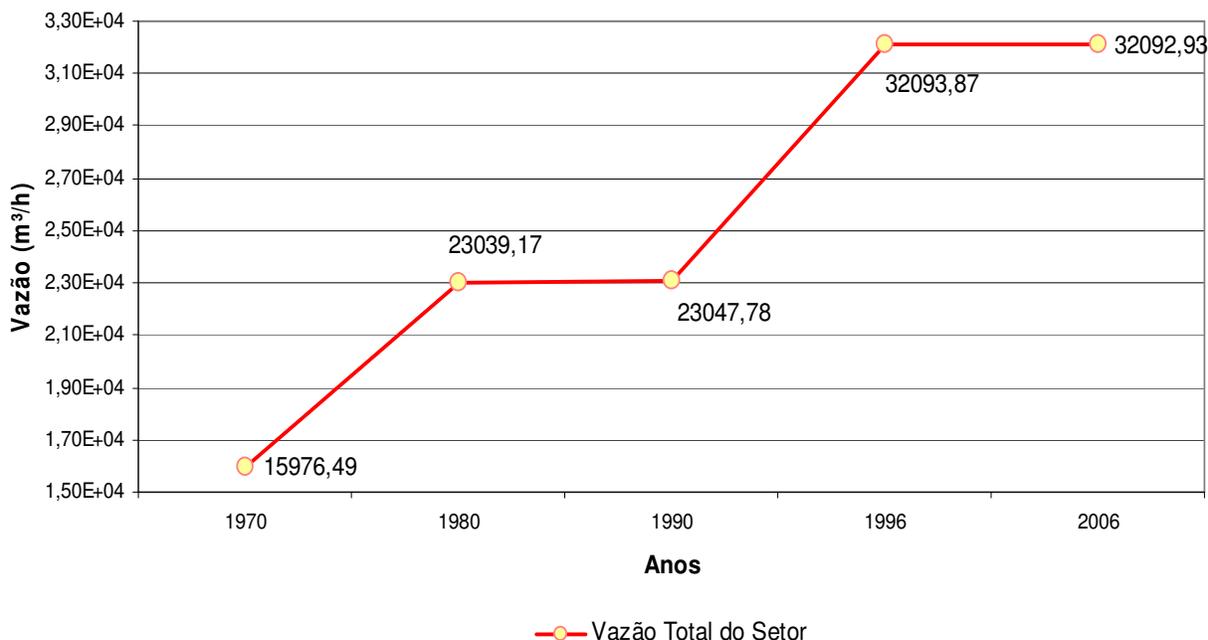


Figura 9 – Histórico da vazão total gerada pelo núcleo urbano do setor 1 de Ilha Solteira

Pela análise fica evidente a interferência dos lotes e do sistema viário, pois a forma de ocupação destes usos é responsável por 97,28% da vazão total gerada pelo setor no ano de 2006.

Por meio do projeto inicial, proposto por Mange e Kato (1967), verificou-se que a rede de drenagem de Ilha Solteira havia sido dimensionada para atender a vazão gerada pela configuração do ano de 1970. Segundo informações da Prefeitura Municipal, não houve alteração da rede original. Assim, admitindo que a vazão suportada pelo sistema seja o deflúvio do ano de 1970, embasado na simulação, pode-se afirmar que o processo de urbanização do setor 1 da cidade de Ilha Solteira implicou em um acréscimo de 4,48 m³/s ou 100,90% além da capacidade de projeto das galerias, para uma chuva de intensidade igual a 122,65 mm/h.

5 – CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, fica evidente a necessidade de medidas de controle, a implantação de redes de monitoramento das variáveis hidrológicas e o controle dos parâmetros urbanos para o adequado conhecimento, entendimento e análise da hidrologia urbana. Pois mesmo sendo Ilha Solteira uma cidade ainda de pequeno porte, já existem problemas como erosões nas áreas de descarga da micro-drenagem na macro-drenagem e degradação dos mananciais. Impactos cuja solução pode promover além do controle do escoamento superficial, o paisagismo no meio

urbano valorizando o aspecto visual de grande importância econômica para a cidade, visto sua categoria de estância turística.

A existência destes problemas nos pontos de descarga evidencia a influência predatória do processo de urbanização que não manteve as considerações predispostas no planejamento inicial da cidade de Ilha Solteira.

Entretanto, admitir como única solução para a problemática apresentada o estabelecimento de legislação que não permita alterações dos parâmetros urbanos, frearia o desenvolvimento econômico e social da cidade. Portanto, promover o monitoramento destes parâmetros e implementar medidas de controle que preconizem soluções não convencionais em conjunto com as medidas não estruturais, possibilitaria o desenvolvimento do meio antrópico dentro de bases sustentáveis tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente natural, buscando gerenciar de forma simbiótica os interesses conflitantes. Sendo este o desafio do novo paradigma da drenagem urbana.

Monitorar a ocupação do solo e simular sua interferência no sistema de drenagem, possibilita aos órgãos gestores da água uma melhor forma de planejar as ações preventivas necessárias ao funcionamento adequado das redes de drenagem. Além de promover a integração entre os planos diretores que regem o desenvolvimento urbano, fazendo com que as ações sejam o produto do consenso multidisciplinar entre todos os segmentos envolvidos, permitindo que elas convirjam para um mesmo objetivo, o desenvolvimento de uma cidade sustentável.

Obter dados sobre as variáveis hidrológicas em quantidade e qualidade suficientes para que as frequências possam ser consideradas como probabilidades em cidades ainda novas, inviabilizam a utilização destes dados para o planejamento de medidas de controle, implementação de políticas de drenagem urbana, mapeamento de áreas críticas e regulamentação do uso e ocupação do solo. Assim sendo, o controle da variação quantitativa das áreas ocupadas por determinado coeficiente de escoamento superficial, adotado para um tempo de retorno seguro, resulta em dados confiáveis e de fácil determinação. Pois obter dados sobre o uso e ocupação do solo é uma solução mais eficaz do que esperar um longo período de tempo para se obter uma base de dados confiável das variáveis hidrológicas.

Além disso, ao processar o monitoramento do uso e ocupação do solo, as prefeituras terão em mãos uma importante ferramenta para o gerenciamento de ações a longo prazo, como o caso dos planos diretores, possibilitando o estabelecimento de diretrizes e legislação de uso e ocupação do solo. Além da formulação de políticas de conscientização da população para aceitar e participar das novas medidas de controle de forma que envolva toda a sociedade na busca por um bem comum, o desenvolvimento de uma cidade sustentável.

Ao especificar as áreas de uso e as formas de ocupação do solo, as prefeituras fixam um horizonte de projeto confiável, que permite aos planejadores urbanos admitir dados confiáveis sobre as projeções futuras e não mais a se basearem em informações imprecisas e que não reflitam a situação real. Pois isto os leva a adotar valores empíricos no processo de dimensionamento dos sistemas de drenagem urbana enquanto que as transformações da cidade conduzirão o projeto ao sub-dimensionamento.

Gerenciar o desenvolvimento urbano embasado nos conceitos de reservação evita o desperdício de água, pois todo o escoamento superficial é o produto da falta de oportunidade para a recarga dos aquíferos. Para tanto, necessita-se de ferramentas de controle dos parâmetros urbanos que permitam a análise como predisposta neste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

ABCP. (2002). “*Introdução aos pavimentos intertravados*”, in *Curso básico – Pavimentos intertravados*. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, pp. 1 – 27.

CANHOLI, Aluísio Pardo. (2005). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos, 302p.

CHÁVEZ, José C. M.(1988). *O processo de produção de habitação popular. Estudo de caso na cidadeacampamento de Ilha Solteira*.São Carlos, 272p.

DAEE. (1999). *Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo*. Convênio DAEE/Usp. Departamento de Águas e Energia Elétrica, Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, 125p.

D’ALMEIDA, Amandio José Cabral Jr. (2002). *Utilização do cadastro técnico multifinalitário no acompanhamento do impacto da urbanização nos sistemas de drenagem pluvial*. Ilha Solteira, 94p.

LAZARO, Timothy R. (1990). *Urban hydrology – A multidisciplinary perspective*. Lancaster, Pennsylvania U.S.A.: Technomic Publishing Company Inc, ed. revis., 239p.

MANGE, Ernest Robert; KATO, Ariaki. (1967). *Planejamento de Ilha Solteira: núcleo urbano*. v.1. São Paulo, 105p.

SANTOS, Irani dos *et al.* (2001). *Hidrometria aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento, 372p.

TOMAZ, Plínio. (2002). *Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais*. São Paulo: Navegar Editora, 475p.

TUCCI, Carlos E. M., (Org.). (2001). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4, 2.ed., 2 reimp. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2001. 943P.

TUCCI, Carlos E. M., (Org.); MARQUES, David M. L. da M. (Org.). (2000). *Avaliação e controle da drenagem urbana*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 558p.

TUCCI, C.E.M., Genz, F. (1995). “*Controle do impacto da urbanização*”, in *Drenagem urbana*. Org. por Tucci, C.E.M., 1ª edição. Porto Alegre – RS: Editora da Universidade/UFRGS, pp.277 - 347.

VIANELLO, Rubens Leite; ALVEZ, Adil Ranier. (2000). *Meteorologia básica e aplicações*. 2ªreimp. 2002. Viçosa: UFV, 449p.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. (1975). *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, 245p.

WALESH, S. G. (1989). “*The hydrologic cycle in the urban environment*”, in *Urban surface water management*. New York, pp. 53 – 75.

WILKEN, P.S. (1978). *Engenharia de drenagem superficial*. 1a edição. São Paulo - SP: CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 478p.