ISSN: 1519-7816 vol. 13 nº 2 jul/dez. 2011 páginas: 16 - 38

ANÁLISE DO EFEITO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DOS SOLOS URBANOS NA DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL DO MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA-MG

Eliane Aparecida Justino[1]
eliane_civ@hotmail.com

Heber Martins de Paula[2]
heberdepaula@hotmail.com

Ed Carlo Rosa Paiva[3]
erpaiva@hotmail.com

Resumo: O aumento de ocorrência de enchentes nas cidades brasileiras nos últimos anos motivou o desenvolvimento deste trabalho, no qual é analisado o efeito do aumento da impermeabilização dos solos urbanos no crescimento do escoamento superficial. Para simular os avanços da urbanização foi escolhida uma bacia hidrográfica na cidade de Uberlândia, pertencente ao Estado de Minas Gerais, sobre a qual foram construídos e analisados quatro cenários de ocupação distintos: pré- urbanização, atual, futuro I e futuro II, sendo o cenário de pré-urbanização considerado como o de referência. As simulações mostraram que para um aumento de 54% de área impermeável, a vazão de pico pode sofrer um aumento de 59,40% sobre a vazão de pico do cenário de pré-urbanização, tornando necessário o uso de medidas alternativas para o controle das cheias, já que, os sistemas de drenagem existentes na bacia não comportam tal acréscimo.
Palavras-chave: Controle de escoamento superficial. Drenagem urbana. Atenuação de vazão de pico.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF SOIL URBAN WATERPROOFING IN THE DRAINAGE OF RAIN WATER IN UBERLÂNDIA-MG

Abstract: The increase of the inundations occurrence in the Brazilian cities in the last years motivated the development of this work, in which the effect of the impermeable urban area increase in the runoff growth is analyzed. To simulate urbanization a watershed was chosen in Uberlândia city, then four different occupation sceneries were analyzed: pre-urbanization, current, future I and future II, being the pre-urbanization scenery the reference scenery. The simulations showed that for an increase of 54% in the index of impermeable area, the peak discharge can suffer an increase of 59,40% on the peak discharge of the pre-urbanization scenery. In the face of those increments, the net pluvial drainage installed showed insufficient to drain the new coming discharge, affirming the need to use alternative measures for the flood control.
Key-words: Runoff control. Urban drainage. Reduction of discharge peak.

[1] Professora do Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás/Campus Catalão.
[2] Professor do Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás/Campus Catalão.
[3] Professor do Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Goiás/Campus Catalão.

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

Introdução

No Brasil, o processo de urbanização acelerada ocorreu após a década de 1960, devido às alterações das relações de trabalho no campo e na cidade, que tiveram como conseqüências o êxodo rural e o crescimento das cidades brasileiras. Mas, infelizmente, o aumento da população urbana e a ampliação das cidades não foram acompanhados do crescimento adequado de toda a infraestrutura urbana, de modo a proporcionar aos habitantes um sistema de saneamento adequado.

Dados do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), do ano 2000, mostraram que o Brasil apresentava uma taxa de população urbana de aproximadamente 82%, próxima à saturação, sendo que 13 cidades já possuíam mais de um milhão de habitantes. Segundo Popclock (2009) a população mundial de nossos tempos já é de 6.789.901.681 habitantes e deverá dobrar até o ano de 2100. Este crescimento populacional é altamente preocupante, principalmente se analisarmos a população urbana separadamente.

Segundo Fontes (2003) o processo de urbanização traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez causam marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração, o que tem como consequência direta a ocorrência de inundações urbanas.

Considerando o ciclo hidrológico da água, este é dividido em oito fases básicas, sendo estas: a precipitação, a interceptação, a evaporação, a evapotranspiração, a infiltração, o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo. Das fases básicas do ciclo hidrológico, um dos componentes mais importantes para dimensionamentos hidráulicos e manejo da bacia hidrográfica é o escoamento superficial. É nesta fase que são tratadas a ocorrência e o transporte da água na superfície terrestre, visto que, boa parte dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento.

Segundo Silva et al. (2005) o escoamento superficial abrange desde o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície terrestre, até o escoamento de um rio, que pode ser

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

alimentado tanto pelo excesso de precipitação como pelas águas subterrâneas. Portanto, a condição de escoamento de uma bacia hidrográfica sofre grande alteração, quando se transforma um solo, outrora permeável numa superfície impermeabilizada, ou mesmo haja alteração da declividade de terrenos e fundo de corpos d'água, por meio da construção de edificações, pela execução de pavimento, ou pela realização de outras obras. O que se observa, nesta nova situação, é que precipitações, mesmo de pequenas ou médias intensidades, têm provocado problemas de inundações, principalmente nas grandes cidades (MOTTA, 1997).

Segundo Trevisol (2002) os fatores que influenciam o escoamento superficial podem ser de ordem climática, relacionados à precipitação ou de natureza fisiográfica ligados às características físicas da bacia. Dentre os fatores climáticos destacam-se a intensidade e a duração da precipitação, pois quanto maior a intensidade, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração provocando um excesso de precipitação que escoará superficialmente. A duração também é diretamente proporcional ao escoamento, pois para chuvas de intensidade constante, haverá maior oportunidade de escoamento quanto maior for a duração. Outro fator climático importante é o da precipitação antecedente, pois uma precipitação que ocorre quando o solo está úmido devido a uma chuva anterior, terá maior facilidade de escoamento.

Baccaro (1994) salienta que dentre os fatores fisiográficos os mais importantes são a área, a forma, a permeabilidade e a capacidade de infiltração, e a topografia da bacia. A influência da área é clara, pois sua extensão está relacionada à maior ou menor quantidade de água que ela pode captar. A permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver, diminuindo assim a ocorrência de excesso de precipitação. Outros fatores importantes são as obras hidráulicas construídas nas bacias, tal como uma barragem que, acumulando a água em um reservatório, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação. Em sentido contrário, pode-se retificar um rio aumentando a velocidade do escoamento superficial.

Canholi (2005) cita como causas das inundações urbanas, a quase total impermeabilização dos solos nas zonas urbanas, os sistemas de drenagem de

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

águas pluviais ineficientes, acúmulo de lixos e outros detritos em bocas de lobo e corpos d'águas que impedem o escoamento normal das águas, sistema de alertas lentos, pouco abrangentes e ineficientes e à gerência inadequada ou a não existência de Planejamento de Drenagem de águas pluviais pelos municípios. Segundo Pinto e Pinheiro (2006), em áreas urbanas é comum a inundação localizada devido ao estrangulamento do curso d'água por pilares de pontes, adutoras, aterros e rodovias que reduzem a seção de escoamento dos corpos d'águas.

As consequências diretas das inundações urbanas são perdas materiais, perdas de vidas humanas e diversos impactos ambientais. As perdas de vidas humanas, diferentemente dos danos materiais, não podem ser monetariamente mensuradas, constituindo-se, assim, no maior problema decorrente das enchentes. Pedrosa (1996) cita outro fato comumente verificado nas enchentes urbanas que são epidemias de algumas moléstias de veiculação hídrica, logo após a ocorrência de enchentes. A leptospirose, doença transmitida pela urina do rato, que durante as cheias tem uma maior probabilidade de ocorrência, é a mais comum delas.

Maus (2007) salienta que na aplicação dos modelos hidrológicos relacionados à drenagem urbana necessita-se conhecer a área impermeável e as modificações das condições do escoamento superficial provocadas pela ocupação do solo urbano. Segundo Tucci (2000), a impermeabilização de 7% da área dos lotes já acarreta a duplicação do escoamento superficial e que casos mais extremos, como a impermeabilização de 80% do lote, geram um volume de escoamento superficial oito vezes maior. Assim, o aumento de áreas impermeáveis eleva o escoamento superficial. Segundo Mota (1997), a água que infiltra no solo contribui para a formação e recarga de aqüíferos subterrâneos. A infiltração também vai auxiliar na redução de processos de inundações, pois quanto maior a área permeável para infiltração das águas pluviais menor será o escoamento superficial.

A impermeabilização do solo é efeito direto da urbanização, o que gera impacto significativo sobre o escoamento das águas pluviais na bacia. Motta Jr e Tucci (1984) e Campana e Tucci (1994) relacionam os índices de impermeabilização com a densidade habitacional, por ser esta uma informação disponível através dos

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

censos, e também, para que se possa caracterizar cenários futuros de impermeabilização, através das estimativas de crescimento populacional.

Este trabalho procura analisar os efeitos da impermeabilização do solo, sendo uma das conseqüências diretas do crescimento da malha urbana do município de Uberlândia, estado de Minas Gerais, sobre a sua drenagem de água pluvial.

Desenvolvimento do trabalho

A bacia hidrográfica escolhida para o desenvolvimento deste trabalho foi a Bacia do Córrego Lagoinha, que segundo Prudente e Brito (2007) está localizada na porção Sudeste da cidade de Uberlândia, estado de Minas Gerais, na zona UTM 22, entre as coordenadas 786000 m e 795000 Leste (E) e entre as coordenadas 7901000 m e 7906000 m Norte (N). Primeiramente, foram determinados as características físicas e os parâmetros hidrológicos em que se encontrava a bacia para o ano de 1997, sendo este considerado o cenário atual de referência. Posteriormente foram elaborados novos cenários urbanos levando em consideração a progressão de um possível aumento da malha urbana, consequentemente, aumento de área impermeabilizada da bacia. Finalizando, com a simulação do efeito da impermeabilização sob o aumento do escoamento superficial, através de hidrogramas de vazão, proposto pelo Método SCS TR-55 (Soil Conservation Service - Technical Release 55), apresentado em 1986 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, através do Natural Resources Conservations Services (NRCS), esse método é empregado em bacias urbanas (até 250 km^2) para determinação do pico de descarga através de método gráfico, como mostrado por Tomaz (2002).

Características Físicas Atuais da Bacia Hidrográfica

A Bacia do Córrego Lagoinha apresenta desde áreas que se mantém com vegetações nativas até áreas de urbanização intensa. Sendo essa uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Córrego São Pedro, e é seu único afluente que não se encontra totalmente canalizado dentro do perímetro urbano. Segundo Prudente e Brito (2007), o trecho de maior canalização começa a partir da Rua Jandyro Vilela

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

Freitas, desaguando no Córrego São Pedro, que está canalizado pela Avenida Governador Rondom Pacheco. A delimitação da bacia do Córrego Lagoinha foi obtida do mapa topográfico da cidade de Uberlândia, na escala 1:10000, com curvas de níveis equidistantes de 10 metros, disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Uberlândia, em meio digital. Essa bacia compreende parte de 16 bairros, além do Parque Santa Luzia com um agradável projeto paisagístico que oferece lazer à população, e o Parque de Exposição Agropecuária Camaru, como mostrado na Figura 1. A Bacia do Córrego Lagoinha possui uma área de 21,18 km^2 e 7266,11 metros de comprimento.

A declividade média da bacia do Córrego Lagoinha foi obtida utilizando-se o método de Horton, apresentado por Wilken (1978), sendo obtido um valor de 0,0451 m/m.

Com base nos estudos de Nishiyama (1989), nota-se que a Bacia do Córrego Lagoinha está no nível litológico do basalto da Formação Serra Geral, o que pode ser verificado pelos afloramentos no seu leito. Costa (1986) salienta que na cidade de Uberlândia predominam os solos argilosos (Latossolo Roxo), sendo que, em caracterizações granulométricas para solos presentes na Bacia do Córrego Lagoinha, encontraram-se teores de argila maiores que 30%, em faixa que variou de 37 a 82%.

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

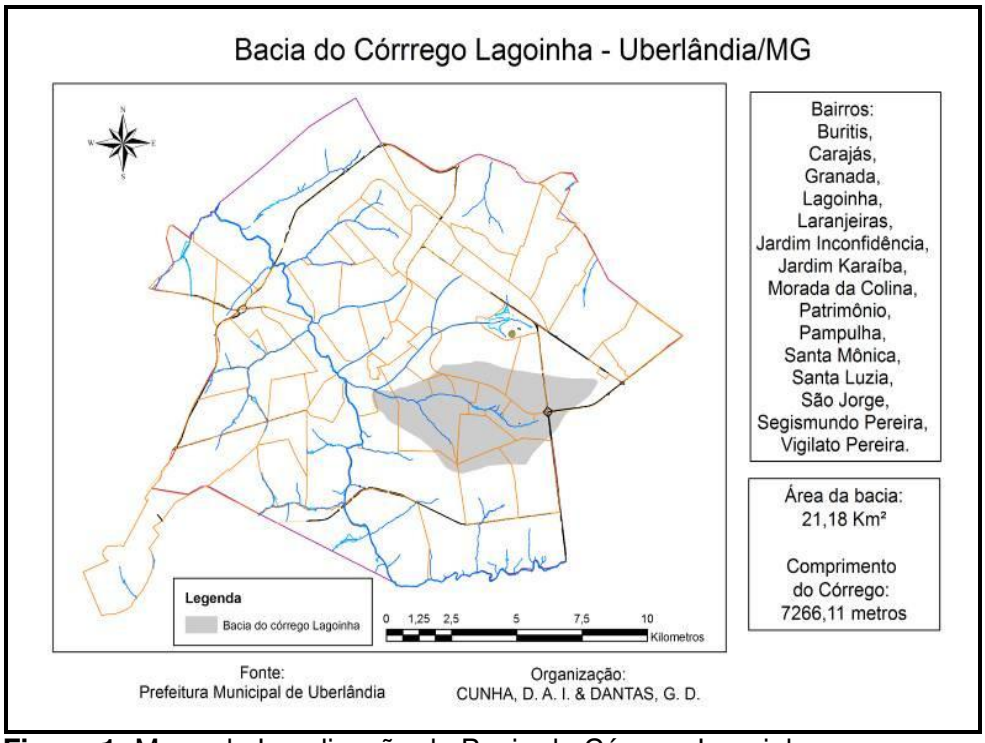

Figura 1: Mapa de Localização da Bacia do Córrego Lagoinha
Fonte: Soares et al. (2009).

Segundo dados da EMBRAPA (1999) os solos da área da bacia do Córrego Lagoinha são os Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos nas áreas mais elevadas e, nas suas margens compostas por Gleissolos e os Neossolos Flúvicos. Os Latossolos são bem estruturados e bastante desenvolvidos. Já os Gleissolos estão relacionados com áreas permanentemente encharcadas, apresentando certa fragilidade ambiental. Os Neossolos Flúvicos são desenvolvidos a partir de depósitos fluviais apresentando pouca resistência quanto à interferência antrópica.

Do ponto de vista geomorfológico a área está inserida no limite entre as Unidades Geomorfológicas classificadas por Baccaro (1994), como Áreas Elevadas de Cimeira com Topos Amplos e Largos e Área de Relevo Medianamente Dissecado, correspondente à borda da chapada de Uberlândia.

Segundo Soares (2009) a vegetação da bacia do Córrego Lagoinha consiste de áreas de pastagens abandonadas, as quais anteriormente à conversão caracterizavam-se por fitofisionomias de Cerrado sentido restrito. Também foram detectadas as fitofisionomias de Veredas, as quais são circundadas por Campo Limpo, e a fitofisionomia de Matas de Galeria, as quais se encontram descaracterizadas ambientalmente, com grandes focos erosivos, os quais vêm

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

provocando desbarrancamento das margens com conseqüente queda de árvores para o interior do curso d'água já extremamente assoreado.

A partir dos estudos de Lira (2009) dada à posição geográfica da cidade de Uberlândia, normalmente ela é atingida por massas de ar oriundas do sul (Frente Polar Antártica e Massa Polar), do leste (Ondas de Leste) e do Oeste (Linhas de instabilidade tropical). Também sofre influência das Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que são responsáveis pelas chuvas intensas e prolongadas. A Frente Polar Antártica influência a ZCAS canalizando a umidade da Amazônia para a região sudeste. Del Grossi (1993) salienta que, desse modo, a sazonalidade existente entre os períodos chuvosos e quentes, frios e secos, durante ano, se deve a alternância de atuação dessas massas, que impõem à cidade de Uberlândia uma característica climática tida como tropical alternadamente úmida e seca.

Parâmetros Hidrológicos Atuais da Bacia Hidrográfica

Os valores dos coeficientes de escoamento superficial, C, para a Bacia do Córrego Lagoinha foram encontrados através da porcentagem de impermeabilização do solo, seguindo o trabalho do professor Dr. Carlos E. M. Tucci, publicado na Revista Brasileira de Recursos Hídricos, de janeiro/março de 2000, resumido por Tomaz (2002), onde o coeficiente de escoamento superficial é encontrado pela relação com a porcentagem de área impermeável.

Para as áreas da Bacia do Córrego Lagoinha, que apresentavam fração de impermeabilização menor que 10% e maiores que 80%, os coeficientes de escoamento superficial adotados foram os sugeridos por Wilken (1978), já que, os coeficientes de escoamento superficial para estas porcentagens não são definidos no trabalho do professor Dr. Carlos E. M. Tucci. Considerou-se que as áreas com impermeabilizações menores que 10%, como sendo matas, parques ou campo de esportes, adotando o valor de 0,10 para o coeficiente de escoamento superficial, e as áreas com impermeabilizações maiores que 80% foram classificadas como áreas de edificação muito densa, adotando como coeficiente o valor de 0,80.

A porcentagem de impermeabilização do solo da bacia do Córrego Lagoinha foi definida por meio de estereoscopia, aplicadas nas fotografias aéreas de sua área. As fotografias são do ano de 1997, sendo as mais recentes encontradas,

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

estas foram cedidas pela Prefeitura Municipal de Uberlândia e apresentam escala de 1:8000. Foram identificadas 74 áreas com impermeabilizações distintas, como mostrado na Figura 2, e estas foram agrupadas em cinco sub-bacias.

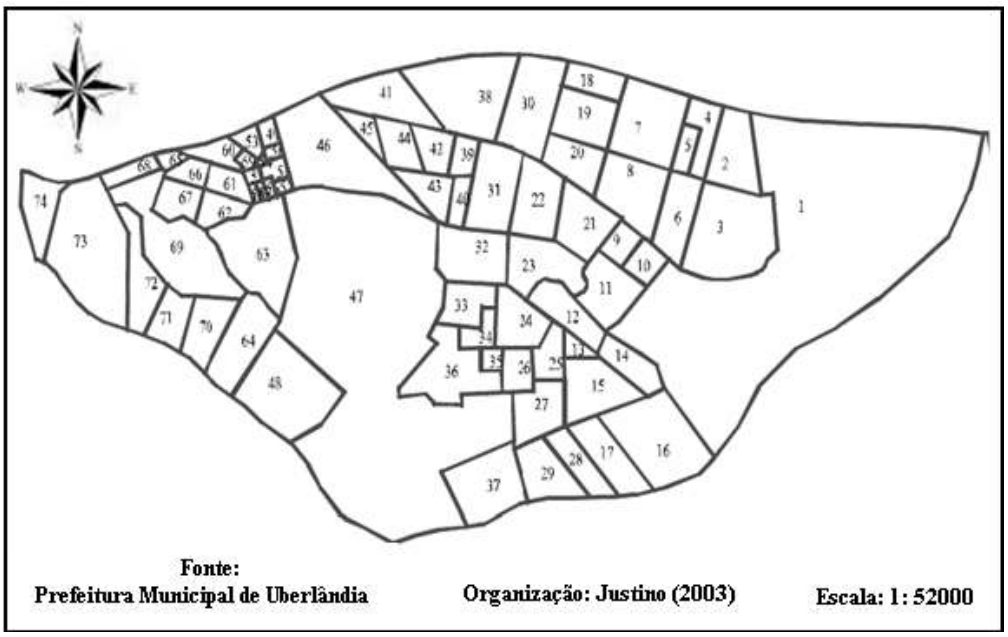

Figura 2: Mapa das áreas para determinação da porcentagem de impermeabilização e coeficiente de escoamento superficial.

O número de curva de runoff CN do SCS é também chamado número de deflúvio CN. Há três maneiras para se determinar CN: características geológicas do solo; pesquisas feitas no país, nos estados ou cidades; capacidade mínima de infiltração.

Na determinação do CN, para a Bacia do Córrego Lagoinha, foram consideradas as características geológicas do solo, segundo a classificação apresentada por Porto (1999) e Tucci (1993). Como caracterizado no trabalho Nishiyama (1989), citado no item 2.2, a bacia do Córrego Lagoinha apresenta teores de argila maiores que 30%, portanto esta é caracterizada como sendo do no grupo D. Determinado o grupo do solo em que pertence a Bacia, procedeu-se a determinação do CN, levando-se em consideração a utilização ou cobertura do solo.

As sub-bacias 1 e 5 são parte da bacia do Córrego Lagoinha, ainda em processo de urbanização, e segundo Soares (2009) são caracterizadas pela

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

presença de cerrado sentido restrito, veredas e matas de galeria, portanto, tem-se CN igual a 78.

As sub-bacias 2 e 3, que apresentam porcentagem de impermeabilização maior que 30% da área total, o valor de CN é dado pela soma composta do coeficiente da área permeável e da área impermeável, com o peso correspondente da fração da área impermeável, este coeficiente é chamado de CNw composto. Na área impermeável, o número CN do solo é CN = 98, e a área permeável das sub-bacias é formada por terrenos baldios, que apresentam segundo classificação de Porto (1999) e Tucci (1993), CN igual a 80. A expressão para obtenção de CNw. É dada por:

$$CN_W = CN_P(1-f) + f.(98) \quad (1)$$

Sendo: CNP – número CN da área permeável da bacia em estudo; f = fração da área impermeável da bacia em estudo.

A sub-bacia 4, com porcentagem de impermeabilização de 23%, valor menor que 30%, e se tratando de Zona Residencial, tem-se o valor interpolado de 84,6, que arredondando dá um valor de CN igual 85.

Os valores de porcentagens de impermeabilizações, coeficiente de escoamento superficial e do número de curva de *runoff* estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores de CN para Sub-Bacias

Nome	Área (km^2)	Área Impermeável (km^2)	Fração Impermeável (%)	C	CN
Sub-Bacia 1	3,36	0,34	10	0,14	78
Sub-Bacia 2	5,42	2,49	46	0,46	88
Sub-Bacia 3	5,13	1,74	34	0,35	86
Sub-Bacia 4	5,90	1,36	23	0,26	85
Sub-Bacia 5	1,10	0,15	14	0,18	78
Total	20,91	6,08	29	0,32	85

Fonte: Justino (2003)
Org.: Justino (2003)

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

Período de retorno, considerado para dimensionamento de uma obra de drenagem de água pluvial, é o tempo onde se considera que um fenômeno hidrológico vai ser igualado ou superado. Este tempo, geralmente é definido considerando-se o tipo de obra de drenagem a ser executada e o tipo de dano que a falha desta obra possa causar no local ou mesmo a jusante da mesma. Neste trabalho considerou-se o período de retorno igual a 100 anos, visto que, se trata de uma bacia com uma urbanização bem desenvolvida e caso se tenha intenção de executar algum tipo de obra para amenizar problemas de inundações, é necessário uma obra de macro drenagem.

A equação de chuva do Município de Uberlândia foi determinada por Justino (2003), através de análise de freqüência, empregando as séries anuais, utilizando o método das relações de durações e freqüências por meio da Distribuição de Gumbel, esta equação é expressa por:

$$i = \frac{28{,}97 T_R^{0{,}159}}{(t+14)^{0{,}825}} \quad (2)$$

Onde i é a intensidade de chuva em mm/minutos, TR é o tempo de retorno em anos e t é a duração da chuva.

O tempo de concentração, que é definido como o tempo que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial, foi definido como sendo a soma dos tempos de escoamento superficial, fluvial e em tubulações de drenagem, durante o período chuvoso. O tempo de concentração encontrado para o cenário de 1997 foi de 1,77 horas e para o cenário de pré-urbanização foi de 1,87 horas. Os tempos de concentração para os cenários futuros também foram obtidos pelo mesmo processo, mas primeiramente determinaram-se suas características de escoamento.

Método para Quantificação do Escoamento em Áreas Urbanas

Em 2000, Chin *apud* Tomaz (2002) elaborou equações matemáticas que substituíram os gráficos usados no TR-55. O método do SCS TR-55 é apresentado analiticamente pela expressão:

$$Qp = Qu \cdot A \cdot Q \cdot Fp \quad (3)$$

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

Onde: Qp – vazão de pico (m^3/s); Qu – pico de descarga unitária ($m^3/s/cm/km^2$); A – área da bacia (km^2); Q – runoff, ou seja, o escoamento superficial de uma chuva de 24 horas (cm); Fp – fator adimensional de ajustamento devido as poças d'águas fornecido pela Tabela 2.

Tabela 2- Fator adimensional de ajustamento devido as poças d'água.

Porcentagem da água de chuva que fica em poças de d'água ou em brejos (%)	Fp
0,0	1,00
0,2	0,97
1,0	0,87
3,0	0,75
5,0*	0,72

(*) Se a porcentagem de água de chuva retida em poças e brejos for maior que 5%, considerações especiais devem ser tomadas para se achar a chuva excedente
Fonte: Chin apud Tomaz (2002)
Adaptação: Justino (2003)

O pico de descarga unitária Qu é fornecido pela equação abaixo:

$$\log (Qu) = C_0 + C_1 . \log tc + C_2 (\log tc)^2 – 2,366 \quad (4)$$

Sendo: C_0, C_1, C_2 constantes obtidas da Tabela 3; tc – tempo de concentração (h), sendo que: $0,1 \leq t_c \leq 10$ h.

Tabela 3 - Valores de C_0, C_1 e C_2, obtidos em função do tipo de chuva e da relação Ia/P

Tipo de chuva	Ia/P	C_0	C_1	C_2	Tipo de chuva	Ia/P	C_0	C_1	C_2
I	0,10	2,306	-0,514	-0,117	II	0,10	2,553	-0,615	-0,164
	0,20	2,235	-0,504	-0,089		0,30	2,465	-0,622	-0,117
	0,25	2,182	-0,485	-0,066		0,35	2,419	-0,615	-0,088
	0,30	2,106	-0,457	-0,028		0,40	2,364	-0,599	-0,056
	0,35	2,003	-0,408	0,020		0,45	2,292	-0,570	-0,023
	0,40	1,877	-0,322	0,058					
	0,4	1,763	-	0,004	III	0,10	2,473	-	-0,171

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

	5		0,156					0,518	
	0,50	1,679	-0,069	0,0		0,30	2,396	-0,512	-0,132
						0,35	2,355	-0,497	-0,120
	0,10	2,032	-0,316	-0,137		0,40	2,307	-0,465	-0,110
	0,20	1,920	-0,282	-0,070		0,45	2,248	-0,413	-0,115
IA	0,25	1,838	-0,255	-0,026		0,50	2,178	-0,368	-0,095
	0,30	1,727	-0,198	0,026					
	0,50	1,634	-0,091	0,0					

Fonte: Chin apud Tomaz (2002)
Adaptação: Justino (2003)

Os tipos de chuvas I, IA, II e III são os tipos de chuvas das quatro regiões que foi dividido os Estados Unidos. Para o Brasil adota-se o tipo de chuva II.

A relação Ia/P encontrada na Tabela 3 é a relação entre a abstração inicial em milímetros, que representa todas as perdas antes que comece runoff (escoamento superficial), e o valor de precipitação para chuva de 24 horas. O valor de Ia = 0,2 S, sendo S o potencial máximo de retenção em milímetros após começar runoff. O Valor de S é função do número da curva CN.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (5)$$

O valor da chuva excedente ou runoff ou escoamento superficial é:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2S)^2}{(P + 0{,}8S)} \quad (6)$$

Segundo Tomaz (2002), para valores de Ia/P < 0,10 deverá se usado o valor Ia/P = 0,10 e para valores Ia/P > 0,50 deverá ser usado Ia/P = 0,50. O método do SCS determina o hidrograma de cheia das bacias de drenagem. Este método basea-se no conceito de hidrograma unitário, que é o hidrograma do escoamento direto, causado por uma chuva efetiva unitária, ou seja, uma chuva de 1 mm ou 1 cm. Portanto, o hidrograma de cheia da bacia do Córrego Lagoinha foi determinado pela iteração do hidrograma unitário com a altura de chuva excedente, esta relação esta apresentada na Tabela 4.

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

Tabela 4- Hidrograma unitário curvilíneo adimensional do SCS

t\tp	Q/Qp	t\tp	Q/Qp	t\tp	Q/Qp	t\tp	Q/Qp	t\tp	Q/Qp
0	0,000	0,7	0,820	1,4	0,780	2,2	0,207	3,6	0,021
0,1	0,030	0,8	0,930	1,5	0,680	2,4	0,147	3,8	0,015
0,2	0,100	0,9	0,990	1,6	0,560	2,6	0,107	4,0	0,011
0,3	0,190	1,0	1,000	1,7	0,460	2,8	0,077	4,5	0,005
0,4	0,310	1,1	0,990	1,8	0,390	3,0	0,055	5,0	0,000
0,5	0,470	1,2	0,930	1,9	0,330	3,2	0,040		
0,6	0,660	1,3	0,860	2,0	0,280	3,4	0,029		

Fonte: Justino (2003
Org.: Justino (2003)

Como o hidrograma unitário apresenta a vazão por unidade altura (cm), é preciso determinar o valor do escoamento superficial ou chuva excedente. Para isto, é utilizado o método do número de curva (CN), já apresentado no item 2.2.

E, finalmente o hidrograma de cheia é determinado pelo processo chamado de convolução, processo segundo o qual a chuva de projeto é combinada com a função de transferência, para produzir o hidrograma do escoamento superficial. Neste processo o hidrograma unitário é multiplicado pela chuva excedente, no tempo específico.

Elaborações dos Cenários Futuros

Os cenários futuros foram elaborados com intuito de retratar a ocupação prevista para a região a partir da Lei Municipal Complementar Nº 245, de 30 de novembro de 2000, que dispõe sobre o Parcelamento e Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo do Município de Uberlândia e revoga a Lei Municipal Complementar Nº 224, de 23 de dezembro de 1999 e suas alterações posteriores. Deve-se, no entanto, salientar que no cenário atual há situações em que as ocupações existentes já ultrapassaram os limites estabelecidos pelas legislações vigentes, que é de sessenta por cento de impermeabilização do lote, sendo essas situações consideradas na elaboração destes cenários. Esse fato é decorrência entre outras coisas, de que a maior parte das obras já executadas teve seus projetos aprovados em legislações anteriores, que possuíam índices urbanísticos diferenciados e falhas que possibilitavam burlar as porcentagens de

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

impermeabilização previstas. A fiscalização deficitária e o não cumprimento das normas só contribuem para ocupação desordenada do espaço urbano.

Na elaboração do cenário futuro manteve-se a situação do cenário atual para as áreas já loteadas. Nas áreas desocupadas da bacia, que não se tratavam de áreas de preservação ambiental, foram criados novos loteamentos. Estes loteamentos terão lotes de 12 metros de largura por 30 metros de comprimento, que é a dimensão padrão dos lotes nesta região da cidade de Uberlândia, sendo também simulada a inserção de supermercados, escolas, e outros edifícios dos equipamentos sociais, tais como creches e unidades de saúde, que ocupam áreas maiores.

Para que o escoamento dos loteamentos propostos fosse simulado em fases diferenciadas de ocupação, foram definidos dois cenários, com características apresentadas a seguir:

- O Cenário Futuro I - as ruas estarão pavimentadas, as edificações erguidas em uma taxa de ocupação de 60% do lote, e a porcentagem de impermeabilização do recuo e afastamento lateral será de 20% do total, o que dará um total de 80% de impermeabilização da área do lote.
- No Cenário Futuro II - as ruas já estarão pavimentadas, as edificações erguidas em uma taxa de ocupação de 60% do lote, e as áreas laterais e os recuos se apresentarão impermeabilizada, definindo como taxa correspondente à pavimentação da área livre a taxa de 80% de impermeabilização, o que leva a um total de 92% de impermeabilização da área do lote.

De acordo com Artigo 13 da Lei Municipal Complementar Nº 245/2000 os loteamentos propostos tiveram que destinar ao município áreas mínimas, calculadas sobre a área total do loteamento, que foram as seguintes:

- 20 % para o sistema viário;
- 10 % para área de uso institucional;
- 7 % para área de recreação pública.

O loteamento I ficou com uma área de 1.804.921 m^2, das quais 360.984 m^2 são ocupados pelas ruas, 232.838 m^2 são praças, 71.789 m^2 são ferrovias e 1.139.310 m^2 são lotes, o local de implantação do loteamento I está representado na Figura 4.

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

O loteamento II ficou com uma área de 908.607 m^2, das quais 181.721 m^2 são ocupados pelas ruas, 87.435 m^2 são praças, 639.450 m^2 são lotes, o local de implantação do loteamento II e está representado na Figura 4.

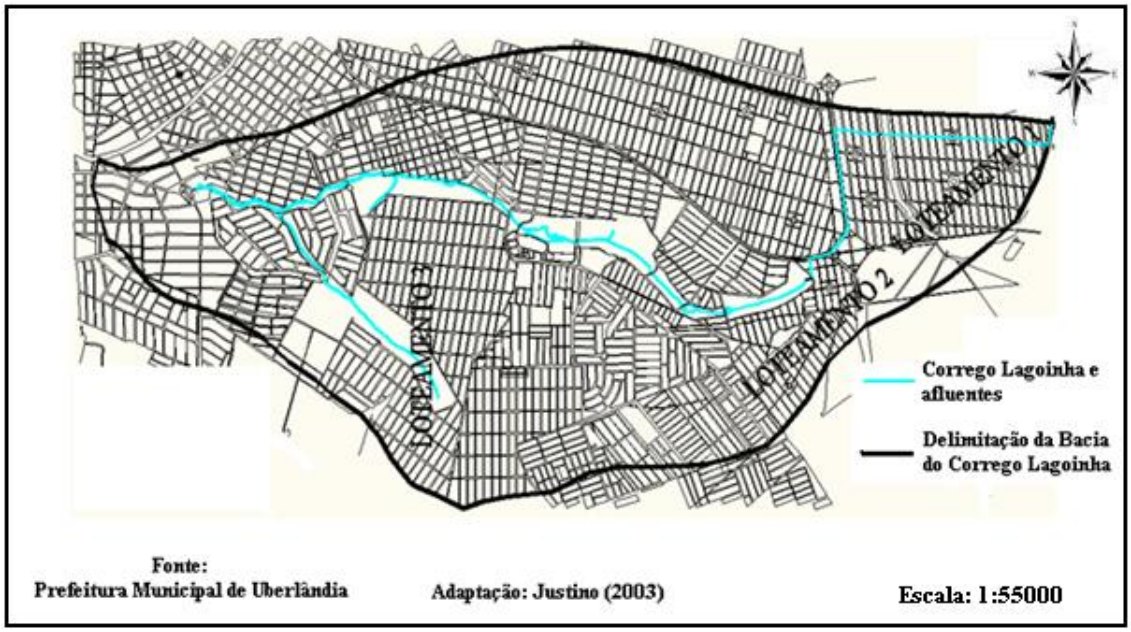

Figura 4: Mapa dos loteamentos criados para os Cenários Futuros.

Já o loteamento III é formado por dois condomínios fechados recentemente implantados na bacia do Córrego Lagoinha, o Royal Park e o Vila Real, e mais o restante das áreas adjacentes a estes, evidentemente respeitando o recuo destinado a área de preservação ambiental. Neste caso foi considerado que os condomínios fechados, também, teriam o tipo de ocupação proposto para os cenários futuros I e II, sendo assim, o loteamento III ficou assim definido.

- Condomínio fechado Royal Park, com uma área de 179.373,74 m^2, das quais 64721,36 m^2 são ocupados pelas ruas, 10.858,94 m^2 são praças, 26183,74m^2 são áreas institucionais, e 77.609,70 m^2 são lotes. Cabe destacar que, o condomínio Royal Park apresenta uma área destinada ao sistema viário 80,41% maior do que o exigido pela lei municipal, uma área 13,52% menor que o exigido para área de recreação e apresenta uma área de 14,60% de área institucional, apesar de esta não ser exigida por lei.

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

- Condomínio fechado Vila Real com uma área de 78.041,94 m^2 das quais 21.429,77 m^2 são ocupados pelas ruas, 6.381,07 m^2 são praças, 3.001,08 m^2 são áreas institucionais, e 47.230,04 m^2 são lotes.
- O restante da área adjacente aos condomínios fechados Royal Park e Vila Real, que será chamado de Loteamento IIIa, foi loteado adquirindo uma área total de 2.757.444 m^2, das quais 697.845,14 m^2 são ruas, 279.000 m^2 são áreas institucionais, 157.719,19 m^2 são praças, e 1.901.880 m^2 são lotes. O loteamento III está representado na Figura 4.

Partindo do critério do Plano Diretor de Desenvolvimento e Urbanização (PDDU), estabelecido no Plano de Diretor do Município de Uberlândia, aprovado em 1994, que estabelece para as Unidades Territorial Residenciais (UTR) da Zona Residencial tipo 2 (ZR2) uma taxa de ocupação máxima de 60 %, e, define em 3 m e 1,5 m o recuo e afastamento lateral mínimos, respectivamente, considerando-se como residências térreas até as de 4 pavimentos. Em 96,7% e 97,5% da UTR do Loteamento I e II respectivamente ficaram definido 4 m de recuo mínimo, e 1,85 m de afastamento mínimo, obtendo-se a seguinte configuração básica para ocupação dos lotes (Figura 5).

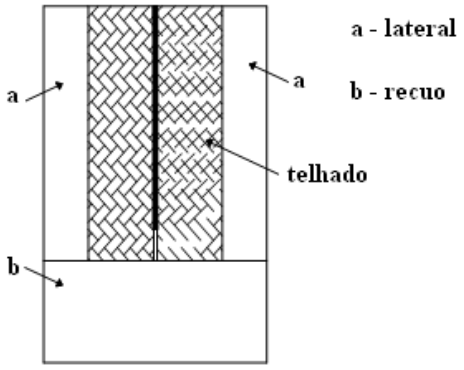

Figura 5: Planta baixa da configuração básica do lote
Fonte: Justino (2003)
Org.: Justino (2003)

A partir dessa configuração, foram obtidas as taxas de impermeabilização, os recuos e os afastamentos laterais por tipo de lote, usadas em cada cenário. Estabelecidas as porcentagens de impermeabilização dos novos loteamentos implantados na bacia do Córrego Lagoinha, e substituindo nas suas

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

respectivas áreas de ocupação, foram achados novos valores para a taxa de impermeabilização das áreas 1 e 47 (Figura 2), o que levou a obtenção de novos CN para os cenários futuros propostos. Os valores encontrados para os dois cenários futuros estão apresentados nos Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Valores de CN para os Cenários Futuros

Nome	Área (km^2)	Área Impermeável (km^2)		Fração Impermeável (%)		CN Permeável		CN Impermeável		CN_W	
		Fut. 1	Fut. 2	Fut. 1	Fut. 2						
Sub-Bacia 1	3,36	1,60	2,01	48	60	80	80	98	98	89	91
Sub-Bacia 2	5,42	2,94	3,09	54	57	80	80	98	98	90	90
Sub-Bacia 3	5,13	2,50	2,72	49	53	80	80	98	98	89	90
Sub-Bacia 4	5,90	2,84	3,29	48	56	80	80	98	98	89	90
Sub-Bacia 5	1,10	0,15	0,15	14	14	-	-	-	-	78	78
Total	20,91	10,03	11,27	48	54	-	-	89	90	-	-

Fonte: Justino (2003)
Org.: Justino (2003)

Para determinação do tempo de concentração dos cenários futuros foi simulado um sistema de drenagem na área de implantação do Loteamento I, sendo determinado por meio do Método Racional, o tempo de escoamento em sarjetas e galerias, tempos estes que substituíram o tempo de escoamento superficial dos cenários de pré- urbanização e atual. O valor encontrado foi de 28,10 minutos. Este tempo somado ao tempo de escoamento pluvial no córrego durante o período de chuva forneceu o valor do tempo de concentração para os cenários futuros, que é de 1,67 horas.

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

Análise e discussão dos resultados

As simulações dos escoamentos nos cenários propostos foram realizadas através dos hidrogramas resultantes da mudança de cenários, decorrente do aumento da impermeabilização do solo, devido ao aumento da malha urbana na área da Bacia do Córrego Lagoinha, em Uberlândia (MG).

Para a área de 21,18 km^2 do Córrego Lagoinha têm-se os tempos de concentração de 1,87, 1,77 e 1,67 para os cenários de pré-urbanização, atual e futuros respectivamente. Utilizando-se o Método SCS, apresentado no item 2.3, foram determinados os hidrogramas de cheias para os cenários atual, futuros I e II, que estão apresentados na Figura 6.

Considerando a bacia do Córrego Lagoinha pré-urbanizada houve um aumento significativo da vazão de pico nos hidrogramas dos cenários atual e futuros. A Tabela 6 apresenta o resumo dos resultados obtidos nessa etapa da simulação, na qual foram encontrados aumento sobre a vazão de pico do cenário de pré-urbanização de 31,10%, 54,66% e 59,40 para cenário atual, futuro I e futuro II, respectivamente. A Figura 6 apresenta a comparação dos hidrogramas resultantes da simulação nos quatros cenários analisados, onde se pode notar uma antecipação no pico de vazão para os cenários atual e futuros, o que tem como causa principal as mudanças ocorridas na área da bacia do Córrego Lagoinha com o processo de urbanização, tais como aumento de áreas impermeáveis, surgimento de sistemas de microdrenagem e a canalização de alguns trechos do córrego.

Tabela 6 – Resultado das simulações dos cenários sem a estrutura de controle.

Cenários	Vazão de Pico (m^3/s)	% Acréscimo
Pré-urbanização	176,96	-
Atual	232,00	31,10
Futuro I	273,69	54.66
Futuro II	282,08	59,40

Fonte: Justino (2003)
Org.: Justino (2003)

Há uma pequena diferença entre as vazões de pico nos cenários futuros, conseqüência também da pequena diferença entre o valor do número de curvas, CN, e o fato de terem o mesmo tempo de concentração. O aumento nas vazões

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

pode ser percebido ao se realizar a propagação do escoamento pela parte canalizada do córrego. Para as situações atuais e futuras foi necessário redimensionar essas tubulações, já que as vazões geradas ultrapassaram a suas capacidades de escoamento, o que indica que estas estão sub-dimensionadas.

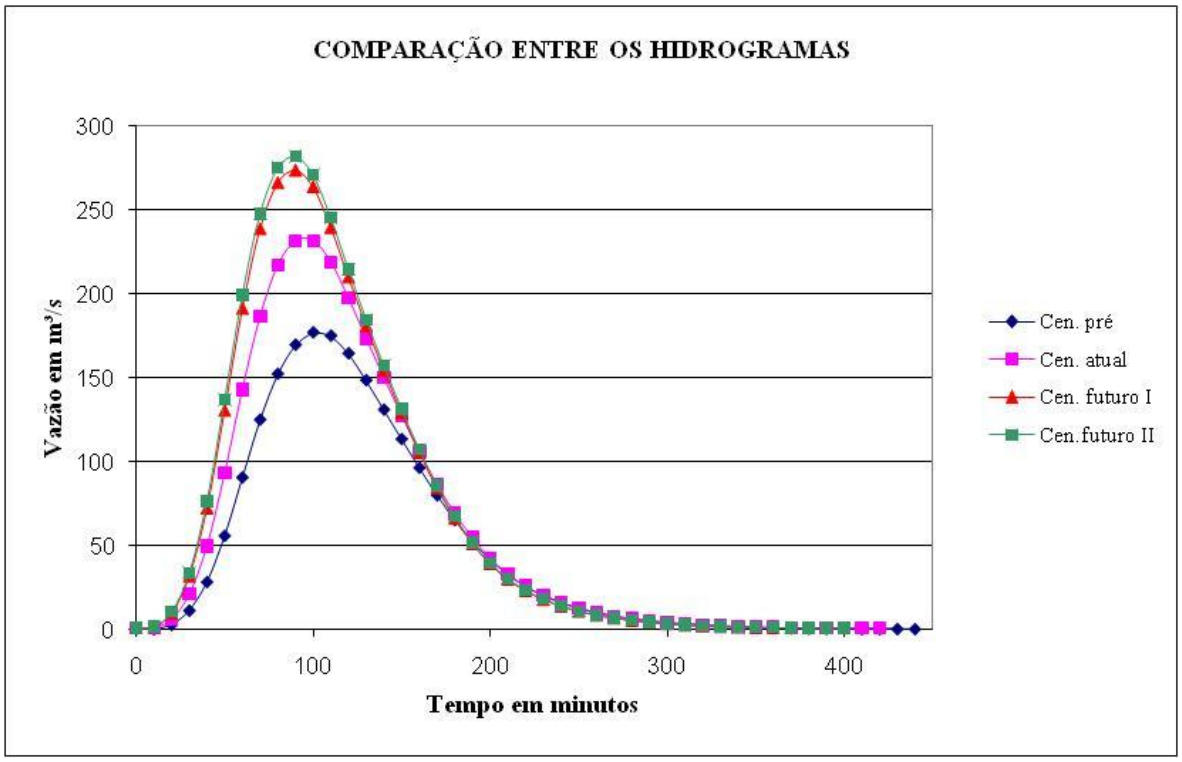

Figura 6: Efeito da impermeabilização sobre a vazão de pico.
Fonte: Justino (2003)
Org.: Justino (2003)

Conclusões

Neste estudo estimou-se o efeito da evolução da urbanização sobre as vazões de pico, quando da ocorrência de eventos de precipitação intensa. Os resultados obtidos na simulação dos cenários mostraram que para uma variação de 29 a 54% no índice de áreas impermeáveis, a vazão de pico pode sofrer um aumento de até 59,40% sobre a vazão de pico do cenário de referência. Diante desses acréscimos, a parte canalizada do córrego se mostrou insuficiente para escoar as novas vazões provenientes da ocupação da área nos cenários atual e

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

futuros, afirmando a necessidade de se utilizar medidas alternativas para o controle das cheias.

Aplicando se o estudo realizado neste trabalho em uma Bacia Hidrográfica ainda não urbanizada, pode-se determinar qual sistema de drenagem de água pluvial é mais adequado, bem como, em uma bacia hidrográfica já urbanizada prever possibilidades de soluções para os problemas de enchentes.

Neste estudo nota-se que para bacia do Córrego Lagoinha, já intensamente urbanizada, a melhor solução para solucionar problemas decorrentes de inundações é a implantação de um reservatório de retenção ou detenção em sua área central, pois, este amortecerá as vazões e tempo de pico, isto contribui efetivamente para reduzir a inundação do baixo Córrego São Pedro, área bastante ocupada e de alto valor imobiliário.

Referências

BACCARO, C. A. D. Os estudos experimentais aplicados na avaliação dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de cerrado. **Sociedade e Natureza.** Uberlândia: EDUFU, 1994. p. 55-61.

BRASIL. Lei Complementar 245**. Lei do uso e ocupação do solo do município de Uberlândia-MG. Uberlândia, MG, de 30 de dezembro de 2000**. Disponível em: < http://www.uberlandia.mg.gov.br>. Acesso em 14 jan. 2004.

BRASIL. Lei Complementar 224. Define novos loteamentos para algumas áreas urbanas do município de Uberlândia-MG. Uberlândia, MG, de 24 de agosto de 1999. Disponível em: < http://www.uberlandia.mg.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2004.

CAMPANA, N.A.; TUCCI, C.E.M. Estimativa de área impermeável de macro-bacias urbanas. Rio Janeiro. RBE: **Revista Brasileira de Engenharia**. Caderno de Recursos Hídricos, v.12, n.2, p. 79 – 94, Dez, 1994.

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

COSTA, M. E. R. **Estudo da colapsibilidade dos solos superficiais de Uberlândia**. 84 p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

DEL GROSSI, S. R. A dinâmica climática atual de Uberlândia e sua implicações geomorfológicas. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.5, n9/10, jan-dez/ 1993. p. 115 – 120.

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- **EMBRAPA**- Serviço Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 1999.

FONTES; A. R. M.; BARBASSA, A. P. Diagnóstico e Prognóstico da Ocupação e da Impermeabilização Urbana. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 8, n.2, abr/jun 2003. p. 137 – 142.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Sistema de Indicadores de Percepção Social. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br>. Acesso em: fev. 2011.

JUSTINO, E. A. **Estudo do controle do Escoamento superficial com o uso de Reservatório de Retenção na Bacia do Córrego Lagoinha, município de Uberlândia** - MG. 183 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFU. Uberlândia, 2003.

LIRA, T. s. **Modelagem e previsão da qualidade do ar na cidade de Uberlândia** – MG.152 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFU. Uberlândia, 2009.

MAUS, V. W.; RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A. Pavimento permeaável e Escoamento Superficial da água em áreas urbanas. **I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste**. Cuiabá, 2007.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES,1997.

MOTTA Jr, J. C..; TUCCI, C. E. M. Simulation of the urbanization effect in flow. **Oxford. Hidrological Sciences Journal**, v.29, n.2, p. 131 – 147, jun, 1984.

NISHIYAMA, L. Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacente. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, Uberlândia, v.1, n.1, p. 9 – 15, jun/1989.

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

PINTO, L. H.; PIMHEIRO, S. A. Orientações básicas para drenagem urbana. Belo Horizonte: **FEAM** – Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2006.

POPCLOCK: estimativa da população. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: set. de 2009.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. São Carlos – SP. Publicação EESC – USP, 1999.

PRUDENTE, T. D. e BRITO, J. L. S. **Análise temporal do uso da terra da microbaica do Córrego Lagoinha no município de Uberlândia** – MG. 159 p.

ISSN: 1519-7816 vol. 15 nº 1 jan/jun. 2011 páginas:

Dissertação (Mestrado) _ Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFU. Uberlândia, 2007.

SILVA, B. C.; COLIISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação da bacia do Rio São Francisco através do Modelo Hidrológico MGB – IPH. São Luis. **ABRH**, v.1, p. 1 – 22, 2005.

SOARES, A. M.; CUNHA, D. A. I.; DANTAS, G. D. E OLIVEIRA, H. L. P. R. Bacia hidrográfica do Córrego Lagoinha, Uberlândia – MG: Desafios do planejamento urbano. **Revista Católica, Uberlândia**, v.1, n.1, p. 103 – 115, 2009. Disponível em www.catolica online.com.br/revistadacatolica. Acesso em: fev/2011.

TOMAZ, P. **Cálculo hidrológico e hidráulico para obras municipais. Piscinões, galerias, bueiros, canais, Método SCS, Denver, Santa Bárbara Racional, TR-55**. São Paulo: Navegar, 2002.

TREVISOL, R. G. **Avaliação de medidas físicas para recuperação de área de empréstimo da Mata Atlântica**: Diques. 66 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, UFRRJ. Seropédica, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre**. Editora da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul: ABRH, EDUSP, 1993

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima das bacias urbanas. Porto Alegre: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.1, p.61-68, jan/mar, 2000.

WILKEN, P. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.