USO DE SIG ASSOCIADO AO MÉTODO RACIONAL PARA PREVISÃO DE VAZÕES NA BACIA DO CÓRREGO DO MINEIRINHO - SÃO CARLOS – SP.

RUBENS DE MIRANDA BENINI[1], CID MARTIOLI[2], EDUARDO MARIO MENDIONDO[3]

RESUMO: A bacia do córrego do Mineirinho, na qual estará situado o Campus II da USP, está localizada em São Carlos – SP. Com a impermeabilização do solo à montante deverão ocorrer impactos significativos na área de influência de drenagem, assim como conseqüências drásticas no escoamento superficial da água, dentre outros fatores. Desta forma, este trabalho procurou obter e comparar os valores atuais e futuros da vazão do escoamento superficial da bacia. Para isso, foi necessário identificar as diferentes situações de uso atual do solo através de sensoriamento remoto (imagens de satélite LANSAT 7) e classificação através de Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando software IDRISI 3.2. A bacia foi dividida em sete sub-bacias para permitir a análise dos histogramas separadamente. Assim, foi utilizado o método racional para o cálculo das vazões combinado com o método Soil Conservation Service (SCS) para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial. Devido a urbanização deverá ocorrer um drástico aumento da vazão em todas as sub-bacias. Estima-se que para a sub-bacia 7, deverá ocorrer um aumento de 11,7 para 28,59 m^3/s, correspondendo aproximadamente a 140 %. Recomenda-se a necessidade de um monitoramento ambiental envolvendo variáveis hidrológicas, incentivando um Plano Diretor de ocupação para o Campus II visando mitigar possíveis enchentes à jusante desta bacia.

Palavras-chave: SIG, método racional, impactos da urbanização.

ABSTRACT: The Campus 2 of USP is located in Upper Mineirinho River Basin, a sub-urban region of the Municipality of São Carlos, SP, Brazil. Land use change at headwaters of this basin, with new impervious cover due to USP's Campus 2, will produce impacts in runoff. Geobiohydrological processes will be affected by increasing peaks of river discharge at lowlands' parts of this basin. Real and future discharge assessments are presented in this paper. Several land use scenarios are depicted, aided by remote sensing (Landsat 7) and image classification using IDRISI® GIS package. The basin affected by the USP's Campus 2 is divided in seven sub-basins and hydrographs are analyzed using rational method as well as combined with SCS (US-Soil Conservation Service) approach. Results outline that drastic peak discharges rise in the study area, with absolute increasing from 11,7 to 28,6 m^3/s (ca. 140 %). The outlook looks forward to using of hydrologic models in order to compare the rational method results. An intensive hydrologic

[1] Eng. Flor., Mestrando Eng. Ambiental -USP. Cx. P. 359, São Carlos, SP – 13566-590, rubensbenini@yahoo.com.br
[2] Graduando Eng. Civil, EESC/USP. Cx. P. 359, São Carlos, SP – 13566-590 cidmartioli@yahoo.com.br
[3] Eng. Rec. Hídr., Prof. Dr. EESC/USP. Cx. P. 359, São Carlos, SP – 13566-590, emm@sc.usp.br

monitoring network is strongly recommended to help on Policy Plan of USP's Campus 2, envisaging the mitigation of future potential floods to lowlands of the basin.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano está freqüentemente associado com a substituição de ambientes naturais ou seminaturais (solo, vegetação, recursos hídricos) por ambientes construídos e com o direcionamento das águas pluviais e dos esgotos para os corpos d'águas adjacentes aos canais de drenagem (Haughton & Hunter, 1994). Como conseqüência, o movimento de águas superficiais aumenta, além de diminuir a recarga dos aqüíferos.

No Brasil, o desenvolvimento urbano tem produzido um impacto significativo na infra-estrutura de recursos hídricos. Um dos principais impactos tem ocorrido na drenagem urbana, sobretudo no aumento da freqüência e magnitude das inundações e na deterioração ambiental (Tucci, 2002). Os mecanismos de ação ordenada que buscam equilibrar o desenvolvimento com as condições ambientais das cidades são os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDU). A política de PDDUs usa critérios e princípios básicos de controle, de estratégias e de interfaces com outros planos, por exemplo de esgotos sanitários, resíduos sólidos e de desenvolvimento (Tucci, 2002).

Com a implantação do Campus II à montante e a impermeabilização do solo, em parte da bacia, deverá ocorrer o aumento do escoamento superficial e da vazão do córrego contribuindo para o aumento de enchentes à jusante (Benini et all., 2003).

De acordo com Campana & Tucci (2001) há uma grande diferença entre controlar os impactos antes do desenvolvimento da bacia a após a sua urbanização que a maioria dos municípios não tem condições econômicas para controlar neste último estágio. Os mesmos autores ressaltam que um dos principais desafios do planejador é de se antecipar e controlar os impactos antes que os mesmos sejam realidades.

Dentro deste contexto, torna-se fundamental a realização de estudos que forneçam prognósticos, sobretudo em bacias a serem urbanizadas, como é o caso da bacia do córrego do Mineirinho.

Classificação das imagens através do Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Através da análise de imagens de satélite LANSAT 7 (figura 1) houve a classificação das mesmas de acordo com o uso e ocupação atual do solo na bacia hidrográfica do Mineirinho. Os procedimentos para a classificação estão descritos a seguir:

Procedimentos da classificação

- **Identificação das áreas de treinamento** - depois de uma identificação visual através de composição colorida entre as diversas bandas, as coberturas foram identificadas e os polígonos representativos de cada classe foram marcados.

Figura 1: Imagem de satélite do ano 2000 (LANSAT 7). Composição das bandas 1,2 e 3.

- **Testes de classificadores –** já com as áreas de treinamento identificadas, foram testados alguns classificadores do IDRISI, sendo o "maxlike" o que apresentou melhores resultados.
- **Classificação** – as classes inicialmente identificadas foram unidas conforme a sua semelhança e reagrupadas.
- **Delimitação das bacias** – já com a imagem classificada e reagrupada, usando equacionamento entre imagem, foram criadas imagens de cada sub-bacia para que se possa ser analisado o histograma separadamente.
- **Análise das taxas de cobertura** – através dos histogramas, foi contado o número de pixels existentes em cada sub-bacia para cada tipo de cobertura. Nas imagens geradas pelo LANSAT 7 a precisão é de 30m, portanto cada pixel corresponde a $900m^2$.

Método Racional e SCS

O método racional é utilizado para estimar o escoamento superficial através de dados de precipitações em pequenas bacias (Villela & Mattos, 1975).

Os aspectos físicos considerados por este método são o escoamento superficial, a intensidade da chuva e a área, ou região, da bacia estudada. Desta forma temos:

$$Q = C.i.A \qquad (1)$$

De forma que a intensidade (i) é calculada para um tempo de precipitação igual ao tempo de concentração da bacia (Tc), calculado pela fórmula do tempo de retardamento do método SCS adaptada para a região de São Carlos:

$$Tc = (3{,}42.\mathbf{L}^{0.8}).\{[(1000/\mathbf{CNII})-9]^{0.7}\}.[1/(0{,}018^{0.5})], \qquad (2)$$

Onde L (km) é o comprimento da bacia e CNII (adimensional) é o número de curva adotado em função de tabelas pelo tipo de solo e de cobertura.

O coeficiente de escoamento superficial (C) é um número adimensional que diz respeito à parcela da precipitação que escorre para o exutório da bacia pela superfície do solo. O restante da precipitação é infiltrado no solo, sofre evapotranspiração ou se perde de alguma outra forma.

Para calcular o escoamento superficial e a vazão após a urbanização da bacia adotou-se o ano de 2.025 e considerou-se a preservação da mata nativa e de uma parte da mata exótica, tendo um maior aumento de urbanização nas regiões agrícolas, pastos e solos expostos.

BACIA DO CÓRREGO DO MINEIRINHO

A Bacia do Córrego do Mineirinho localiza-se no município de São Carlos – SP e está inserida na bacia do Rio Monjolinho (figura 2), sendo o percurso total do córrego de aproximadamente 4 km, quando então se encontra com o Rio Monjolinho. Sua principal nascente localiza-se fora da propriedade do Campus II, em bairro residencial próximo, denominado Santa Angelina. Existem também, mais três nascentes que formam outros afluentes: uma localizada também nas imediações do Campus II, no Bairro Santa Angelina, e as outras duas localizadas no interior da área do Campus II, sendo uma delas intermitente.

A Bacia do Mineirinho apresenta urbanização em dois afluentes de cabeceira (nascentes), que drenam as suas águas para o Campus II da USP. No seu entorno, encontram-se pastagens,

monocultura de cana-de-açúcar, regiões sem cobertura vegetal e uma ferrovia circundando seu divisor de água. Acompanhando os cursos dos rios que formam esta bacia encontram-se regiões que ainda possuem mata ciliar, trechos com floresta paludosa e áreas alagadas com vegetação de pequeno porte (gramíneas).

Após a implantação do Campus II estima-se que aproximadamente 16,8 ha (18,4 % da área total do novo Campus) serão destinados à construção de vias e edificações, constituindo, portanto, áreas impermeáveis.

Além disso, como o Plano Diretor da cidade de São Carlos prevê, a taxa de urbanização corresponde a 40 m2/hab.ano (Mendes, 2003), e um acréscimo de 21.000 novos moradores na região da Bacia do Mineirinho atraídos por especulação imobiliária devido à implantação do referido Campus. Se fossemos considerar simplesmente uma urbanização horizontal, a área da bacia não seria suficiente. Portanto devemos considerar que a verticalização da urbanização será inevitável.

Pensando em termos de escoamento, esse adensamento causará uma maior impermeabilização do solo, já que edifícios, de um modo geral, apresentam menor quantidade de áreas verdes, alterando drasticamente os coeficientes de escoamento "C", que para as áreas urbanas foi estimado em 0,4 para o presente, e 0,7,para a condição futura e o CNII que era 85, devido a verticalização prevista, foi alterado para 95.

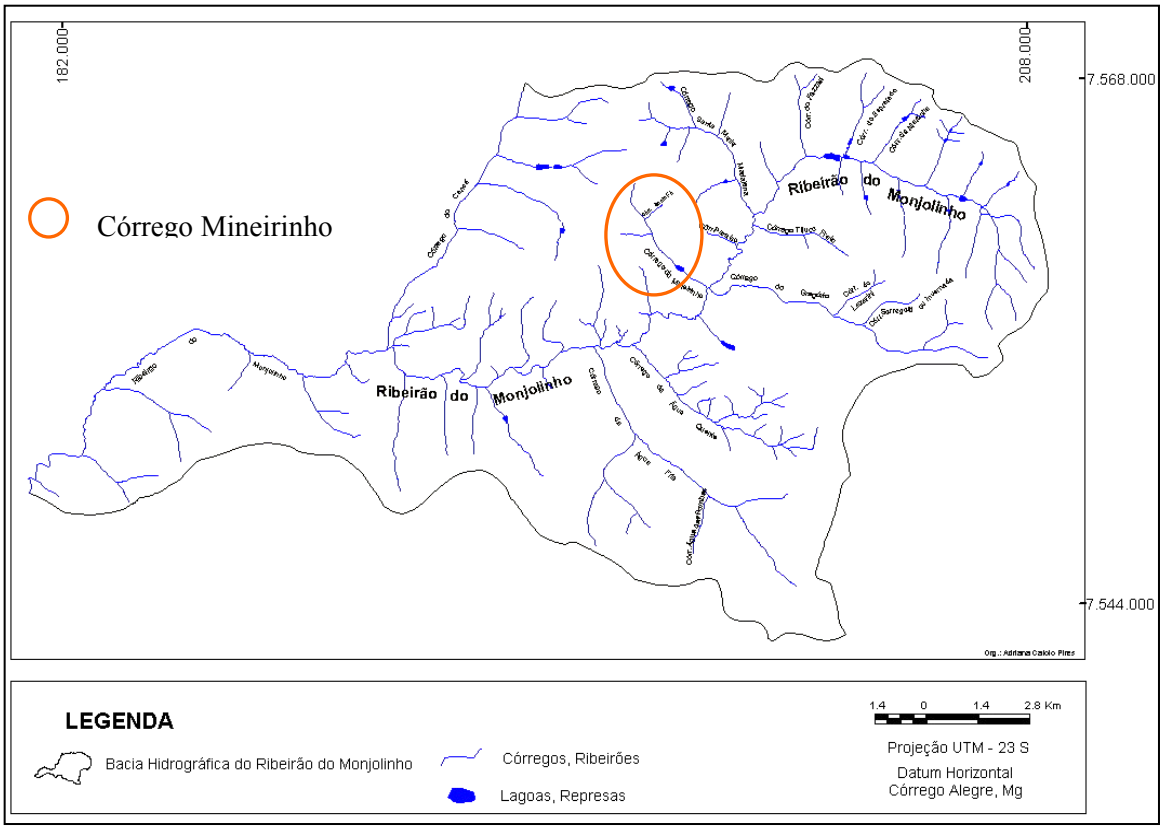

Figura 2: Localização da bacia do córrego do Mineirinho, São Carlos - SP.

RESULTADOS

Imagens classificadas e sub-bacias

Após a classificação da imagem de satélite foi possível observar que próximo às nascentes do Mineirinho ocorre intensa urbanização além de intenso cultivo agrícola (figura 3).

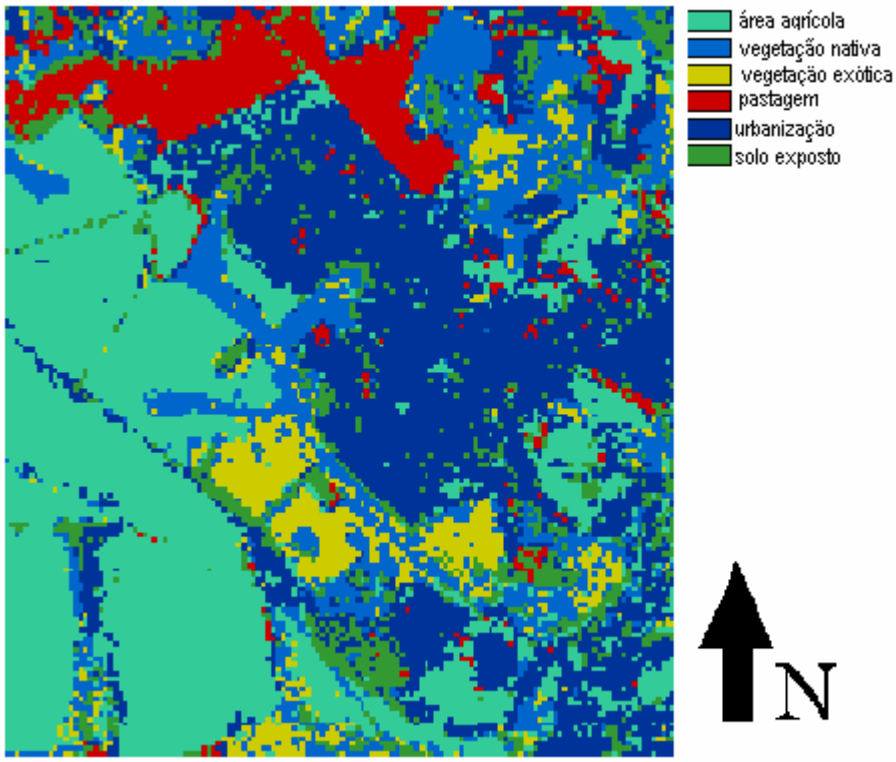

Figura 3: Imagem classificada: LANSAT 7 - 2000. Classificada com maxlike.

A partir da imagem acima dividiu-se a Bacia do Córrego do Mineirinho em 7 sub-bacias (figura 4) para facilitar o cálculo do balanço hídrico de todo o Campus II, englobando toda a área que influencia seu ciclo hidrológico.

As sub-bacias foram divididas levando-se em consideração os principais exutórios do córrego, assim como o de seus afluentes (sub-bacias 1,2, 3, 4, 5 e 6), e por fim a saída da água da área em estudo (sub-bacia 7). Usando esse critério de divisão, é possível fazer um estudo da condição hidrológica a jusante e a montante do Campus II.

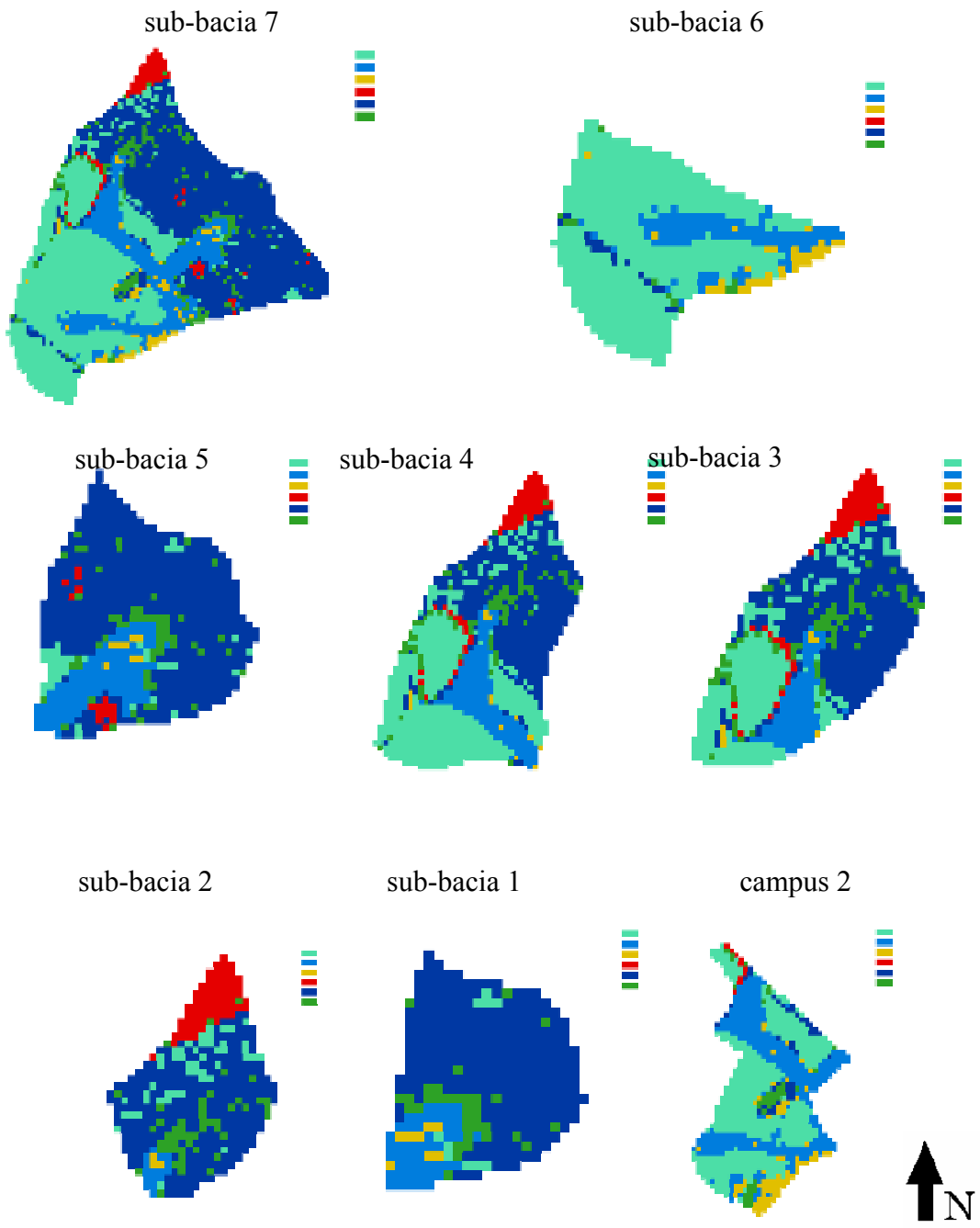

Figura 4: Sub-bacias do córrego do Mineirinho - LANSAT 7 - 2000. Classificada com maxlike.

Uso e ocupação do solo (atual)

Na tabela 1 a seguir estão discriminadas as áreas de cada bacia, assim como o uso e ocupação atual do solo (em porcentagem), obtidas através do uso do SIG.

Tabela 1: Áreas das sub-bacias e seu uso atual do solo. Imagem LANSAT 7 - 2000. Classificada com maxlike.

bacias	Áreas m^2	Uso e ocupação do solo (%)					
		agrícola	nativa	exótica	pasto	urbano	solo
1	324.000	2.78	13.33	2.22	0.00	72.50	9.17
2	417.600	10.34	3.45	0.65	13.79	60.78	10.99
3	953.100	29.37	10.29	0.76	7.84	42.68	9.07
4	1.294.200	39.50	12.73	1.04	5.77	34.08	6.88
5	750.600	4.68	15.59	0.96	1.92	69.78	7.07
6	722.700	76.21	15.69	4.48	0.00	2.24	1.37
7	3.370.500	35.73	13.78	2.19	2.83	39.41	6.06
Campus II	916.200	48.53	34.68	7.66	0.98	4.22	3.93

Nota-se que a maioria das sub-bacias (1, 2, 3, 5 e 7) possui mais áreas urbanizadas quando comparadas à outros usos do solo. Já as bacias 4 e 6 apresentam a maior parte composta por cultura agrícola (cana de açúcar). Porém, cabe ressaltar que a sub-bacia 7, que engloba toda a área de estudo, apesar de apresentar 39,41 % da área já urbanizada, ainda possui cerca de 38,56 % de áreas sujeitas a futura urbanização (áreas agrícolas e pastagens).

Vazão máxima para as sub-bacias (atual)

A vazão máxima encontrada para um tempo de retorno (tr) de 25 anos em cada uma das sub-bacias está descrita na tabela a seguir (tabela 2).

Tabela 2: vazão máxima para as diferentes sub-bacias para época atual.

TABELA DE VAZÃO MÁXIMA USANDO CNII PARA CÁLCULO DE "tc"														
bacias	áreas	cobert.	agrícola	nativa	exótica	pasto	urbano	solo	MÉDIAS PONDERADAS		VAZÃO MÁXIMA			
		CNII	75	58	60	69	85	82						
	(m²)	C	0,38	0,25	0,34	0,28	0,4	0,34	CNII	C	tr (anos)	tc(min)	i (mm/h)	Q (m³/s)
1	324000		9000	43200	7200	0	234900	29700	80,29	0,37	25	101,45	37,68	1,26
2	417600		43200	14400	2700	57600	253800	45900	80,34	0,37	25	101,31	37,73	1,62
3	953100		279900	98100	7200	74700	406800	86400	77,57	0,36	25	110,28	35,22	3,39
4	1294200		511200	164700	13500	74700	441000	89100	76,22	0,36	25	114,76	34,09	4,43
5	750600		35100	117000	7200	14400	523800	53100	79,56	0,37	25	103,78	37,00	2,84
6	722700		550800	113400	32400	0	16200	9900	71,98	0,36	25	129,44	30,86	2,22
7	3370500		1204200	464400	73800	95400	1328400	204300	76,52	0,36	25	113,74	34,33	11,70
campus	916200		444600	317700	70200	9000	38700	36000	68,59	0,33				

* Os valores de CNII e do coef. "C" foram retirados de tabelas propostas por Tucci (2001) e Genovez (2001).

Vazão máxima para as sub-bacias (ano 2.025)

A tabela seguinte mostra as vazões máximas previstas para 2.025.

Tabela 3: previsão para a vazão máxima para as diferentes sub-bacias (2.025).

TABELA DE VAZÃO MÁXIMA USANDO CNII PARA CÁLCULO DE "tc" PARA SITUAÇÃO FUTURA (2025)														
bacias	áreas	cobert.	agrícola	nativa	exótica	pasto	urbano	solo	MÉDIAS PONDERADAS		VAZÃO MÁXIMA			
		CNII	75	58	60	69	95	82						
	(m²)	C	0,38	0,25	0,34	0,28	0,7	0,34	CNII	C	tr (anos)	tc(min)	i (mm/h)	Q (m³/s)
1	324000		900	34560	3600	0	276030	8910	90,25	0,64	25	71,131	49,82	2,86
2	417600		4320	11520	1350	5760	380880	13770	92,87	0,67	25	63,467	54,30	4,19
3	953100		27990	78480	3600	7470	809640	25920	90,68	0,64	25	69,883	50,50	8,54
4	1294200		51120	131760	6750	7470	1070370	26730	89,84	0,63	25	72,335	49,19	11,14
5	750600		3510	93600	3600	1440	632520	15930	89,80	0,63	25	72,462	49,12	6,47
6	722700		55080	90720	16200	0	557730	2970	87,99	0,61	25	77,806	46,50	5,69
7	3370500		120420	371520	36900	9540	2770830	61290	89,51	0,63	25	73,302	48,69	28,59
campus	916200		44460	254160	35100	900	570780	10800	82,25	0,54				

* Os valores de CNII e do coef. "C" foram retirados de tabelas propostas por Tucci (2001) e Genovez (2001).

Comparando as tabelas 2 e 3, nota-se que após a urbanização e a conseqüente impermeabilização do solo, haverá um significativo aumento na vazão máxima de todas as sub-bacias estudadas. Em todos os casos as vazões deverão sofrer um acréscimo superior a 140 %. Sendo que no exutório principal da bacia (jusante do Campus II) a vazão máxima passará de 11,70 para 28,59 m^3/s, correspondendo a um aumento aproximado de 140 %, constituindo grandes riscos à população, sobretudo devido ao aumento na possibilidade de enchentes à jusante desta bacia.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com a implantação do novo Campus da USP em São Carlos, a conseqüente impermeabilização do solo e o aumento das áreas urbanizadas deverão ocorrer drásticas mudanças no uso e ocupação do solo, ocasionando um aumento expressivo no escoamento superficial.

Observando os resultados, tem-se um panorama inicial do desenvolvimento urbano da região do Campus II, na Bacia do Córrego do Mineirinho. Recomenda-se um plano diretor com medidas mitigadoras para recuperar a bacia hidrográfica e os impactos em seus futuros moradores. Através de cenários modelados auxiliados por SIG, é possível determinar as ações necessárias para a conservação e recuperação ambiental após possíveis interferências antrópicas durante a implantação e a utilização do Campus II. No entanto, para a recuperação ambiental é preciso fundamentalmente de monitoramento ambiental contínuo. Com um Plano Diretor de Drenagem Urbana, novos critérios podem mitigar enchentes e poluição, decorrentes da urbanização do entorno do Córrego do Mineirinho.

As recomendações deste trabalho incentivaram a Prefeitura do Campus da USP São Carlos a implantar um sistema de alerta ambiental da ordem de R$ 108.000,00 para dar suporte à continuidade desta pesquisa, através de um monitoramento ambiental. Detalhes desta pesquisa podem ser visitados através do site do Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, do Laboratório de Hidráulica, Departamento de Hidráulica e Saneamento, da EESC/USP (www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica).

AGRADECIMENTOS – Ao Prof. Dr. Carlos Roberto de Andrade, EESC/USP, pelo seu incentivo durante este trabalho. À Prefeitura Administrativa do Campus de São Carlos, USP, e ao projeto FIPAI/FINEP-EESC/DAAE 01.02.0086.00 (www.planodiretorbus.hpgvip.com.br) , pelo apoio em trabalhos e material de apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENINI, R. M.; MENDIONDO, E. M.; MARTIOLI, C.; TONISSI, F. B. A Cenários Ambientais visando a mitigação de enchentes decorrentes da implantação do Campus II – USP, São Carlos – SP. **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: desafios à gestão da água no limiar do século XXI**, Curitiba, PR, 2003.

CAMPANA, N. A.; MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. A Multi Source Approach to Hydrologic Estimation in Urban Basins **Water Science and Technology**, , v. 32, n. 1, p. 233-240, 1995.

CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Diluvio basin, Porto Alegre. Brazil. **Urban Water**, v. 3, p. 113-124, Porto Alegre, Brasil, 2001.

GENOVEZ, A. M. Vazões máximas**. In: Hidrologia Aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D., Porto Alegre – RS, ABRH, p.79-81, 2001.

HAUGHTON, G & HUNTER, C. Sustainable cities. Regional Policies and Development Series 7. *Jessica Kingsley Publishers and regional Studies Association*. 357p, 1994.

MENDES, H. C., Plano Diretor de São Carlos, 2003; comunicação verbal, 2003.

PMSC – Prefeitura Municipal de São Carlos, Plano Diretor de São Carlos: **Conferência da Cidade: a cidade que temos, a cidade que queremos**, 2002.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação – 2 ed.; Porto Alegre: E. Universidade/ UFRGS: ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana*,* **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, Porto Alegre, v/7, n.1, Jan./Mar.2002, p.5-28, 2002.

USP - Licença Ambiental do Campus 2 em São Carlos, COESF – Comissão de Espaço Físico da USP, 2003.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. Ed. MacGew-Hill do Brasil, 1975.