

Enchentes urbanas no município do Rio de Janeiro (RJ): análise da influência da urbanização através da aplicação do modelo Soil Conservation Service

*Alexander Josef Sá Tobias da Costa**

RESUMO

O presente trabalho é parte da dissertação de Mestrado intitulada Modificações no comportamento hidrológico de bacias de hidrográficas no município do Rio de Janeiro (RJ) em função da urbanização, apresentada no Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG/UFRJ.

A temática enchentes urbanas na cidade do Rio de Janeiro é discutida nos meios científicos e acadêmicos com grande frequência. Entretanto, os órgãos governamentais somente se envolvem nessas discussões após a ocorrência de

grandes eventos catastróficos, que contabilizam elevadas perdas materiais e sociais. Pretende-se trazer uma contribuição ao desenvolvimento dos estudos relacionados a eventos de cheias urbanas, inserindo nos debates a visão dos profissionais ligados ao conhecimento geográfico, que até agora foram mantidos (ou se mantiveram ?) fora dessa questão.

PALAVRAS-CHAVE:

Enchentes urbanas, Bacias de Drenagem, Urbanização, Comportamento Hidrológico.

45

INTRODUÇÃO

No Brasil, as enchentes urbanas são bastante frequentes, ocorrendo em cidades de pequeno, médio e grande portes, como é o caso das duas maiores metrópoles do país, Rio de Janeiro e São Paulo. A recorrência dos eventos é pequena, tornando os meses chuvosos do verão uma época de constante risco. Entretanto, isso não determina ações mais concretas por parte dos órgãos governamentais responsáveis pela prevenção e atuação nestes fenômenos.

No caso do município do Rio de Janeiro, a situação se agrava já que desde o início da instalação da cidade o povo carioca convive com as enchentes urbanas (Lamego, 1964), muitas delas com gravíssimos prejuízos sociais e econômicos, como as que ocorreram em 1759, 1811, 1883, 1966, 1967 e 1988 (Costa, 1989), e mais recentemente em 1996.

O Serviço de Conservação de Solos (Soil Conservation Service) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América desenvolveu um conjunto integrado de técnicas para o

cálculo de vazões de pico de cheia em pequenas bacias naturais e urbanas em que não se dispõe de registros hidrométricos (U.S. Soil Conservation Service, 1972).

Os métodos utilizados pelo SCS foram estabelecidos, em primeiro lugar, para bacias naturais de pequenas dimensões, posteriormente generalizados para bacias urbanas e finalmente utilizados no estudo do impacto da urbanização no comportamento hidrológico de bacias hidrográficas. Deve-se destacar, apesar da simplicidade destas técnicas, o êxito obtido por diversos utilizadores (McCuen, 1982).

São objetivos do presente trabalho a identificação de mudanças causadas pelo processo de urbanização no regime de rios, através da aplicação do modelo do SCS em bacias hidrográficas no Maciço da Tijuca, no tempo atual, em situações pretéritas (com a bacia em seu estado natural e num estágio de urbanização menor que o atual) e em situação futura (com avançado estágio de urbanização).

O MODELO DO SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS)

O Serviço de Conservação de Solos (SOIL CONSERVATION SERVICE - SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América desenvolveu um conjunto integrado de técnicas para o cálculo de cheias em pequenas bacias naturais e urbanas (até cerca de 8 km²), que permitem determinar a vazão de ponta (U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE, 1972, 1975).

Os métodos utilizados pelo SCS foram estabelecidos, em primeiro lugar, para bacias naturais e posteriormente generalizados às bacias urbanas, para em seguida serem aplicados ao estudo do impacto da urbanização no comportamento hidrológico de bacias hidrográficas. Este último aspecto alcança uma crescente importância e preocupa cada vez mais as diversas autoridades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, em particular, no planejamento e controle do escoamento de águas em áreas urbanas.

As técnicas desenvolvidas pelo SCS destacam-se pela simplicidade, pela generalização de seu uso e pelo êxito alcançado por diversos pesquisadores, principalmente, é claro, nos Estados Unidos, onde alguns estados chegam mesmo a tornar seu uso obrigatório para estudos e obras que envolvam os recursos hídricos e necessitem de aprovação governamental.

A metodologia do SCS está fundamentalmente baseada num parâmetro que busca descrever o tipo e uso do solo e a condição da superfície em relação ao potencial de gerar escoamento superficial. Este parâmetro é representado pela sigla "CN" (*curve number* ou *complex number*), tendo tradução corrente em português a designação "número de escoamento".

O valor de CN está compreendido teoricamente entre zero e 100, sendo zero a representação de uma bacia de condutividade hidráulica infinita e 100 o valor correspondente a uma bacia totalmente impermeável. No entanto, é importante assinalar que o valor de CN não corresponde à percentagem de zonas impermeáveis da bacia.

A partir da análise de numerosas bacias, o SCS tabelou os valores de CN para diversos tipos de solo, sua utilização e condições de superfície, tanto para áreas rurais como para o ambiente urbano. Como é provável que as bacias apresentem regiões com valores de CN distintos, o valor global pode ser calculado pela ponderação dos diversos valores parciais de CN, feita em função das áreas a que cada um corresponde. Com base nos valores de CN e em características relativas às condições antecedentes de umidade, à declividade média da bacia, à área da bacia, à altura e ao período de retorno da chuva considerada, pode ser calculada a vazão de pico para uma determinada chuva. O modelo SCS permite, ainda, a consideração de fatores de correção relativos à ocorrência de zonas alagadas ou pantanosas.

ÁREA DE ESTUDO

As bacias hidrográficas onde o trabalho foi desenvolvido estão localizadas na zona sul do

município do Rio de Janeiro. No passado, os rios destas bacias drenavam diretamente para a Lagoa Rodrigo de Freitas: rio Cabeça (2,1 km²), rio Macacos (4,1 km²) e rio Rainha (3,4 km²). Por razões de ordem sanitária, na década de 1920 foi construído um canal artificial que, circunstando um trecho da lagoa, coleta as águas dessas bacias e as leva para o mar, numa saída localizada próximo ao final da praia do Leblon. Esse canal sofre influência do fenômeno de maré, podendo assim influir e intensificar as inundações e seus efeitos na área, quando ocorre a conjugação de marés e precipitações elevadas.

As cabeceiras dessas bacias de drenagem situam-se no maciço da Tijuca, em áreas cobertas pela Floresta da Tijuca, e os baixos cursos de seus rios cortam áreas intensamente urbanizadas. No interior das bacias são encontradas áreas ocupadas por habitações de luxo e favelas e outras por vegetação secundária, também existindo áreas desmatadas e sem recobrimento vegetal, além de muitos trechos com afloramentos rochosos. Pode-se perceber nas três bacias, nas últimas décadas, a substituição lenta das casas por edifícios com um número maior de pavimentos.

A direção NE-SW dos vales onde encontra-se a drenagem principal relaciona-se aos lineamentos regionais que caracterizam geologicamente a área, predominando, em termos litológicos, rochas metamórficas (gnaisses) com intrusões graníticas. Como as rochas ígneas possuem uma maior resistência à erosão que os gnaisses, encontramos a direção dos vales acompanhando os grandes diques de diabásio, nos altos cursos dos rios dessas bacias de drenagem.

As principais características dessas bacias, com rios de pequena extensão, são as grandes declividades em suas cabeceiras (que em contato abrupto com a planície praticamente determinam a inexistência de trechos de médio curso) e a localização de seus baixos cursos em planícies com declividades muito baixas, onde foram realizadas obras diversas para a modificação de seus leitos e margens.

Os solos do tipo latossolo são predominantes na área do maciço da Tijuca, com perfis profundos e pouca diferenciação entre os horizontes. Localizam-se principalmente em regiões de menor inclinação, onde os depósitos de encosta são mais espessos. Nas áreas superiores do maciço ocorrem os litossolos e os cambissolos, respectivamente em zonas de cabeceira desarticuladas dos paredões e nas encostas ao sopé dos paredões, em trechos de grande presença de blocos.

Em linhas gerais, o município do Rio de Janeiro está sob condições climáticas do tipo quente e úmido, com uma temperatura normal média em torno de 23° C, variando entre 17° C (nas porções mais elevadas do relevo) e 26° C. As precipitações médias anuais variam de 1500 a 2500 mm, com valores máximos no verão e mínimos no inverno. A presença dos maciços litorâneos no sentido NE-SW impede a circulação dos ventos úmidos provenientes do Oceano Atlântico, proporcionando a ocorrência de chuvas orográficas, que irão responder pelos diferentes totais anuais de precipitação encontrados na vertente litorânea dessas elevações - nas cotas inferiores a 500 metros, até 2000 mm/ano; nas cotas superiores a 500 metros, mais de 2000 mm/ano.

No caso dessas bacias de drenagem escolhidas para o desenvolvimento do trabalho, com pequena área e com encostas de declives acentuados, o regime fluvial está condicionado às condições de pluviosidade. Suas cheias e os níveis por elas atingidos são respostas quase imediatas à magnitude e frequência dos eventos de chuva.

PROCEDIMENTOS PARA APLICAÇÃO DO MODELO SCS

A primeira etapa para a aplicação do modelo SCS nas bacias hidrográficas estudadas foi a obtenção dos diversos dados de entrada, relativos às suas características físicas e do uso do solo. Esses dados foram obtidos a partir de:

- a) cartas topográficas, na escala 1:10.000, elaboradas pelo IPLANRIO (Instituto de Pla-

nejamento do Rio de Janeiro), órgão ligado à Secretaria Municipal de Planejamento. O levantamento aerofotogramétrico que serviu de base para esse mapeamento foi realizado em fevereiro de 1976, sendo este o último elaborado nessa escala na área.

b) registros pluviométricos dos postos hidrológicos da SERLA (Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas) - Parque da Cidade, Chácara do Cabeça e Horto Florestal, com uma série temporal de 1967 até 1981. Os registros fluviométricos dos postos da SERLA (estações PUC - rio Rainha, rua Inglês de Souza - rio Cabeça e Jardim Botânico - rio Macacos) também se constituíram em indispensável fonte de dados que foram utilizados em etapas seguintes do trabalho. Os registros fluviométricos possuem a mesma série temporal dos registros pluviométricos (1967 a 1981).

Os dados iniciais necessários ao funcionamento do modelo SCS são: 1) área da bacia de drenagem; 2) comprimento hidráulico de canais; 3) declividade média da bacia de drenagem; 4) o(s) tipo(s) de solo; 5) o(s) uso(s) do solo; 6) a área ocupada por zonas alagadas ou pantanosas (se houver); 7) a altura da chuva; 8) a precipitação total nos cinco dias anteriores ao evento pluviométrico estudado.

A etapa seguinte foi o levantamento dos eventos pluviométricos e fluviométricos que seriam utilizados na calibragem do modelo e nos estudos propriamente ditos. Usou-se como critério de escolha os valores de intensidade de chuva iguais ou acima de 80 mm/24h, de acordo com os registros pluviométricos diários obtidos nas listagens existentes na SERLA. Optou-se por esse valor por ser bastante comum a ocorrência de cheias e inundações quando esses níveis de intensidade de chuva são alcançados, sendo essa intensidade (80 mm/24h) o valor aproximado de uma chuva com período de retorno igual a um ano.

O intuito da busca dos registros pluviométricos

e fluviométricos foi a elaboração dos hidrogramas (gráficos chuva x vazão) relativos aos eventos causadores de inundações, que também seriam usados na etapa da calibragem do modelo.

Após a calibragem do modelo, seguiram-se as duas últimas etapas do trabalho. Primeiramente, buscou-se a recuperação de informações relativas ao uso do solo pretérito nas bacias de drenagem em estudo, através de mapas antigos. Dessa forma, foi viabilizada a última etapa, a aplicação do modelo SCS em diferentes estágios de urbanização, com o intuito de avaliar a influência desse processo no comportamento hidrológico de bacias hidrográficas localizadas no município do Rio de Janeiro. Ainda consta, nessa última etapa, a simulação do comportamento das bacias de drenagem em situações futuras, com um estágio de urbanização mais avançado do que o existente nos dias atuais.

Deve-se ressaltar que a aplicação do modelo SCS foi desenvolvida em diferentes estágios de urbanização da área de estudo e sob eventos pluviométricos de diferentes intensidades e, conseqüentemente, de diferentes tempos de retorno.

APLICAÇÃO DO MODELO SCS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados iniciais de entrada necessários ao funcionamento do modelo SCS foram retirados das cartas topográficas em escala 1:10.000, elaboradas em 1976, e estão relacionados na Tabela 1. A análise desta tabela nos permite identificar algumas características fisiográficas das bacias em estudo que estão diretamente relacionadas ao comportamento hidrológico e, mais especificamente, ao escoamento superficial que é gerado nessas áreas.

TABELA 1 - DADOS INICIAIS DAS BACIAS DE DRENAGEM (IPLANRIO -1:10.000)

	Bacia do rio Cabeça	Bacia do rio Rainha	Bacia do rio Macacos
Área (km ²)	2,39	3,67	6,1
Comp.hidráulico canais(km)	11,7	17,5	23,0
Declividade média(%)	41	34	36

Apesar da variação da área entre elas, são bacias de drenagem de pequena extensão, o que proporciona maior rapidez das respostas dos canais de drenagem aos eventos pluviométricos, principalmente aos de grande intensidade. O elevado comprimento hidráulico das bacias também contribui para respostas mais rápidas dos canais, já que dessa forma o escoamento superficial chega em pouco tempo às linhas de drenagem. As elevadas declividades médias encontradas nas bacias hidrográficas atuam igualmente na mudança quase imediata do comportamento dos canais de drenagem, após o início das precipitações.

As chuvas que foram utilizadas na calibragem do modelo SCS foram escolhidas de acordo com a intensidade igual ou superior a 80 mm/24 h, classificadas por Pfafstetter (1957) como chuvas intensas. Entretanto, foram detectados problemas nos registros dos pluviógrafos e/ou dos linígrafos num elevado número de eventos pluviométricos, o que inviabilizou a utilização dessas chuvas nesta etapa de calibragem. Dessa maneira, foi necessário recorrer a chuvas com intensidades menores, de forma a ter um número maior de eventos para a utilização na etapa de calibragem do modelo SCS. Isso, entretanto, nem sempre foi possível, como no caso da estação pluviométrica do Parque da Cidade e da estação fluviométrica da PUC, localizadas na bacia do rio Rainha. Nessas estações pôde-se identificar a perda da maioria dos registros pluviométricos e fluviométricos relativos a chuvas com intensidades mais elevadas, mesmo daquelas abaixo do limite estabelecido.

As curvas-chave (curvas cota-vazão) foram elaboradas para as bacias em estudo seguindo a metodologia adotada pela Divisão de Hidrologia da SERLA. A partir dos registros fluviométricos relativos aos eventos de chuva escolhidos, foram identificadas e relacionadas as cotas às va-

zões através das curvas-chave. Em seguida, partiu-se para a elaboração dos hidrogramas para cada chuva escolhida das bacias de drenagem em estudo.

A calibragem do modelo SCS para as bacias dos rios Cabeça, Rainha e Macacos foi realizada com base nos totais pluviométricos das chuvas aproveitadas e nos valores de vazão de pico ou vazão máxima relativos a esses eventos de chuva.

A Tabela 2 compara os valores de vazão de pico obtidos a partir das curvas-chave com aqueles alcançados com a utilização do modelo SCS, mostrando a variação entre os resultados encontrados na bacia do rio Cabeça.

TABELA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE VAZÃO (M³/S) OBTIDOS A PARTIR DO MODELO SCS E DAS CURVAS - CHAVE/BACIA DO RIO CABEÇA

Chuva	SCS	Curva - chave	Diferença
A	1,69	1,70	-0,5%
B	1,66	1,55	+7 %
C	1,65	1,55	+6 %
D	0,80	0,88	-9 %
E	1,46	1,60	-8 %

Analisando a Tabela 2, podemos perceber que, na bacia do rio Cabeça, o modelo SCS nos mostra bons resultados para a chuva A e apresenta resultados aceitáveis para as chuvas B, C, D e E. A calibragem do modelo SCS para os rios Rainha e Macacos também apresenta valores bastante satisfatórios para as chuvas analisadas.

Deve ser acrescentado que existiram duas outras formas de calibragem para o modelo SCS. A primeira foi a utilização de dados gerados por outro modelo, o Hydrocomp Simulation Programming - HSP - (CNEC, 1973), que achou 8,7 m³/s para a vazão máxima do rio Macacos, no dia 26/02/1971, enquanto o modelo SCS alcançou 8,13 m³/s para o mesmo evento. A se-

gunda forma foi através dos valores encontrados por Ulisses Alcântara (*A vazão do Rio Rainha*, relatório elaborado em 1963), através de diversas equações que, para uma chuva com período de retorno de 50 anos, chegou a valores de vazão máxima para o rio Rainha entre 18,21 m³/s e 21,18 m³/s, próximos do valor obtido pelo modelo SCS para tal evento, que foi de 21,99 m³/s.

A aplicação do modelo SCS foi efetuada nas bacias hidrográficas em estudo em diferentes etapas do processo de urbanização da área. Foram definidos quatro períodos para o desenvolvimento do trabalho :

- a) as bacias em estado natural, sem urbanização;
- b) final da década de 20 (1929), no início do processo de urbanização da área;
- c) década de 70 (1976), num período com nível de urbanização próximo ao atual ;
- d) “período futuro”, correspondendo a um estágio de urbanização três vezes maior que o da década de 70.

A última etapa antes da aplicação do modelo SCS foi a busca de mapas antigos da área de estudo, com o intuito de resgatar informações relativas ao uso do solo pretérito nas bacias hidrográficas dos rios Rainha, Macacos e Cabeça. Através dessas informações, a aplicação do modelo em diferentes períodos de urbanização se concretizou. Optou-se pela utilização do mapa organizado por Arthur Duarte Ribeiro para o Guia Briguiet, no ano de 1929, chamado “Planta Informativa da Cidade do Rio de Janeiro”, elaborado em escala aproximada 1:25.000 . O mapeamento do uso do solo e a escala de detalhe do mapa foram os elementos que basearam tal escolha.

Com a aplicação do modelo SCS em diferentes estágios de urbanização da área, pode-se fazer um acompanhamento das mudanças ocorri-

das no comportamento hidrológico das bacias de drenagem, identificando as alterações existentes nas vazões máximas relativas a eventos pluviométricos de diferentes intensidades e tempos de retorno.

Foram selecionados seis tempos de retorno diferentes para a aplicação do modelo SCS, que estão relacionados a seguir, de acordo com a equação desenvolvida por Pfafstetter (1957) para a área de estudo (Tabela 3).

TABELA 3 - TEMPO DE RETORNO E INTENSIDADE DAS CHUVAS ESCOLHIDAS PARA APLICAÇÃO DO MODELO SCS

Tempo de retorno	Intensidade da chuva
1 ano	83 mm / 24 h
5 anos	136 mm / 24 h
10 anos	160 mm / 24 h
50 anos	217 mm / 24 h
100 anos	244 mm / 24 h
200 anos	272 mm / 24 h

Após o cálculo dos números de escoamento (CN) relativos aos diferentes períodos de urbanização analisados, partiu-se para a aplicação do modelo SCS nas bacias hidrográficas . Alguns dos resultados obtidos para a aplicação do modelo SCS nas bacias hidrográficas dos rios Rainha, Macacos e Cabeça são apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6. Para uma melhor visualização dos resultados obtidos, foi elaborado outro tipo de tabela, mostrando o número de vezes do aumento da vazão de pico devido à modificação da área urbanizada (Tabelas 7 a 9).

Observando as Tabelas 4, 5 e 6, relativas a condições de pequena umidade antecedente, podemos confirmar o incremento das vazões a partir do crescimento das áreas urbanas, como era esperado. Entretanto, o que chama a atenção é a intensa mudança dos valores de vazão de pico

TABELA 4 - VALORES DE VAZÃO DE PICO (m^3/s) OBTIDOS PELO MODELO SCS PARA A BACIA DO RIO RAINHA EM DIVERSOS ESTÁGIOS DE URBANIZAÇÃO PARA CHUVAS COM DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, SOB CONDIÇÕES DE UMIDADE ANTECEDENTE BAIXA

	NATURAL	1929	1976	FUTURO
TR=1 (83mm/24h)	0.22	0.48	0.81	3.60
TR=5 (136mm/24h)	2.05	2.82	3.67	9.57
TR=10(160mm/24h)	3.33	4.33	5.40	12.65
TR=50(217mm/24h)	7.17	8.67	10.20	20.50
TR=100(244mm/24h)	9.30	11.01	12.75	24.40
TR=200(272mm/24h)	11.66	13.59	15.51	28.52

TABELA 5 - VALORES DE VAZÃO DE PICO (m^3/s) OBTIDOS PELO MODELO SCS PARA A BACIA DO RIO CABEÇA EM DIVERSOS ESTÁGIOS DE URBANIZAÇÃO PARA CHUVAS COM DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, SOB CONDIÇÕES DE UMIDADE ANTECEDENTE BAIXA

	NATURAL	1929	1976	FUTURO
TR=1 (83mm/24h)	0.19	0.46	0.92	1.64
TR=5 (136mm/24h)	1.70	2.51	3.60	5.03
TR=10 (160mm/24h)	2.76	3.80	5.16	6.86
TR=50 (217mm/24h)	5.94	7.49	9.41	11.70
TR=100(244mm/24h)	7.70	9.47	11.63	14.14
TR=200(272mm/24h)	9.64	11.64	14.02	16.75

TABELA 6 - VALORES DE VAZÃO DE PICO (m^3/s) OBTIDOS PELO MODELO SCS PARA A BACIA DO RIO MACACOS EM DIVERSOS ESTÁGIOS DE URBANIZAÇÃO PARA CHUVAS COM DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO, SOB CONDIÇÕES DE UMIDADE ANTECEDENTE BAIXA

	NATURAL	1929	1976	FUTURO
TR=1 (83mm/24h)	0.07	0.17	0.29	0.94
TR=5 (136mm/24h)	1.79	2.22	2.69	4.51
TR=10 (160mm/24h)	3.16	3.75	4.36	6.70
TR=50 (217mm/24h)	7.47	8.42	9.38	12.84
TR=100(244mm/24h)	9.94	11.04	12.15	16.09
TR=200(272mm/24h)	12.72	13.97	15.24	19.64

em todas as bacias estudadas. Podemos perceber que vazões de pico alcançadas em estado natural com chuvas de 200 anos de retorno são obtidas em 1929 com chuvas de aproximadamente 100 anos de retorno e em 1976 com chuvas de apenas 50 anos de retorno, aproximadamente, nas bacias dos rios Cabeça e Rainha. A bacia do rio Macacos tem um ritmo de mudança menos intensa, com chuvas de 200 anos de retorno, em estado natural, correspondendo, em 1976, a chuvas com cerca de 100 anos de retorno. Essa diminuição dos tempos de retorno para o alcance dos valores de vazão de pico obtidos em estado natural é válido para todas as bacias em estudo e para todas as intensidades de chuva.

Ao observarmos os valores relativos ao período futuro, onde há o aumento de três vezes da área urbanizada, identificamos a profunda intensificação do aumento de vazões. Na bacia de rio Macacos há a obtenção com chuvas de apenas 50 anos de retorno dos valores de vazão de pico alcançados em estado natural com chuvas de 200 anos de retorno.

Na bacia do rio Cabeça a situação se agrava, já que valores de vazão relativos a chuvas de 200 anos de retorno são alcançados com chuvas de período de retorno de menos de 50 anos. No entanto, é na bacia do rio Rainha que as projeções são mais preocupan-

tes, pois com chuvas de menos de 10 anos de retorno já serão obtidos valores de vazão de pico antes só alcançados, em estado natural, com chuvas de 200 anos de retorno. Ou seja, nessa bacia no período futuro, com cerca de 150 mm de chuva em 24 horas será alcançado a mesma vazão de pico que era obtida em estado natural com 272 mm em 24 horas.

Partindo para a análise das Tabelas 7, 8 e 9, que mostram a variação das vazões de pico em função do aumento da área urbanizada, temos dois importantes comportamentos em todas as bacias a serem observados:

- a) as chuvas com menor tempo de retorno causam maior acréscimo nas vazões com o aumento da urbanização;
- b) com o aumento do tempo de retorno, identificamos a menor influência da urbanização no aumento das vazões de pico.

De acordo com o exposto acima, buscou-se explicar tais fatos com os argumentos que se seguem:

- i) confirmou-se a hipótese desenvolvida por Hollis (1975), na qual se afirma que o efeito da urbanização declina em termos relativos com o aumento do intervalo de recorrência da cheia;
- ii) após atingido o valor das perdas iniciais (evaporação, interceptação e infiltração), todo

TABELA 7 - NÚMERO DE VEZES DO AUMENTO DA VAZÃO DE PICO OBTIDA PELO MODELO SCS PARA A CONDIÇÃO DE UMIDADE ANTECEDENTE BAIXA ENTRE DIFERENTES PERÍODOS DE URBANIZAÇÃO E COM CHUVAS DE DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO - RIO RAINHA

	NATURAL P/ 1929	1929 P/ 1976	1976 P/ FUTURO	NATURAL P/ 1976	NATURAL P/ FUTURO
TR=1	2.18	1.69	4.44	3.68	16.36
TR=5	1.38	1.30	2.61	1.79	4.67
TR=10	1.30	1.25	2.34	1.62	3.80
TR=50	1.21	1.18	2.01	1.42	2.86
TR=100	1.18	1.16	1.91	1.37	2.62
TR=200	1.17	1.14	1.84	1.33	2.45

TABELA 8 - NÚMERO DE VEZES DO AUMENTO DA VAZÃO DE PICO OBTIDA PELO MODELO SCS PARA A CONDIÇÃO DE UMIDADE ANTECEDENTE BAIXA ENTRE DIFERENTES PERÍODOS DE URBANIZAÇÃO E COM CHUVAS DE DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO - RIO CABEÇA

	NATURAL P/ 1929	1929 P/ 1976	1976 P/ FUTURO	NATURAL P/ 1976	NATURAL P/ FUTURO
TR=1	2.42	2.00	1.78	4.84	8.63
TR=5	1.48	1.43	1.40	2.11	2.96
TR=10	1.38	1.36	1.33	1.87	2.96
TR=50	1.26	1.26	1.24	1.58	1.97
TR=100	1.23	1.23	1.22	1.51	1.84
TR=200	1.21	1.20	1.19	1.45	1.74

TABELA 9 - NÚMERO DE VEZES DO AUMENTO DA VAZÃO DE PICO OBTIDA PELO MODELO SCS PARA A CONDIÇÃO DE UMIDADE ANTECEDENTE BAIXA ENTRE DIFERENTES PERÍODOS DE URBANIZAÇÃO E COM CHUVAS DE DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO - RIO MACACOS

	NATURAL P/ 1929	1929 P/ 1976	1976 P/ FUTURO	NATURAL P/ 1976	NATURAL P/ FUTURO
TR=1	2.43	1.71	3.24	4.14	13.43
TR=5	1.24	1.21	1.68	1.50	2.52
TR=10	1.19	1.16	1.54	1.38	2.12
TR=50	1.13	1.11	1.37	1.25	1.72
TR=100	1.11	1.10	1.32	1.22	1.62
TR=200	1.10	1.09	1.29	1.54	1.20

o excedente da chuva (precipitação útil) transforma-se em escoamento superficial. Por isso, com o aumento da intensidade das chuvas, tende a ocorrer menor aumento nos valores de vazão de pico.

É importante ressaltar, ainda observando as Tabelas 7, 8 e 9, o incremento dos valores das vazões de pico relativos às chuvas com pequeno tempo de retorno, que sofrem aumento de 3 a 5 vezes, entre a bacia em estado natural e 1976, podendo chegar a até 16 vezes o acréscimo no período futuro, com a atual área urbana multiplicada

por três. As chuvas com maior tempo de retorno não chegam a dobrar os valores da vazão até 1976, e, mesmo no período futuro, só alcançam o aumento de 2 vezes na bacia do rio Rainha.

Como as chuvas de tempos de retorno de 50, 100 e 200 anos sempre causaram (e causarão) problemas de enchentes, a preocupação se volta para a ocorrência desse fenômeno com magnitudes cada vez maiores para as mesmas intensidades de chuva do passado e, conseqüentemente, intensidades de chuva cada vez menores causando cheias e inundações.

CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

A cidade do Rio de Janeiro convive com inundações desde a sua fundação, muitas das quais se tornaram eventos causadores de graves prejuízos humanos e materiais. Sendo uma área densamente povoada, milhares de pessoas sofrem os transtornos das cheias, com uma tendência ao aumento desse número, visto o contínuo crescimento urbano verificado na cidade.

Uma análise do meio físico carioca nos leva a concluir que existe um quadro amplamente favorável à ocorrência do fenômeno das cheias: altas declividades nas encostas; solos pouco espessos; o abrupto contato das elevadas inclinações das encostas com as terras planas; as grandes intensidades das chuvas no verão; a pequena extensão das bacias de drenagem, entre outros fatores.

Essas características físicas, junto com a desordenada ocupação do solo urbano (desmatamentos, favelas e outras construções nas encostas, ocupação das margens dos rio, infra-estrutura de esgotos e águas pluviais insuficientes) fazem com que as áreas que contornam os maciços cariocas sofram frequentemente danos com as cheias, principalmente as que estão próximas ao maciço da Tijuca, região de mais densa ocupação, drenada por vários rios, como o Rainha, Cabeça e Macacos, na zona sul da cidade.

Independente do avanço tecnológico e das conquistas computacionais, existe hoje (e, na verdade, sempre existirá) uma dificuldade de simulação dos processos naturais, através do desenvolvimento de modelos. A reprodução fiel do complexo comportamento da natureza não é, de forma alguma, o objetivo dos modelos. Os modelos são apenas importantes ferramentas para o estudo das dinâmicas da natureza e nunca irão produzir resultados perfeitos, por mais que se desenvolvam modernas técnicas e sejam aprimorados e criados novos modelos.

Conhecida a imperfeição dos resultados dos modelos, cabe ao usuário controlá-la e saber dimensionar os erros existentes. No caso do presente trabalho, contribuem como fonte de erros

os dados de chuva e de variação de cota registrados pelos postos hidrológicos da SERLA, tanto na quantidade como, principalmente, na qualidade, a qual muitas vezes deve ser questionada. Isto vai de encontro às idéias de Gupta (1984) sobre a obtenção e a disponibilidade de dados hidrológicos em países subdesenvolvidos.

Como foi visto, a etapa de calibragem sofreu limitações que podem ter contribuído para as diferenças encontradas entre os valores obtidos através da curva-chave e do modelo SCS. Sem dúvida, a obtenção de dados pluviométricos e fluviométricos em maior quantidade e com mais confiabilidade é um ponto fundamental para uma melhor compreensão e estudo do comportamento hidrológico das bacias urbanas do Rio de Janeiro. Durante a execução do trabalho, pudemos constatar a falta de precisão dos registros hidrológicos das estações da SERLA, o que dificultou o desenvolvimento deste estudo sobre o comportamento das bacias hidrográficas de nossa cidade.

Alguns pontos do modelo SCS merecem a atenção de seus usuários, de forma a serem alcançados resultados mais apurados. Após a calibragem e a aplicação do modelo nas bacias de drenagem da área de estudo, pôde-se verificar a necessidade de ajustar os valores relativos aos intervalos de umidade antecedente, adaptando-os ao ambiente tropical. O ajuste feito neste trabalho foi o aumento desses valores em duas vezes, mas, talvez, sejam pertinentes outros estudos mais aprofundados, de forma a melhorar os resultados obtidos.

Outro ajuste no modelo SCS diz respeito à correção dos valores de CN (número de escoamento) para a condição de umidade antecedente mais elevada, que tendeu a hiperestimar os valores de vazão de pico. Como os eventos de alta intensidade precedidos por alta umidade antecedente são pouco frequentes, a aplicação do modelo não sofreu maiores impedimentos. Porém, é uma limitação que deve ser superada.

A determinação do CN (número de escoamento) também pode ser melhor ajustada atra-

vés da utilização de sensoriamento remoto, ou por meio de fotografias aéreas ou imagens de satélite. Foram encontrados na pesquisa bibliográfica estudos realizados com a aplicação do modelo SCS que contaram com o apoio de imagens digitais Landsat e obtiveram resultados satisfatórios. A utilização do sensoriamento remoto traz novas possibilidades para a aplicação do modelo, principalmente em relação à obtenção de dados atualizados sobre a ocupação do solo urbano. Entretanto, a carta topográfica continua sendo um excelente material de apoio, visto os bons resultados obtidos através de seu uso.

A aplicação do modelo SCS nas bacias dos rios Rainha, Macacos e Cabeça obteve sucesso, pois confirmou as idéias e os estudos desenvolvidos por Leopold, Hollis e outros autores sobre a importância do processo de urbanização na modificação do comportamento hidrológico de bacias de drenagem. Foram verificadas sensíveis mudanças nos tempos de concentração das bacias, nos valores das perdas iniciais (evaporação, interceptação e infiltração) e no volume do escoamento superficial, que contribuem para o imediato aumento dos valores de vazão de pico.

O trabalho desenvolvido também logrou êxito ao se unir às formulações elaboradas por Leopold (1968) e Hollis (1975), na medida em que se confirmaram as mudanças nos hidrogramas de cheia (com a diminuição da tempo de atraso e o aumento da vazão de pico) e a diminuição da importância relativa da urbanização com o aumento do intervalo de recorrência das chuvas.

Os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo SCS mostram o considerável aumento das vazões de pico com o avanço da urbanização. A principal e imediata consequência deste fato é a intensificação da ocorrência e da magnitude das cheias, já que valores maiores de vazão de pico são alcançados com totais de chuva cada vez menores.

Os resultados numéricos obtidos através do modelo tornam-se merecedores de profunda reflexão por parte dos pesquisadores envolvidos

com o fenômeno das cheias. Valores de vazão de pico alcançados nas bacias em estado natural com chuvas de 200 anos de retorno, no período atual podem ser atingidos através de chuvas com apenas 50 anos de retorno e num, período futuro, com chuvas de somente 10 anos de retorno, o que também confirma os estudos formulados por Hollis (1975) sobre os incrementos das cheias.

Por fim, pode-se concluir pela validade da utilização do modelo SCS para a avaliação de modificações no comportamento de bacias hidrográficas tropicais, em função do processo de urbanização. Mesmo necessitando de pequenos ajustes, o modelo SCS é uma poderosa ferramenta nos estudos hidrológicos ligados às cheias urbanas, que tantos incômodos e prejuízos trazem à população carioca. O modelo atende plenamente aos fins de monitoramento das bacias de drenagem urbanas, podendo ter seu uso difundido principalmente pela simplicidade que a sua aplicação envolve e também pela continuidade de seu aprimoramento.

Entretanto, mais importante que o uso de um determinado modelo é a disposição do poder público em empenhar esforços para a solução (ou ao menos a minimização) das cheias urbanas e dos problemas sociais e materiais decorrentes. Torna-se clara a necessidade de uma política de uso do solo urbano, envolvendo o planejamento urbano e o controle e prevenção de cheias urbanas. E é justamente aí que se insere a participação da comunidade científica, incluindo nós, geógrafos.

NOTA

* Professor do Departamento de Geografia – UERJ.
e-mail :ajcosta@uerj.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CNEC (CONSÓRCIO NACIONAL DE ENGENHEIROS CONSTRUTORES). *Projeto executivo do sistema de macro-drenagem das bacias dos rios Maracanã, Trapicheiros, Joana, Rainha, Macacos, Cabeças e seus afluentes - Volume 10 - Modelo de Simulação Hidrológica*. Rio de Janeiro : CNEC, 1973. 69 p.

- COELHO NETTO, A.L. O geoeossistema da floresta da Tijuca. In : Abreu, M.A. (Org.), *Natureza e sociedade no Rio de Janeiro*. 1992. 352 p. Rio de Janeiro : Secretaria Municipal de Cultura, Turismo e Esportes,
- COSTA, A.J.S.T. *Áreas com produção potencial de escoamento e enchentes urbanas no Município do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Departamento de Geografia / UERJ – Monografia, 1989. 118p.
- COSTA, A.J.S.T. *Modificações no comportamento hidrológico de bacias de hidrográficas no município do Rio de Janeiro(RJ) em função da urbanização*. Rio de Janeiro: PPGG/UFRJ - Departamento de Geografia - Dissertação de Mestrado, 1995. 125 p.
- GUPTA, A. *Urban hydrology and sedimentation in humid tropics*. Development and applications of geomorphology, 1984.
- HOLLIS, G.E. The effect of urbanization on floods of different recurrence interval. *Water Resources Research*. v. 11, n. 3, p. 431-435, 1975.
- LAMEGO, A.R. *O Homem e a Guanabara*. Rio de Janeiro: IBGE / CNG, 1964. 249p.
- LEOPOLD, L.B. Hydrology for urban land planning - a guidebook on the hydrologic effects of urban land use. *U.S.G.S. Circular*. n. 554, p. 1-18, 1968.
- LNEC (Laboratório NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL). *Impacto de actividades humanas no comportamento hidrológico de bacias hidrográficas*. Lisboa: LNEC, 1983. 46 p.
- McCUEN, R.H. *A guide to hydrologic analysis using SCS methods*. New Jersey: Prentice Hall, 1982. 145p.
- PFAFSTETTER, O. *Chuvas intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas em 98 postos com pluviógrafos*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1957.
- RIBEIRO, A.D. *Planta informativa da cidade do Rio de Janeiro*. Organizada para o Guia Briguier, 1929.
- U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS) *Hydrology - Section 4*. Washington : U.S.Department of Agriculture, 1972.
- U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS) *Urban hydrology for small watersheds*. Washington : U.S.Department of Agriculture, 1975.

ABSTRACT

In Brazil, the urban floods is quite frequent, happening in cities of small, medium and big load. The recurrence of the events is small, turning the rainy months of the summer a time of constant risk. In the case of the Rio de Janeiro City the situation becomes worse, since since the beginning of the installation of the city the people live together with the urban floods. The Soil Conservation Service / Dept of Agriculture - USA it developed an integrated group of techniques for the calculation of pick discharge of full in small natural and urban basins in that is not had registrations hydrometrical .The methods used by SCS were established in first place for natural basins, of small dimensions, later on generalized for urban basins and finally used in the study of the impact of the urbanization in the behavior hydrological of drainage basins . We could present as objectives of this work the identification of changes caused by the urbanization process in the regime of rivers, through the application of the model of SCS in drainage basins in the Massive of Tijuca, in the current time, in past situations (with the basin in its natural state and in an apprenticeship of smaller urbanization than the current) and in future situation (with advanced urbanization apprenticeship).

KEYWORDS:

Urban Floods, Drainage Basins, Hydrological Impacts.