Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ESTIMATIVA DE ESCOAMENTO PLUVIAL PRÉ URBANIZAÇÃO DE UMA BACIA PARA SUBSIDIAR PROJETOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL E INFRAESTRUTURA VERDE

CARVALHO, Paulo Roberto S.C de (1); ZANELLA, Luciano (2)[1]

(1) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP, sccarvalho.paulo@gmail.com
(2) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP, lucianoz@ipt.br

RESUMO

As enchentes e alagamentos nos centros urbanos tendem a apresentar maior frequência e magnitude impulsionados pela desordenada urbanização, impermeabilização dos solos e aumento da intensidade dos eventos chuvosos. Tais eventos são indutores de prejuízos materiais, sociais e ambientais. A adoção de sistemas convencionais de drenagem pluvial apenas transfere o problema para jusante das bacias de contribuição. Em contraponto às técnicas tradicionais, vêm ganhando espaço as técnicas de drenagem sustentável e infraestrutura verde, conjunto de dispositivos e soluções que permite o manejo das águas de drenagem tendo por base uma abordagem conceitualmente diferente, privilegiando a redução do escoamento superficial. Para estimar os impactos da urbanização é necessário estabelecer o regime de escoamento de águas pluviais no cenário pré urbanização para verificar o potencial máximo de retenção de escoamento superficial da bacia e tentar resgatar as condições naturais de escoamento. Serão demonstradas as etapas de cálculo necessários para levantamento das características de escoamento pré urbanização na bacia do córrego Tiburtino, localizado no zona oeste da cidade de São Paulo que devem ser usados como base para estimar os efeitos da urbanização sobre o terreno natural e auxiliar na busca da reaproximação às condições naturais de escoamento do terreno.

Palavras-chave: *infraestrutura verde, drenagem sustentável, cenário pré urbanização.*

ABSTRACT

Floods in urban centers tend to show greater frequency and magnitude driven by disordered urbanization, waterproofing of soils and an increase in intensity of rain events. Such events are potentially inducers of material, social and environmental damage. The adoption of conventional rainwater drainage systems only transfers the problem downstream. In contrast to traditional techniques, sustainable drainage techniques and green infrastructure are gaining ground, a set of devices and solutions that allows the management of drainage waters based on a conceptually different approach, favoring the reduction of surface runoff. In order to estimate the impacts of urbanization, it is necessary to establish the rainwater runoff regime in the pre-urbanization scenario to verify the maximum potential of retention of runoff from the basin and try to rescue the natural runoff conditions. This research will demonstrate the calculation steps necessary to survey the flow characteristics in the pre-

[1] CARVALHO, Paulo Roberto Santos Corrêa de; ZANELLA, Luciano. Estimativa de escoamento pluvial pré urbanização de uma bacia para subsidiar projetos de drenagem sustentável e infraestrutura verde. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020

urbanization scenario in the Tiburtino stream basin, located in the Lapa neighborhood, west of the city of São Paulo, which should be used as a basis to estimate the effects of urbanization on the natural terrain, as well as to assist in the search for a rapprochement with the natural conditions of flow of the terrain.

***Keywords**: green infrastructure, sustainable drainage, pre-urbanization scenario.*

1 INTRODUÇÃO

O controle atual do escoamento das águas urbanas tem sido realizado de forma equivocada com sensíveis prejuízos materiais e sociais. A origem do problema é devida, principalmente, a dois tipos de erros (TUCCI, 2005):

- Princípio dos projetos de drenagem: A drenagem urbana tem sido desenvolvida com base no princípio de que tem por objetivo a retirada da descarga pluvial excedente o mais rápido possível do seu lugar de origem;
- Avaliação e controle por trechos: O projeto de sistemas de micro drenagem promove o aumento das vazões e a transferência de todo o volume de água para jusante. Na macrodrenagem são constituídos canais para evitar a inundação em cada trecho crítico. Este tipo de solução segue a visão particular de um trecho da bacia sem que as consequências sejam previstas para o restante da mesma ou dentro de diferente horizonte de ocupação urbana. A canalização dos pontos críticos acaba apenas transferindo a inundação de um lugar para outro dentro da bacia.

Na cidade de São Paulo, o desenvolvimento urbano deu-se a partir da publicação do Plano de Avenidas publicado em 1930 e assinado pelos então engenheiros municipais Francisco Prestes Maia e João Florence D'Ulhôa Cintra. Surge a concepção de vias de tráfego rápido em talvegues e fundos de vale iniciando pela Avenida Anhangabaú, atual Avenida 9 de Julho, apresentando uma união entre urbanismo sanitarista e dos grandes eixos monumentais característico de Prestes Maia. Os fundos de vale, abandonados pela iniciativa privada devido à dificuldade de acesso e de ocupação foram contemplados pelo Plano de Avenidas para, simultaneamente, sanear e construir as avenidas. (OSELLO, 1983).

A Figura 1 mostra, em diferentes épocas, inundações ocorridas às margens do Rio Tietê.

Figura 1 – Inundação na Margina do Tietê 1968-2011



Fonte: Adaptado de Página Jornal Eletrônico Estado de São Paulo[2]

[2] Disponível em: http://acervo.estadao.com.br/noticias/acervo,rio-tiete-e-destino-de-esgoto-ha-mais-de-um-seculo,7203,0.htm Acesso em mai. 2017

A primeira foto data de 1968 onde é possível observar as edificações ao fundo. A segunda data do ano de 2011. Apesar das obras de canalização e retificação de seu leito que, em teoria traria, maior velocidade no escoamento e por consequência redução das enchentes, isso não se verifica na prática.

Verifica-se na prática alta suscetibilidade das vias de tráfego rápido construídas nas marginais do Rio Tietê na cidade de São Paulo. Desta forma faz-se necessário repensar a drenagem urbana à luz das técnicas compensatórias e drenagem sustentável, apoiada em Infraestrutura Verde (IEV).

2 TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Nas últimas décadas do século XX, a literatura acerca de drenagem urbana tem adotado uma série de termos para designar novas formas de se pensar na questão do controle de escoamento urbano. Termos como *Sustainable Urban Drainage System* (SUDS), *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), *Best Manager Practices* (BMP) e *Low Impact Development* (LID) (CIRIA, 2000; WHELANS et al.,1994; WONG, 2007 apud FLETCHER et al., 2014; SCHEULER, 1987; BARLOW et al.,1977 apud FLETCHER et al.,2014), apesar das diferentes origens, possuem grande intertextualidade no que se refere à amenização dos impactos no ciclo hidrológico advindos da urbanização e impermeabilização dos solos.

2.1 SUDS

SUDS Consiste em uma série de tecnologias e técnicas usadas para drenar superfícies de uma forma mais sustentável do que os sistemas convencionais. Baseiam-se na ideia de reproduzir, da forma mais próxima possível, as condições de escoamento do terreno natural no cenário pré-urbanização. (FLETCHER et al, 2014)

A filosofia do SUDS consiste em maximizar os benefícios e minimizar os impactos negativos do escoamento superficial de áreas urbanizadas. As técnicas de SUDS visam amenizar os picos de vazão e retardar a velocidade do escoamento das descargas pluviais e reduzir o risco do carreamento de poluição difusa a jusante. Este resultado pode ser alcançado através de detenção, infiltração, retardo, armazenamento e tratamento no próprio local. Essas técnicas podem ser usadas até mesmo em espaços pequenos. A aparente escassez de espaço não deve ser um motivo para a não adoção desse sistema. As técnicas de projetos de SUDS permitem o uso múltiplo do espaço particularmente nas cidades densas e centros urbanos onde a disponibilidade de área é aparentemente escassa. (CIRIA, 2013).

2.2 WSUD

O termo WSUD foi utilizado pela primeira vez por Mourittz (1992). De acordo com WHELANS et al. (1994 apud FLETCHER et al., 2014) seus objetivos consistem em:

- Gerenciar o balanço hídrico (considerando as vazões de águas subterrâneas, proteger as linhas de talvegue contra erosões e evitar danos causados por enchentes);
- Manutenção e melhoria da qualidade da água (incluindo minimização de transporte de sedimentos, proteção de vegetação ciliar, minimização do transporte de poluentes em águas superficiais e subterrâneas);

- Promoção da conservação da água (minimizando a necessidade de transposição de bacias para abastecimento por meio da captação de águas pluviais, reciclagem de águas servidas e redução da demanda de água para irrigação);
- Manutenção das águas relacionadas ao meio ambiente para uso recreativo.

2.3 Infraestrutura verde e biomimética

O termo Infraestrutura refere-se ao conjunto de serviços de base indispensáveis a uma cidade ou sociedade, tais como o abastecimento e a distribuição de água, gás e energia elétrica, rede telefônica, serviços básicos de saneamento, de transporte público etc. Por definição a infraestrutura é o conjunto de dispositivos e técnicas de engenharia que dão suporte a uma cidade.

Deve-se abordar também o conceito de biomimética que, de acordo com Benyus, (2007), é uma nova ciência que utiliza os modelos da natureza e depois os imita em seus processos para resolver os problemas humanos.

O conceito de biomimética, aliado à necessidade de infraestrutura urbana, resulta no conceito de Infraestrutura Verde (IEV). O termo verde refere-se a conferir certa sustentabilidade onde o aparato de suporte está aliado aos processos naturais. Os dispositivos de IEV são uma alternativa aos métodos convencionais de gerenciamento de descargas pluviais em áreas urbanas que utilizam e potencializam os processos naturais para mimetizar as características hidrológicas pré-urbanização (PERALES-MOMPARLER et al, 2016).

3 MÉTODO DO NÚMERO DE CURVA

Conforme demonstrado nos itens anteriores, a aplicação de IEV busca mimetizar o comportamento natural do solo quando do escoamento de águas pluviais. Deve-se, portanto, estimar os impactos da urbanização para auxiliar na elaboração e implantação de projetos de drenagem sustentável. Foi utilizada para o estudo a bacia do Córrego Tiburtino localizado no bairro da Lapa na zona oeste da cidade de São Paulo. Para a estimativa das condições pré e pós-urbanização foi utilizado o método do Número de Curva do *Soil Conservation Service* (SCS) dos Estados Unidos.

De acordo com DEBO e RESSE (2003), foi determinada uma relação entre chuva acumulada e coeficiente de escoamento para diversos tipos de solos em diferentes experiências do SCS. As equações foram desenvolvidas a princípio para pequenas bacias rurais. O Método do SCS é basicamente uma forma de estimar o escoamento superficial direto de uma bacia de contribuição durante 24 horas de chuva intensa, podendo ser usada para tempos de duração mais curtos. A primeira relação de proporção básica da metodologia é descrita pela equação 1:

$$Q = (P - 0{,}2S)^2 / (P + 0{,}8S) \quad (1)$$

Onde:

- S = Retenção potencial máxima (mm);
- Q = Vazão acumulada escoamento direto (mm);
- P = Chuva acumulada (mm);

O SCS definiu uma curva para determinar o valor de S em função do número de curva (CN). Esta curva é dada pela equação 2:

$$CN = 25400 / (254 + S) \quad (2)$$

Dessa forma é possível estimar as vazões de pico referente ao escoamento superficial conhecendo-se o valor de P e o coeficiente CN do solo para o cenário pré-urbanização.

4 MÉTODO

Conforme explicitado no Item 3, a partir dos valores de P e o valor de CN é possível estimar o escoamento superficial. O cálculo do valor de CN do solo para a bacia do córrego Tiburtino no cenário de pré-urbanização será demostrado a seguir.

O SCS classificou mais de 4.000 tipos de solos nos Estados Unidos em quatro tipos a fim de verificar o potencial de escoamento superficial. Na Tabela 1 é possível observar a classificação hidrológica dos solos proposta pelo SCS.

Tabela 1 – Valor de CN Para Bacias Urbanas e Suburbanas

Utilização ou cobertura do solo		Grupo de solos			
		A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo		72	81	88	91
com conservação do solo		62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
Floresta: cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições					
Com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m^2)	% média impermeável				
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Tucci et al,1993, apud Thomaz, 2013

De acordo com Sartori et al, (2005), no Brasil existem solos argilosos que se comportam de maneira muito diferente daquelas apontadas pelo estudo da SCS. Algumas classes de solos tanto argilosos como arenosos não pertencem aos grupos hidrológicos de solos com alto e baixo potencial de escoamento respectivamente.

Kutner et al (2001), citado por Sartori (2005) propuseram uma classificação alternativa dos solos permeáveis na Bacia do Alto Tietê em função dos diferentes

litotipos presentes nesta bacia, baseado na classificação hidrológica dos solos propostos pelo SCS. Cada litotipo presente na bacia do Alto Tietê gera um solo característico quanto à textura e permeabilidade que consiste em uma mistura dos diversos grupos hidrológicos mencionados na classificação proposta pelo SCS conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Composição porcentual proposta para os diferentes grupos de solos em cada um dos litotipos ocorrentes na bacia do Alto Tietê.

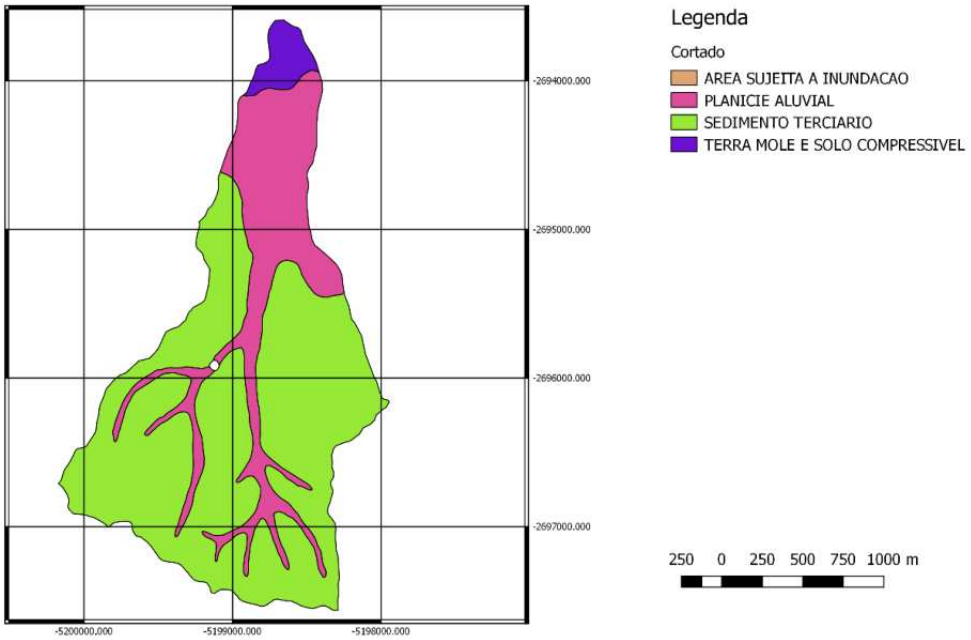
Litotipo	Solos			
	A	B	C	D
1 - Grupo dos Sedimentos Aluvionares (Qa)	15	25	30	30
2 - Grupo dos Sedimentos Terciários (TQa)	10	15	40	35
3 - Grupo das Intrusões Graníticas (pC Agg)	15	45	15	25
4 - Grupo dos Micaxistos (pC Amx)	5	10	35	50
5 - Grupo dos Filitos (pC Afm)	---	---	50	50
6 - Grupo dos Migmatitos e Gnaisses (pC Amg)	15	35	25	25

Fonte: Kutner et al. 2001, apud Sartori 2004

4.1 Pedologias

A Bacia do córrego Tiburtino tem seu ponto alto no espigão formado pela Avenida Cerro Corá, ao sul da bacia, e o seu ponto baixo localizado no leito do rio Tietê. O solo é formado basicamente por planície aluvionar, sedimento terciário terra mole e solo compressível, conforme Figura 2.

Figura 2 – Pedologia da Bacia do Córrego Tiburtino



Fonte: Adaptado de Portal Info Cidade e IBGE Mapas Temáticos do Solo

4.2 Definições do CN do solo para o cenário pré-urbanização

Para cálculo do escoamento superficial sobre a bacia de contribuição é necessário calcular o CN do solo para as condições existentes. Foi adotada a classificação de Kutner et al. (2001) citado por Sartori (2004).

A partir dos dados apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2, sob a luz do mapa pedológico da região conforme Figura 2, foi possível calcular o CN do solo equivalente conforme Tabela 3.

Tabela 3 – CN para a bacia do córrego Tiburtino

Grupos Solos SCS	*A (25)*	*B (55)*	*C (70)*	*D (77)*	*CN Final*	*Área (%)*	*CN Composto*
Sedimento Terciário	2,5	8,25	28	26,95	65,7	71,16%	46,75212
Planície Aluvionar	3,75	13,75	21	23,1	61,6	25,67%	15,81272
Terra Mole Solo Compressível	3,75	13,75	21	23,1	61,6	3,17%	1,95272
				CN Final			64,52

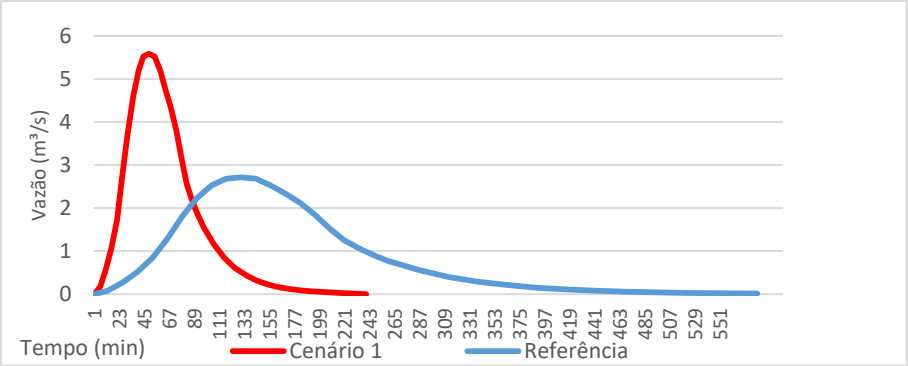
Fonte: Os autores

4.3 Construções do cenário de escoamento pluvial pré-urbanização

Para efeito de cálculo será adotado o Número de Curva CN para a condição pré-urbanização: CN=65.

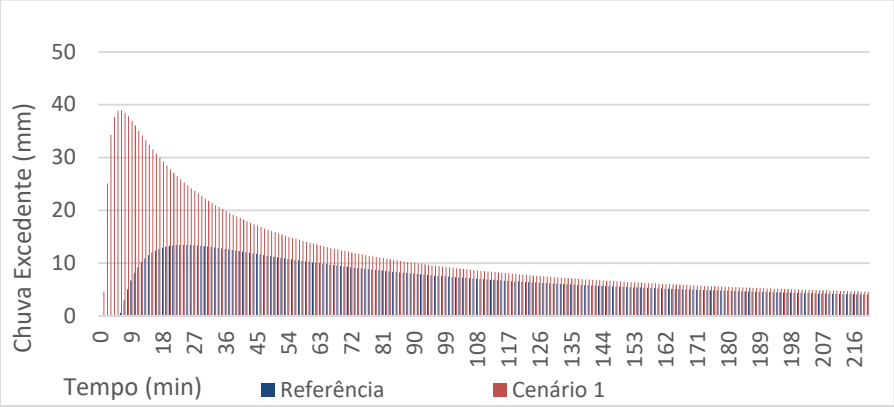
Utilizando as equações de chuvas intensas para a região, tempo de retorno (TR) de 20 anos e tempo de duração (td) igual a 60 minutos, é possível construir o hidrograma e o hietograma de chuva excedente para o Cenário pré-urbanização (Referência) e para efeito de comparação, o Cenário Pós Urbanização (Cenário 1) com CN 90 conforme preconizado pelo método SCS para áreas urbanizadas. A sobreposição dos gráficos é apresentada na Figura 3 e na Figura 4.

Figura 3 – Hidrograma - Cenário pré-urbanização



Fonte: Os autores

Figura 4 – Hietograma de Chuvas Excedentes - Cenário Pré-urbanização



Fonte: Os autores

5 CONCLUSÃO

No cenário pré-urbanização, a vazão de pico é 2,71m³/s e o tempo de pico é de 129,7 minutos. O pico do hietograma é de 13,45mm ocorrendo no instante t = 24 minutos após o início do evento chuvoso. No cenário pós-urbanização, a vazão de pico é 5,53 m³/s e o tempo de pico é de 48,36 minutos após o início do evento chuvoso. O pico do hietograma é de 38,91 mm ocorrendo no instante t = 6 minutos após o evento chuvoso.

A urbanização resultou num acréscimo de vazão de pico de 104% e uma redução no tempo de pico de 62,7%. O pico do hietograma aumentou em 189% e o tempo de pico foi reduzido em 75% passando de 24 para 6 minutos. A urbanização, como ocorreu no bairro, tem como efeito colateral tanto o crescimento na probabilidade de ocorrência de alagamentos, quanto a sua ocorrência em tempos menores a partir do início da chuva. A metodologia proposta permite estimar os efeitos da urbanização sobre o terreno natural para tentar resgatar as condições naturais de escoamento possibilitando maior sustentabilidade no manejo de águas pluviais em grandes centros urbanos.

REFERÊNCIAS

CIRIA (London). Department for Environment Foods & Rural Affairs. **The SuDS Manual**. 5. ed. London, 2015. 936 p. Disponível em: http://www.ciria.org/Resources/Free_publications/SuDS_manual_C753.aspx>. Acesso em: 18 set. 2016.

FLETCHER, Tim D. et al. SUDS, LID, BMP, WSUD and More: The Evolution and Application of Terminology Surrounding Urban Drainage. **Urban Water Journal**, Melbourne, v. 12, n. 7, p.525-542, 14 abr. 2014. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1573062X.2014.916314>. Acesso em: 04 jun. 2017.

OSELLO, Marcos Antonio. **Planejamento Urbano em São Paulo** (1899-1961): Introdução ao Estudo dos Planos e Realizações. 1983. 289 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Admininstração, Escola de Administração de Empresas de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 1983.

PERALES-MOMPARLER, Sara et al. The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: A case study in the Valencian region, Spain. **Journal of Cleaner Production**, v. 163, p. S113-S124, 2017.

SARTORI, Anderson. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Métodos do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos**. 2004. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SARTORI, Anderson; LOMBARDI NETO, Francisco; GENOVEZ, Abel Maia. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa de Chuva Excedente com Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Campinas, v. 10, n. 4, p.05-18, out. 2005. Bimestral. CD-ROM.

THOMAZ, Plínio. Curso de Manejo de Águas Pluviais: Infiltração Usando o Método do Número de Curva CN do SCS. In: THOMAZ, Plínio. **Curso de Manejo de Águas Pluviais**. São Paulo: Saae Guarulhos, 2013. Cap. 12. p. 1-31. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo12.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2016.

TUCCI, Carlos E. M.. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Rio Grande do Sul: Ministério das Cidades, 2005. 192 p.