

Regulamentação da drenagem urbana no Brasil

Stormwater regulation in Brazil

Submetido em: 17/01/15

Revisado em: 11/04/16

Aprovado em: 27/04/16

Carlos Eduardo Morelli Tucci

RESUMO: A urbanização gera aumento das áreas impermeáveis, condutos e canais. Esta urbanização produz aumento da frequência e magnitude das inundações, redução do escoamento durante a estiagem, aumento da erosão e de material sólido e a piora da qualidade da água. Estes impactos se distribuem internamente na cidade e podem ser transferidos para jusante nos rios e outras cidades. Para evitar os impactos é necessário regular os novos empreendimentos imobiliários, evitando a transferência de impacto das áreas privadas para a rede pública de drenagem. Neste artigo são apresentados os princípios utilizados, os critérios adotados em nível internacional e nacional para este controle, a metodologia de estimativa dos parâmetros de regulação para controle dos impactos utilizada em algumas cidades brasileiras e a avaliação dos resultados para Porto Alegre.

Palavras-chaves: drenagem urbana, controle, regulação.

ABSTRACT: Urbanization increases impervious areas, conduits and channels. This urbanization results in flood peak and frequency increase, flow reduction during drought, soil erosion and solid increase in the stormwater, together with reduction of overland flow water quality. In addition, these impacts affect other basins and cities downstream. In order to prevent these impacts there is a need for regulation of new developments, avoiding the transference of private development impacts to the public stormwater network. This paper described the criteria adopted at the international and national level for this control, and the methodology used in some Brazilian cities in order to estimate the regulation parameters and the assessment of its outputs for Porto Alegre.

Keywords: stormwater, control, regulation.

EFEITO DA URBANIZAÇÃO NO ESCOAMENTO

A precipitação numa bacia rural tem a oportunidade de infiltrar, ser retida por depressões e vegetações e evaporar pelo tempo que fica retida ou se desloca na bacia. Com a urbanização, a precipitação ocorre sobre espaços impermeáveis, aumentando o escoamento superficial e a velocidade de deslocamento por condutos e canais, diminuindo a oportunidade de infiltração e reduzindo a evapotranspiração. Este processo produz aumento da vazão de cheia e o volume superficial do hidrograma. Estes processos foram bastante documentados nas últimas décadas (LEOPOLD, 1968, SCHUELLER, 1987, TUCCI, 2007).

O aumento da vazão média de cheia, de uma bacia totalmente urbana, é da ordem de seis a sete vezes maior, com relação ao escoamento de condições da mesma bacia em condições rurais (LEOPOLD,

1968). Tucci (2007) mostrou, com dados da Região Metropolitana de Curitiba, aumento da vazão média de cheia de seis vezes na bacia do rio Belém (42 km², parte do centro de Curitiba), com relação as suas condições rurais. Schueller (1987) apresentou a relação entre o coeficiente de escoamento em função da sua área impermeável com base em dados de 44 bacias urbanas dos Estados Unidos. Tucci (2007) introduziu nesta relação dados de 12 bacias brasileiras, mostrando que a tendência se mantém para os dois grupos de dados. Estes resultados mostram o aumento do coeficiente de escoamento com o aumento a área impermeável da bacia. As áreas impermeáveis aumentam diretamente com a densidade populacional até o patamar que caracteriza a verticalização (cerca de 100 hab/ha), como mostrou Campana e Tucci (1994) e atualizado recentemente com dados de Porto Alegre Menezes e Tucci (2012).

Os outros efeitos da urbanização são: (a) Aumento da erosão devido ao aumento da energia da velocidade do escoamento superficial; (b) A qualidade da água se deteriora pelos poluentes transportados pelos sedimentos, resíduos sólidos da população e contaminação aérea de produção industrial e das emissões do transporte urbano e associado aos sedimentos e a lavagem das superfícies urbanas. Muitas vezes este impacto não é detectado porque a água está muito poluída pela falta de tratamento do esgoto sanitário.

Estes processos ocorrem durante os períodos de inundações e são chamados de poluição difusa urbana. Os efeitos finais no meio ambiente urbano são: inundações, qualidade da água ruim, áreas degradadas com erosão e deposição de resíduos, proliferação de doenças e rios urbanos secos na estiagem devido a redução da recarga dos aquíferos.

MEDIDAS DE CONTROLE

As medidas de controle após os impactos já terem ocorrido é realizada com medidas estruturais na macrodrenagem das cidades com elevados custos para o poder público. Neste caso é possível atuar sobre o conjunto do saneamento básico: esgotamento sanitário, drenagem e resíduos sólidos, dentro dos conceitos de gestão de águas urbanas.

Para prevenir os impactos e reduzir os custos de intervenções futuras, os novos empreendimentos devem ser projetados e construídos para evitar os mencionados impactos. Existem medidas preventivas com incentivos econômicos por meio da certificação ambiental e medidas denominadas “comando e controle” com o uso da regulação da Drenagem Urbana. Esta regulação estabelece condições para os novos empreendimentos imobiliários quanto ao seguinte:

Quantidade de água: estabelecendo uma vazão máxima permissível, definida aqui como a maior vazão que pode ser transferida de um empreendimento privado para a rede pública de drenagem;

Quantidade de sedimentos e qualidade da água: estabelece condicionantes para armazenamento temporário de parte do escoamento superficial visando diminuir a energia do escoamento, retenção de sedimentos e sólidos e, em consequência da redução

de degradação e poluição que geralmente vem agregado aos sedimentos;

Recarga: para manter a recarga é possível regular ou incentivar a proporção de área de infiltração no terreno por meio de regulação da área ou por incentivos na cobrança da taxa de drenagem

REGULAÇÃO DA DRENAGEM URBANA

Existem dois níveis de regulação para a drenagem urbana: (a) Regulação nacional, estadual ou pelo Plano de Bacias hidrográficas; e (b) Regulação na cidade sobre os impactos dentro da mesma. Para atingir objetivos internos e não exportar impactos para jusante. As primeiras podem estabelecer critérios a serem cumpridos pelos municípios, com base na lei de nacional de recursos hídricos, por meio do Plano de bacia hidrográfica. Os segundos são estabelecidos dentro do município, que tem a titularidade dos serviços de drenagem, como prevê a lei de saneamento.

Regulação externa as cidades

Nos Estados Unidos a EPA (Environmental Protection Agency) desenvolveu um programa nacional, que obriga a todas as cidades com mais de 100 mil habitantes (fase I) a preparar a Best Management Practices (BMP), que é uma espécie de Plano de drenagem urbano que reduz os impactos ambientais para jusante. A segunda fase do programa para cidades com população inferior à mencionada foi iniciada na década de 1990 (ROESNER; TRAINA, 1994) e se consolidou com o tempo. Neste período foi incentivado a criação dos prestadores de serviço em drenagem urbana (Stormwater utility). As BMPs envolvem o controle da qualidade e quantidade por parte do município por meio de medidas estruturais e não estruturais. O município deve buscar atingir esses objetivos por meio de um plano. Este processo contribui para reduzir a poluição difusa dos rios da vizinhança das cidades.

No Brasil a legislação de recursos hídricos (n. 9433/1997) estabeleceu os planos de bacias hidrográficas, como instrumento e dentro do Plano existem os instrumentos de outorga e enquadramento que regulam sobre o uso da água, o aumento de vazão

TABELA 1

Instrumentos de gestão da água na bacia e na cidade (Adaptado de Tucci, 2007).

Espaço	Titular	Gestores	Instrumento
Bacia hidrográfica ²	Estado ou União	Comitê e agência de bacia	Plano de Bacia
Município ¹	Município	Município	Plano de Saneamento

1 – dentro do espaço do município; 2 – na integração dos municípios da bacia. 3 – Os Planos de bacia não têm considerado as inundações no seu termo de referência, mas deve fazer parte de seu conteúdo.

(art.12 não regulamentado) e a qualidade da água. Portanto, estabelecem dentro da gestão de recursos os instrumentos para gestão externa da cidade. A Lei Federal no 445/2007 estabeleceu as diretrizes básicas para o saneamento básico no Brasil. Neste instrumento foi previsto a elaboração do Plano de Saneamento Básico, que inclui o Plano de Drenagem Urbana (tabela 1). O Plano de Drenagem urbana deve atender ao Plano de Bacia no que se refere a alterações na qualidade e quantidade (artigo 12 da lei de recursos hídricos). Estes impactos que a cidade pode transferir para a drenagem a jusante da mesma devido as águas pluviais, não tem sido analisado nos Planos de Bacias desenvolvidos no Brasil.

Regulação interna das cidades

Meller e Tucci (2007) apresentaram uma extensa revisão sobre regulação de drenagem. As mesmas se baseiam na vazão máxima permissível, volume de controle de quantidade e qualidade da água de países como Estados Unidos e Austrália. O controle dos impactos da urbanização pode ser realizado por instrumento de regulação que define os limites que cada área a ser desenvolvida pode transferir para a rede pública em função da sua urbanização. Estes limites são estabelecidos quanto ao seguinte:

Quantidade de água: vazão máxima proveniente da área privada, denominada de vazão máxima permissível. Este limite é estabelecido para evitar que seja transferido para jusante o aumento de vazão das áreas impermeáveis. Em conjunto com estes limites é utilizado o volume (volume de controle) necessário para manutenção da vazão máxima. Este volume pode ser reduzido pelo incentivo ao uso de infiltração na área desenvolvida;

Qualidade da água e Sedimentos: controle da qualidade da água e da produção dos sedimentos. Para reduzir a quantidade de sedimentos na rede podem ser utilizados o armazenamento do escoamento

superficial que retém os sedimentos e melhora a qualidade da água;

Recarga: Critério de manutenção e aumento da infiltração para recuperar a recarga das áreas urbanas. Este aspecto tem sido introduzido na forma de incentivo ao uso de áreas de infiltração. Os incentivos potenciais são: (a) aumento da volume infiltrado com relação a ao volume precipitado; (b) redução na taxa de drenagem e outros mecanismos tributários em função do volume infiltrado.

REGULAÇÃO QUANTO A QUANTIDADE DA ÁGUA

Vazão máxima permissível

Deve-se limitar a vazão máxima de saída da propriedade privada para a rede pública, num valor máximo pré-existente de condições naturais. Desta forma, este desenvolvimento não irá produzir aumento de vazão máxima para jusante devido a urbanização. A vazão máxima permissível tem o objetivo de evitar que as propriedades transferiram para a rede pública de drenagem, o efeito da sua urbanização.

As áreas dos empreendimentos com porte pequeno e médio são definidas aqui como aquelas com área ≤ 200 ha (representam as áreas de microdrenagem). Para este porte é necessário desenvolver uma metodologia simplificada na sua aplicação para agilizar o processo de análise e aprovação dos empreendimentos. O princípio da metodologia é que seja padronizada e represente a maioria dos cenários possíveis. Para áreas maiores é possível exigir um estudo hidrológico específico, mantidas as mesmas condições previstas nesta padronização.

Para a área de contribuição de até 200 ha é possível aplicar o método racional. A vazão por unidade de área fica:

$$q = 2,78 C.I \quad (1)$$

onde: q_n = é a vazão máxima permissível específica em $l.s^{-1}.ha^{-1}$, ou seja a vazão máxima por unidade de área; C = o coeficiente de escoamento (escoamento superficial/precipitação total); e I = intensidade máxima da precipitação (mm/h), função de T e t, onde T é o tempo de retorno em anos e t a duração em minutos

A equação (1) depende do seguinte:

Tempo de retorno (T) da intensidade máxima da precipitação (I);

Estabelecimento das condições prévias naturais do terreno representado pelo coeficiente de escoamento (C);

Duração da precipitação máxima (t).

Tempo de retorno:

O tempo de retorno geralmente varia entre 10 e 25 anos para este tipo de regulação (STATE OF MAINE, 2006; STATE OF GEORGIA, 2001) e representa um risco de 10 a 4 % num ano qualquer. Em algumas cidades, utiliza-se 10 anos e verifica-se para 100 anos (STATE OF CONNECTICUT, 2006). Considerando a relação benefício x custo em drenagem urbana, a maioria dos prejuízos são para tempos de retornos de até 10 anos de recorrência. Rhama et al (2009) mostrou em estudo de uma bacia em Campo Grande que 85% dos prejuízos ocorriam até o tempo de retorno de 10 anos. Tempos de retornos maiores teriam um custo alto para controlar os impactos e a tendência é de que na medida que aumenta a vazão (devido a maior precipitação), a diferença entre os cenários de uma bacia rural e urbana se reduz, já que a infiltração não aumenta com a precipitação e proporcionalmente os cenários rural e urbano tendem a serem próximos. Portanto, o uso de 10 anos de

tempo de retorno tem maior coerência econômica e tem sido mais frequentemente adotado na regulação das cidades como mostra a literatura já citada.

Coeficiente de escoamento:

As condições prévias são definidas por um coeficiente de escoamento padrão para a maioria das áreas abaixo de 200 ha. Para áreas maiores é possível fazer um estudo hidrológico específico e avaliar a capacidade de infiltração natural.

O coeficiente de escoamento depende do tipo e uso do solo para condições naturais. Utilizando a equação do SCS (SCS, 1975) pode-se estimar o coeficiente de escoamento de áreas permeáveis por

$$C_p = \left[\frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad (2)$$

onde P é a precipitação total em mm, S é o armazenamento no solo (mm) que depende do tipo e uso do solo, sendo obtido em função do seguinte:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

onde CN é um parâmetro relaciona com o tipo e uso do solo. Utilizando os valores da tabela para terrenos baldios em áreas urbanas e espaços abertos com relva de áreas urbanas (SCS,1975) foram estimados os valores médios de CN para os solos tipo A, B, C e D. Estas condições de solo representam capacidade de infiltração alta, acima da média, abaixo da média e baixa, respectivamente. Na tabela 2 abaixo foram obtidos os valores de C_p para intervalos de Intensidade da precipitação com tempo de retorno de 10 anos e 1 h de duração com base nos valores médios de CN.

TABELA 2

Valores de C_p em função da precipitação e ponderados pelos tipos de solos

I ¹ (10 anos,1h) mm/h	Intervalo inferior	Intervalo superior	Médio
40 – 50	0,11	0,15	0,13
50 – 60	0,15	0,19	0,17
60 – 70	0,19	0,23	0,21
70 – 80	0,23	0,26	0,25
80 – 90	0,26	0,29	0,27

TABELA 3

Vazões máximas permissíveis adotadas em cidades brasileiras e coeficiente da equação de volume.

Cidade	I mm/h	C _p	q L.s ⁻¹ .ha ⁻¹	A ⁴
Porto Alegre ¹	50,0	0,15	20,8	4,25
Brasília ²	58,5	0,15	24,4	4,70
Teresina ³	75,0	0,25	52,1	5,33

1 – IPH (2000), 2 – ADASA (2011), 3- Teresina (2015), 4 equação 10

Duração da chuva ou tempo concentração:

$$V/A = (q_u - q) t.k \quad (4)$$

A duração da chuva pode variar de alguns minutos a algumas horas. A condição mais crítica está relacionada com o tempo de concentração no método racional, mas para áreas pequenas onde o tempo de concentração é muito pequeno, existe a tendência de produzir uma vazão de pré-desenvolvimento alta (Intensidade da chuva é inversamente proporcional ao tempo) e o volume de retenção pode ser subestimado. Analisando a equação do volume para t variável (equação 4, ver abaixo), o tempo tende ao infinito para obtenção do volume máximo. Numa área urbana, a duração do tempo de concentração varia no intervalo de 15 minutos até 3 horas. Analisando áreas variando de 20 a 200 ha e com declividade entre 1 e 2%, obteve-se um tempo de concentração médio da ordem de 1h. Este valor pode variar de acordo com a propriedade e as condições de terreno, mas representa o tempo esperado para estimativa da vazão de pré-desenvolvimento na equação 1.

Utilizando a equação de chuvas da cidade (Intensidade em função da duração t, sendo t = 60min) e o coeficiente de escoamento obtido da tabela 1 obtém-se a vazão de pré-desenvolvimento.

Na tabela 3 são apresentados os valores de regulação para a vazão máxima permissível obtidos para algumas cidades brasileiras.

Volume para controle do aumento da vazão máxima permissível

Uma das alternativas para controle do aumento da vazão máxima em função das áreas impermeáveis é o reservatório. O volume de controle do reservatório por unidade de áreas para pequenas áreas urbanas (< 200 ha) pode ser estimado com base na seguinte equação (TUCCI, 2000):

onde: V = o volume em m³; A = é a área em ha; q = a vazão específica de pré-desenvolvimento em L.s⁻¹.ha⁻¹; q_u = a vazão resultado do desenvolvimento urbano em L.s⁻¹.ha⁻¹; t é duração em minutos e k = 60 para conversão de unidades.

Utilizando a equação 1 na equação 4, resulta

$$\frac{V}{A} = 60.(2,78.C.I - q)t. \quad (5)$$

A Intensidade de precipitação (I) é expressa em mm/h é obtida pela equação seguinte

$$I = \frac{a}{(t+b)^d} \quad (6)$$

O coeficiente de escoamento é estimado (Tucci, 2000) pela equação

$$C = C_p + (C_i - C_p)A_i/100 \quad (7)$$

onde C_p = a coeficiente de escoamento para as áreas permeáveis (ver tabela 1); C_i = é coeficiente de escoamento para as áreas impermeáveis, adotado em C_i = 0,95; A_i = é a área impermeável em %.

Substituindo as equações 6 e 7 na equação 5 obtém-se uma equação de V função de t (duração). Derivando a equação resultante com relação ao tempo e igualando a zero obtém-se t que produz o volume máximo

$$t = \left(\frac{t+s}{w}\right)^r - b \quad (8)$$

onde s = b/(1-d); w = q/[2,78.(A_i/100).C.(1-d)]; r = 1/(d+1).

Resolvendo esta equação para a duração t, obtém-se a duração t_{mx} que resulta no volume máximo:

$$V_{\text{mx}} = 60 (2,78.C.a/(t_{\text{mx}}+b)^d - q) t_{\text{mx}} = F_i (A_i) \quad (9)$$

O volume máximo é obtido para cada valor de A_i , o que resulta na função $F_i (A_i)$. Usando o mesmo procedimento acima para cada valor de A_i , variando de 15% a 75% (valores usuais), pode-se ajustar a uma reta com início na origem. Esta condição é necessária, já que sem área impermeável o volume deve ser nulo. A equação ajustada fica

$$V = a.A_i \quad (10)$$

onde a = coeficiente da reta que nasce na origem, já que para $A_i = 0$ o volume deve ser nulo e A_i é a área impermeável (%). Nem sempre é possível obter uma equação bem ajustada. Neste caso, pode-se definir os limites do ajuste ou usar uma equação de potência.

Nos casos estudados (Porto Alegre, Brasília e Teresina) em algumas cidades, a reta permitiu um coeficiente de determinação superior a 0,98. Na tabela 3 são apresentados os valores obtidos para Porto Alegre, Brasília e Teresina.

REGULAÇÃO QUANTO A QUALIDADE DA ÁGUA E SEDIMENTOS

O impacto da qualidade da água superficial urbana é resultado dos frequentes eventos de chuva que lavam as superfícies urbanas. Nestes eventos a primeira parte da chuva é a que apresenta a principal carga (ATHAYDE et al., 1983). A prática americana através da EPA identificou que, retendo uma parcela dos sólidos suspensos totais (SST) do escoamento pluvial, a carga anual do escoamento é reduzida em 80% (USEPA, 1993a). Os SST foram escolhidos como parâmetro indicador da eficiência do tratamento devido ao seguinte (STATE OF GEORGIA, 2001):

- Grandes partes dos poluentes são removidas com os SST e suas taxas de remoção são proporcionais aos dos SST;
- Os sedimentos e boa parte dos poluentes do escoamento pluvial se encontram aderidos aos SST;
- O nível de remoção de 80% dos SST é geralmente atingido com o uso de dispositivos bem dimensionados e que possuem manutenção adequada

A definição do volume a ser tratado para alcançar a meta de tratamento pode ser estabelecida com base em um valor limite de precipitação ou um tempo de retorno para essa precipitação. Três metodologias têm sido usadas:

USEPA: A regulação adotada pela EPA estabelece que, tratando o escoamento pluvial correspondente à chuva de 2 anos de tempo de retorno e duração de 24 horas, a meta de redução dos poluentes é atingida (USEPA, 1993a);

“First flush”: essa metodologia se baseia na suposição de que a maior parte da carga dos poluentes do escoamento pluvial ocorre no início da precipitação (GUPTA; SAUL, 1996, DELETIC, 1998). Nas regulações americanas esse valor corresponde, em média, ao escoamento gerado pelos primeiros 12,7 ou 25,4mm do evento de chuva (State of Connecticut, 2006), que deve ser tratado para alcançar a meta de remoção de poluentes;

Regra dos 90%: Admite que capturando e tratando o escoamento associado a duração de 90% dos eventos de chuva, que ocorrem anualmente, a meta de remoção de poluentes é alcançada (STATE OF NEW YORK, 2003, STATE OF MARYLAND, 2000, STATE OF VERMONT, 2002, STATE OF MINNESOTA, 2005). Na maioria dos estados americanos esse valor é correspondente a, aproximadamente, 25,4 mm de chuva.

Os métodos anteriores foram estabelecidos porque se verificou que a carga poluente é resultado de eventos pequenos e frequentes ao longo do ano (SCHUELER, 1987; USEPA, 1993b). Portanto, retendo a carga e tratando ou infiltrando a maioria dos eventos frequentes, a carga sobre o sistema fluvial diminui.

Estimativa do volume para qualidade da água pela regra dos 90%:

O volume específico superficial necessário para retenção da qualidade da água é obtido pelo seguinte:

$$V / A (\text{m}^3/\text{ha}) = 10.C. P_{90} \quad (11)$$

onde C = coeficiente de escoamento superficial; P_{90} = a precipitação diária com duração de 90%, ou seja, 90% das precipitações são menores ou iguais a

este valor (mm). O coeficiente de escoamento pode ser obtido pela equação 7 onde C_p é o coeficiente de escoamento das áreas permeáveis adotado para o cálculo da vazão máxima permissível e $C_i = 0,95$.

No caso de Brasília (TUCCI, 2010) este coeficiente fica

$$C = 0,15 + 0,80 \cdot A_i/100 \quad (12)$$

Substituindo a equação 7 na equação 10, resulta para o volume específico (m^3/ha) o seguinte:

$$v = V/A = 10 \cdot [C_p + (C_i - C_p) \cdot A_i/100] \cdot P_{90} \quad (13)$$

O dispositivo de saída do reservatório deve esgotar este volume em 24 horas para que seja possível a sedimentação. Portanto, a vazão máxima de saída deste volume é de

$$Q_s = v \cdot A / 86,4 \quad (14)$$

onde Q_s é obtido em l/s; A é a área de drenagem em ha.

Para Brasília foi utilizado o posto 01547008, com 34 anos de dados, foram estimados os valores de probabilidade da precipitação dos dias chuvosos serem menores ou iguais aos valores apresentados (tabela 2). Isto indica, por exemplo, que em 95% do tempo as precipitações diárias são menores ou iguais a 22,5 mm (TUCCI, 2010).

Considerando que Brasília possui seis meses sem chuva, as probabilidades ficam tendenciosas. No entanto, quando chega o período chuvoso as chuvas se concentram. Sendo assim obteve-se a probabilidade do período chuvoso (tabela 2). Considerando as análises apresentadas acima se recomenda utilizar a precipitação de 22,5 mm, onde as precipitações da cidade são menores ou iguais a este valor em 90% para o período chuvoso, dado que no restante do ano não existe chuva.

A equação resultante para Brasília fica

$$v = 33,8 + 1,80 \cdot A_i \quad (15)$$

para A_i em %.

O volume para controle do aumento da vazão é obtido pela equação 10, enquanto que o volume para controle da qualidade é obtido pela equação 15. Exemplificando para uma área de 1 ha e áreas impermeáveis de 50 e 75% obtém-se os volumes da tabela 5 para Brasília.

Considerando que as equações de volume para controlar a quantidade e qualidade foram obtidas de forma independente, a pergunta usual é a seguinte: Os volumes devem se somar ou o volume de qualidade da água estaria embutido no volume da quantidade?

Para responder a esta questão foram analisadas condições críticas de chuva dentro do dia. Considerando a chuva de 10 anos e a distribuição da precipitação dentro de 24 horas. Simulando cenários variáveis de área impermeáveis verificou-se que nos três primeiros

TABELA 4

Relação de duração das precipitações com relação do número de dias chuvosos (Tucci, 2010).

% da chuva menor ou igual	Precipitação Anual- mm	Precipitação Período chuvoso -mm
95	22,5	32,4
90	13,0	22,5
85	7,4	16,8

TABELA 5

Volume de controle para um empreendimento de 1 ha.

A_i (%)	V (equação 10) Quantidade - m^3	V (equação 15) Qualidade - m^3
50	235,0	123,8
75	352,5	168,8

quartis (18 horas) o dimensionamento com o volume de qualidade dentro do volume de quantidade é satisfatório porque a vazão de saída (equação 14) tende a ser superior a precipitação, deixando de acumular água no reservatório. No entanto, se a chuva ocorrer num último quartil pode ocorrer condições iniciais mais desfavoráveis, mas observou-se que a diferença entre o volume necessário e o dimensionado é inferior a 10%. Considerando também que estas equações são padrões de regulação, a soma dos volumes seria muito conservadora, considerando as situações possíveis. Portanto é recomendável que o volume total do reservatório seja definido pelo critério de quantidade e que a vazão de saída até o volume de qualidade seja mantido como o obtido pela equação 14.

EROSÃO E SEDIMENTAÇÃO

Booth e Reinelt (1993) mostraram que o efeito da instabilidade do leito dos rios, a jusante de uma bacia urbanizada, inicia com 10% de área impermeável. Somente o arruamento já produz este tipo de aumento sobre uma área urbana. Segundo dados de Wolman e Schick (1967) o aumento de sedimentos de uma área rural para uma área intensamente urbanizada pode chegar a 100 vezes em ton/km²/ano. Estes impactos necessitam ser mitigados por meio de dissipação da energia devido ao aumento da velocidade do escoamento que aumenta a erosão, proteção das superfícies urbanas e retenção e limpeza dos resíduos acumulados. Em resumo, para reduzir a erosão sobre os leitos de escoamentos pode-se utilizar:

- Redução do volume de escoamento ou da velocidade pela infiltração;
- Dissipação da energia através do aumento da rugosidade;
- Amortecimento do escoamento com volume de água para redução da velocidade; e
- Restrição da vazão máxima de saída do empreendimento.

Normalmente o controle nas regulações é obtido através do armazenamento e restrição da vazão máxima de saída do lote ou loteamento. Vários critérios para o estabelecimento de uma vazão máxima admissível têm sido propostos. O critério mais comum para proteção do córrego consiste no controle da vazão de

pós-desenvolvimento de 2 anos de período de retorno e 24 h de duração ao nível de pré-desenvolvimento. Esse critério baseia-se na consideração de que a vazão de pico à calha cheia tem de 1 a 2 anos de tempo de retorno (LEOPOLD, 1994). Esta metodologia não protege adequadamente os córregos a jusante e pode, ao contrário, contribuir para o aumento da erosão pela exposição das margens a vazões de grande potencial erosivo por uma longa duração (MCRAE, 1993).

A prática atualmente recomendada nas regulações é:

- Controle da vazão de pós-ocupação de 2 anos de tempo de retorno e 24h de duração à: (a) 50% da vazão de pré-desenvolvimento de 2 anos e 24h; (b) vazão de 1 ano e 24h;
- Armazenamento e liberação gradual do volume gerado pelo evento de 1 ano e 24h, em um período de 24 horas ou mais, para que sejam controladas as velocidades erosivas no canal durante a passagem da cheia;
- Avaliação detalhada em campo e modelagem hidrológica e hidráulica do curso d'água para determinar o potencial erosivo das cheias e vulnerabilidade do material das margens à erosão.

Embora as alternativas anteriores possam ser efetivas na proteção do canal, do ponto de vista operacional existem sérias limitações na aplicação da regulação. Para locais com área impermeável menor que 2 ha, por exemplo, a dimensão de orifícios para tomada de água necessária para cumprir a regulação é pequena, e ficam sujeitos ao entupimento (STATE OF CONNECTICUT, 2005). Para contornar esse problema a regulação de proteção do canal não é exigida nos seguintes casos:

- O volume total relacionado à proteção do canal é recarregado para o aquífero;
- Locais com área menor ou igual 2 ha de área impermeável;
- Locais que descarregam em rios de quarta ordem, lagos, estuários e que tenham área menor que 5% da área da bacia a montante do desenvolvimento.

A regulação da erosão é mitigada pela medida da qualidade da água. No entanto, algumas regulações complementares devem ser usadas: (a) manual de

manejo de canteiro de obra e de loteamentos para evitar a transferência de sedimentos para a drenagem; (b) Controle da erosão em projetos de drenagem.

INCENTIVOS DO USO DE INFILTRAÇÃO

Ao longo das últimas décadas, os planos diretores urbanos das cidades utilizaram no zoneamento de uso do solo, o critério de área mínima que deveria ser mantida permeável nos projetos para sua aprovação. Os valores adotados geralmente são inferiores a 30% e os mais frequentes próximos de 10 a 15%. Para a vazão de saída das áreas esta parcela de área permeável contribui pouco para redução dos impactos, mas permitem manter um mínimo de recarga ao aquífero.

As medidas sustentáveis que permitem reduzir o volume para jusante, recuperar a recarga e reduzir a carga de poluentes é a infiltração de parcela ponderável da chuva que cai sobre as propriedades. Isto pode ser obtido por meio de projetos de construções sustentáveis, prática pouco conhecida no mercado brasileiro e enfrenta resistência devido aos cuidados que devem ser adotados para a manutenção das áreas e preservação dos espaços.

Para incentivar o uso de áreas permeáveis foram adotados nas regulações de Porto Alegre, Brasília e Teresina os seguintes critérios para redução dos volumes correspondentes de armazenamentos para quantidade e qualidade da água:

- As áreas impermeáveis que drenarem para uma área gramada ou com vegetação terão sua área impermeável reduzida no cálculo do volume em 80%. Esta redução é condicionada a uma relação $A_p/A_i \geq 0,2$ (A_p é a área permeável e A_i a área impermeável). Esta relação poderia ser desconsiderada se o solicitante provar que pode

acumular a chuva de 10 anos na área em função de sua profundidade;

- O mesmo caso anterior, mas com drenagem a redução passa a ser de 40% da área impermeável no cálculo do volume;
- Aplicação de pavimentos permeáveis (blocos vazados com preenchimento de areia ou grama, asfalto poroso, concreto poroso) – reduzir em 60% a área que utiliza estes pavimentos;
- Aplicação de trincheiras de infiltração – reduzir em 80% as áreas drenadas para as trincheiras.

A escolha dos percentuais acima foi analisada considerando o seguinte:

- Nas áreas gramadas estima-se que o coeficiente de escoamento é de 15%. No caso com drenagem, o acúmulo de uma quantidade de água maior que o normal levou o fator de escoamento superficial a 0,6, ou seja, uma redução de 40% da área impermeável (e na consequente vazão);
- No caso de área gramada com drenagem adotou-se um fator de escoamento de 0,2 para considerar a ineficiência de alguns sistemas que podem gerar escoamento pelo acúmulo de água no gramado;
- No caso dos pavimentos permeáveis, apesar dos experimentos mostrarem eficiência alta de 95%, adotou-se o valor de 60% devido a redução de eficiência com o tempo por problemas de manutenção;
- No caso das trincheiras adotou-se uma eficiência maior de 80% devido a tendência de maior eficiência destes dispositivos nos solos brasileiros.

Estes valores devem ser revistos ao longo do tempo com base em estudos específicos de eficiência a ser contratado pelo concessionário, visando o aprimoramento da regulação ou por pesquisas sobre áreas

TABELA 6

Alterações nos volumes com base nos incentivos para uma área construída com 50% de áreas impermeáveis

Variáveis	Sem incentivos (m3)	Com incentivos (m3)	Varição (%)
Quantidade	235	169	-28,1
Qualidade	123,8	99	-20,0
Ái da regulação (%)	50	34	-32,0
Recarga (%)	50	66	32,0

TABELA 7
Alterações nos volumes com base nos incentivos para uma área construída com 75% de áreas impermeáveis.

Variáveis	Sem incentivos (m3)	Com incentivos (m3)	Variação (%)
Quantidade	352,5	254	-27,9
Qualidade	168,8	131	-22,4
Ai da regulação (%)	75	54	-28,0
Recarga (%)	25	48	92,0

urbanas que permitam mais informações para estes indicadores.

Para exemplificar o uso destes incentivos, considere os valores da tabela 5 de área impermeável e o uso do seguinte: (a) 50% da parcela permeável com gramado sem drenagem para receber o escoamento de 20% do escoamento superficial da área (telhados); (b) 20% da parcela impermeável construída com pavimentos permeáveis (passeios e estacionamentos) resultam nos valores das tabelas 6 e 7.

Em regulamentações mais atuais, é incentivado o uso de infiltração através dos manuais das cidades como: (a) desconexão de áreas impermeáveis com os pluviais, fazendo a água transitar por planos de infiltração; (b) incentivos para uso de trincheiras, valos e pavimentos permeáveis. No entanto, deve-se considerar que áreas que possuem importante contaminação superficial não devem ser infiltradas antes do tratamento da água.

IMPLEMENTAÇÃO DA REGULAÇÃO

Os principais cenários de implementação da regulação envolvem: (a) áreas a serem densificadas que são lotes de loteamentos aprovados no passado e/ou áreas de empreendimentos comerciais e industriais em áreas densificadas; (b) novos empreendimentos imobiliários ou loteamentos. No primeiro caso, dificilmente é possível atuar sobre áreas de lotes pequenos e com habitação unifamiliar, além do que o efeito pode ser limitado como mostrou a implementação destes dispositivos na Austrália (O'LOUGHLIN et al, 1995). Portanto, tem sido adotado o critério de lotes > 600 m² ou construção multifamiliar, comercial ou industrial.

Outro aspecto importante na regulação se refere

obrigatoriedade de atender a regulação para construções já existentes. Em Porto Alegre, o decreto exige de todas as novas propriedades, mesmo quando ocorrem reformas, mas não atua sobre as construções existentes.

A introdução dos parâmetros desenvolvidos na regulação foi realizada por instrumentos legais em algumas cidades brasileiras, como descrito a seguir.

Porto Alegre

Em 1999 foi aprovado o mais recente Plano Diretor Urbano da cidade onde contém dois artigos que direcionam o controle da drenagem.

No município de Porto Alegre, a Lei Complementar nº 434/99, que instituiu o PDDUA (PORTO ALEGRE, 1999), contém dois artigos que contemplam o controle da drenagem urbana: (a) definem zonas problemáticas e a necessidade de definições por decreto; (b) prevê o amortecimento para recuperar as condições naturais de escoamento. As definições foram propostas numa minuta de decreto elaborado durante o Plano de Drenagem da cidade (IPH,2000) e institucionalmente consolidado no Decreto 15.371/06 (Porto Alegre, 2006). Além disso o Decreto nº 14.786, publicado em dezembro de 2004 (PORTO ALEGRE, 2004), estabelece o Caderno de Encargos do DEP, no qual são definidos diretrizes e critérios para projetos, serviços, implantação, fiscalização e conservação do sistema de drenagem pluvial urbana da cidade (CARMONA, 2008).

Brasília

No Distrito Federal foi desenvolvido o Plano Diretor

de Drenagem Urbana (CONCREMAT, 2009). Neste Plano estava previsto a regulação da Drenagem urbana que deveria ser implementada pelo Distrito Federal. Em 2010 foi elaborada uma proposta de regulação com os parâmetros apresentados neste artigo (TUC-CI, 2010). Com base nestas recomendações a ADASA (2011) definiu a outorga para lançamento de águas pluviais no Distrito Federal, que cobra as medidas preventivas de quantidade e qualidade da água. Observa-se neste caso no procedimento de outorga que não se aplica apenas as novas construções, mas as demais devem regularizar o seu lançamento.

Teresina

Tucci (2014) apresentou a proposta de regulamentação, tendo base uma proposta anterior do Plano Diretor de Drenagem de Teresina. Em junho de 2015 a legislação de Teresina foi sancionada pelo Prefeito (TERESINA, 2015) e está atualmente sendo cobrado dos novos empreendimentos. Está sendo elaborado

uma manual para avaliação de projetos para uso na Prefeitura e o treinamento dos técnicos para atuarem na avaliação e fiscalização dos projetos.

RESULTADO DA REGULAÇÃO

Carmona (2008) avaliou o efeito da regulação de Porto Alegre até 2008 e verificou que depois do Plano Diretor de Drenagem foram implementados reservatórios urbanos que controlavam 5% da área urbana da cidade, equivalente a 778 ha (7,78 km²). Os investimentos foram realizados pelo poder público (reservatórios públicos) que correspondeu a 39,7 % da área total controlada no período e por empreendedores privados (com resultado da regulação). Na tabela 8 abaixo é apresentada uma síntese dos principais indicadores obtidos do estudo. O volume unitário médio foi de 108,3 m³/há, com coeficiente de variação de 0,59 e abatimento de pico da ordem de 20%. O custo médio para a época foi de R\$ 29,8 mil/ha com coeficiente de variação de 1,0. Desta forma, em média o

TABELA 8
Síntese dos controles de bacias urbanas em Porto Alegre

Variáveis	Sem incentivos (m3)	Com incentivos (m3)	Variação (%)
Quantidade	352,5	254	-27,9
Qualidade	168,8	131	-22,4
Ab da regulação (%)	75	54	-28,0
Recarga (%)	25	48	92,0

(fonte dos dados Carmona, 2008)

1 – custo unitário baseado em janeiro de 2008; reservatórios construídos com fundos públicos; 2- construídos privados e com manutenção pública; 3 – construídos por privados e manutenção privada; lotes e condomínios; Vu volume médio unitário dos reservatórios; Ab área da bacia controlada.

TABELA 9
Relação de custo entre as alternativas de controle

Tipo	Cp R\$ 10 ⁶	Cr ² R\$ 10 ⁶	Ep R\$10 ⁶	E R\$ 10 ⁶
Públicos ²	4,810	12,988	8,18	8,18
Públicos Privados ³	1,510	4,076	2,04	2,57
Privados ⁴	1,643	4,436	4,44	2,79
Total	7,96	21,50	14,65	13,54

1 – Na coluna 4, a economia do poder público envolve a diferença de cenários + a redução de custo devido ao investimento privado; 2 Cr-Controlle corretivo na macrodrenagem envolve a redução do risco por obras de amortecimento na macrodrenagem; 3- construídos privados e com manutenção pública; 4 – construídos por privados e manutenção privada E – economia entre cenários; Ep- Economia entre as alternativas para o poder público; Cp controle preventivo pela regulação.

investimento privado foi de R\$ 14 milhões no período. A manutenção foi estimada em 5% do custo do investimento por ano (custos referenciados a janeiro de 2008).

Cruz e Tucci (2008) mostraram para a cidade de Porto Alegre que o Investimento preventivo de controle da vazão (microdrenagem) pela regulação ou controle no projeto de microdrenagem é 2,7 vezes menor que o custo de controle do escoamento na macrodrenagem com medidas de amortecimento. Utilizando os dados da tabela 8, estimaram-se os valores da tabela 9 onde em 7,78 km² controlados, a economia do poder público foi de R\$ 14,65 milhões (preço de janeiro de 2008) ou R\$ 1,88 milhões/km². Esta economia é ainda maior considerando que grande parte das cidades brasileiras utiliza métodos desatualizados de drenagem urbana (canalização e condutos) para controle do escoamento na macrodrenagem.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram apresentados as bases para a regulação de drenagem em algumas cidades brasileiras, visando controlar o impacto decorrente da urbanização sobre o escoamento de águas pluviais. Os principais impactos são devido ao aumento do escoamento superficial e o pico dos eventos extremos, aumento da produção de sedimentos e erosão, deteriorização da qualidade da água e redução da recarga dos aquíferos.

Para controlar estes impactos na fonte é necessário que as cidades estabeleçam a regulação para as novas construções e loteamentos. A regulação é realizada com base em indicadores mensuráveis e padrões estabelecidos para a cidade definidos em instrumento legal.

A experiência internacional mostra que nos países como Estados Unidos, Europa, Austrália, Nova Zelândia, esta prática começou na década 80 e utiliza a vazão máxima permissível como parâmetro para quantidade de água e estabelece volumes de regulação do escoamento superficial inicial para a qualidade da água. Este artigo apresentou a metodologia para determinação dos parâmetros de regulação adotados em algumas cidades brasileiras nos últimos 15 anos (2000 a 2015). Também foi apresentado o resultado desta regulação em Porto Alegre no período de 2000 a 2006, mostrando o ganho econômico para a cidade em redução de gastos com drenagem urbana quando o controle é realizado na fonte (R\$ 1,88 milhões/ha). Este custo não será transferido para todos os habitantes da cidade, mas para os beneficiados pelo empreendimento.

Para que a regulação seja implementada na cidade, não basta ter o instrumento legal, é necessário ter uma instituição com pessoal qualificado para as avaliações, além de outras atividades do prestador de serviço da drenagem. O município necessita avaliar os resultados da regulação ao longo do tempo quanto ao seguinte: (a) efetividade do controle da quantidade e qualidade como base em monitoramento amostral de empreendimentos; (b) avaliação da conservação das áreas e das dificuldades quanto a manutenção dos sistemas para atender os objetivos da regulação; (c) desenvolver inovações e incentivos que tornem estas áreas de controle mais integradas a paisagem da cidade, valorizando seu urbanismo. Estes aspectos também podem ser desenvolvidos em pesquisas pelos programas de pós-graduação.

Referências

- AGRESTI, A. *Categorical data analysis*. 2nd ed., Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- AIZAKI, H.; NAKATANI, T.; SATO, K. *Stated preference methods using R*. Boca Raton: CPR Press, 2015.
- ALCON, F.; TAPSUWAN, S.; BROUWER, R.; MIGUEL, M. D. A choice experiment of farmer's acceptance and adoption of irrigation water supply management policies. In: EUROPEAN ASSOCIATION OF AGRICULTURAL ECONOMISTS (EAAE) 2014 CONGRESS, Annals... Ljubljana, Slovenia, 2014.
- BARTON, D. N.; BERGLAND, O. Valuing irrigation water using a choice experiment: an 'individual status quo' modeling of farm specific water scarcity. *Environment and Development Economics*, v. 15, n. 3, p. 321-340, 2010.
- BATEMAN, J.; CARSON, R. T.; DAY, B.; HANEMANN, M.; HANLEY, N.; HETT, T.; JONES-LEE, M.; LOOMES, G.; MOURATO, S.; ÖZDEMIROGLU, E.; PEARCE, D.W.; SUGDEN, R.; SWANSON, J. *Economic valuation with stated preference techniques: A manual*. Cheltenham-UK: Edward Elgar, 2002.

BELL, A. R.; SHAH, M. A. A.; WARD, P. S. Reimagining cost recovery in Pakistan's irrigation system through willingness-to-pay estimates for irrigation water from a discrete choice experiment. *Water Resources Research*, n.50, p. 6679-6695, 2014.

BEN-AKIVA, M.; LERMAN, S. R. *Discrete choice analysis: theory and application*. The MIT Press, MA, USA, 1985.

BENNETT, J.; ADAMOWICZ, V. Some fundamentals of environmental choice modeling. In: BENNETT, J.; BLAMEY, R. (Orgs.). *The choice modeling approach to environmental valuation*. Massachusetts (USA): Edward Elgar Publishing, p. 37-70, 2001.

BERBEL, J.; GOMEZ-LIMÓN, J. A. The impact of water-pricing policy in Spain: An analysis of three irrigated areas. *Agricultural Water Management*, n. 43, p. 219-238, 2000.

BLAMEY, R.; GORDON, J.; CHAPMAN, R. Choice modeling: Assessing the environmental values of water supply options. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, v. 43, n. 3, p. 337-357, 1999.

CARSON, R. T.; LOUVIERE, J. J.; ANDERSON, D. A.; ARABIE, P.; BUNCH, D. S.; HENSHER, D. A.; JOHNSON, R. M.; KUHFELD, W. F.; STEINBERG, D.; SWAIT, J.; TIMMERMANS, H.; WILEY, J. B. Experimental analysis of choice. *Marketing Letters*, v. 5, p. 351-368, 1994.

DINAR, A.; MODY, J. Irrigation water management policies: Allocation and pricing principles and implementation experience. *Natural Resources Forum*, n. 28, p. 112-122, 2004.

DNOCS. 100 anos de Atuação no Estado do Ceará. Fortaleza: INESP, 2010.

HANEMANN, W. M. Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete responses. *American J. Agr. Economics*, p. 332-341, August 1984.

HANEMANN, W.M.; LOOMIS, J.B.; KANNINEN, B. Statistical Efficiency of double-bounded dichotomous choice contingent valuation. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 73, n. 4, p. 1255-1263, 1991.

HANLEY, N.; MOURATO, S.; WRIGHT, R. E. Choice modeling approaches: a superior alternative for environmental valuation? *Journal of Economic Survey*, v. 15, n. 3, p. 435-462, 2001.

HENSHER, D. A.; ROSE, J. M.; GREENE, W. H. *Applied choice analysis: A primer*. Cambridge University Press, UK, 2005.

HOSMER, D.W.; LEMESHOW, S. *Applied logistic regression*. 2nd Ed., Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley & Sons, Inc., NY, USA, 2000.

JOHANSSON, R. C.; TSUR, Y.; ROE, T. L.; DOUKKALI, R.; AND DINAR, A. Pricing irrigation water: A review of theory and practice. *J. Water Policy*, v. 4, n. 2, p. 173-199, 2002.

KRINSKY, I.; ROBB, A. L. On approximating the statistical properties of elasticities. *The Review of Economics and Statistics*, v. 68, n. 4, p. 715-719, 1986.

KRINSKY, I.; ROBB, A. L. On approximating the statistical properties of elasticities: A correction. *The Review of Economics and Statistics*, v. 72, n. 1, p. 189-190, 1990.

LACERDA, N. B.; OLIVEIRA, T. S. Agricultura irrigada e a qualidade de vida dos agricultores em perímetros do estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 2, p. 216-223, 2007.

LANCASTER, K. A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, n. 84, p. 132-157, 1966.

MCFADDEN, D. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In: Zarembka, P. (ed.) *Frontier in Econometrics*. N.Y.: Academic, p. 105-142, 1974. Disponível em: <https://eml.berkeley.edu/reprints/mcfadden/zarembka.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2015.

MCFADDEN, D.; TRAIN, K. Mixed MNL models for discrete response. *J. Applied Econometrics*, n. 15, p. 447-470, 2000.

MENDONÇA, K. V.; CAMPOS, R. T.; LIMA, P. V. P. S.; BATISTA, P. C. S. Análise das causas socioeconômicas da pobreza rural no Ceará. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 41, n. 3, p. 519-542, jul-set. 2010.

MOLLE, F.; BERKOFF, J. Water pricing in irrigation: Mapping the debate in the light of experience. In: MOLLE, F.; BERKOFF, J. *Irrigation water pricing policy: The gap between theory and practice*. London: GAP International, p. 21-93, 2007.

PEARCE, D. (Ed.) *Environmental valuation in developed countries: case studies*. Edward Elgar, Cheltenham, UK, 2006.

REVENGA, C.; BRUNNER, J.; HENNIGER, N.; KASSEM, K.; PAYNE, R. *Pilot analysis of global ecosystems: Freshwater systems*. Washington, DC: World Resources Institute, 2000.

RIGBY, D.; ALCON, F.; BARTON, M. Supply uncertainty and the economic value of irrigation water. *European Review of Agricultural Economics*, n. 37, n. 1, 2010.

SAMPATH, R. K. Issues in irrigation pricing in developing countries. *World Development*, v.20, n. 7, p. 967-977, 1992.

SOUZA, F.; BARBOSA, F. C.; TEIXEIRA, A. S.; COSTA, R. N. T. Eficiência de irrigação em perímetros irrigados do estado do Ceará – Brasil. In: CONGRESO RED IBEROAMERICANO DE RIEGOS CYTED 2006, Anais..., Montecillo, Texcoco, México, 2006. Disponível em: http://ceer.isa.utl.pt/cyted/mexico2006/tema%203/21_FSouza_Brazil.pdf. Acesso em: 28 nov. 2015.

SPEELMAN, S., BUYASSE, J., FAROLFI, S., FRIJA, A., D'HAESE, M., AND D'HAESE, L. Estimating the impacts of water pricing on smallholder irrigators in North West Province, South Africa. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 11, p. 1560–1566, 2009.

TRAIN, K. E. *Discrete choice methods with simulation*. N.Y.: Cambridge Univ. Press, 2003.

TSUR, Y. Economic aspects of irrigation water pricing. *Canadian Water Resource*, v. 30, n. 1, p. 31-46, 2005.

TURNER, R. K.; GEORGIU, S.; CLARKE, R.; BROUWER, R. Economic valuation of water resources in agriculture. From the sectoral to a functional perspective of natural resource management. *FAO Water Report 27*, FAO, Rome, 2004.

VEETIL, P. C.; SPEELMAN, S.; FRIJA, A.; BUYASSE, J.; MONDELAERS, K.; VAN HUYLENBROECK, G. Price sensitivity of farmer preferences for irrigation water-pricing method: Evidence from a choice model analysis in Krishna River Basin, India. *Journal of Water Resources Planning and Management*, n. 137, p. 205-214, 2011.

YOUNG, R. A. *Determining the economic value of water: concepts and methods*. Washington: Resources for the Future, 2005.