

IX-069 – APLICAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO DE TERCEIRA GERAÇÃO EM ESCALA DE LOTE URBANO**Ivie Emi Sakuma Kawatoko⁽¹⁾**

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Mestranda em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Eduardo Mário Mendião⁽²⁾

Professor Doutor da Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador São Carlense, 400 São Carlos- SP – Brasil Tel (18) 8128-6376 e-mail: ivie_iesk@hotmail.com

RESUMO

Problemáticas de planejamento aliadas ao aumento da impermeabilização contribuem para a redução do amortecimento das águas urbanas, o que possibilita a ocorrência das enchentes. Assim, é imprescindível a adoção de instrumentos e ferramentas que permitam um adequado gerenciamento dos recursos hídricos, bem como de sua drenagem. Nesse sentido, o presente trabalho consiste na proposição de uma nova equação de continuidade geral, que aceite o balanço hídrico de componentes reais e virtuais, de forma a se gerar cenários prospectivos, que mostrem a influência da adoção de indicadores de pegada hídrica e da aplicação de medidas estruturais no grau de neutralidade dos impactos das águas urbanas. A metodologia consiste em análises qualitativas como DBO para esgoto e resíduos sólidos; e turbidez para drenagem urbana a fim de se calcular os fatores de diluição, bem como demais análises quantitativas. Tais resultados serão incorporados no Balanço Hídrico de Terceira Geração e posteriormente, darão origem a 4 cenários em escala prospectiva (atual, de 25 e 40 anos): *Global Orchestration*, *Order from Strength*, *Adapting Mosaic*, *TechnoGarden*. Desta forma, ao final dos estudos, serão extraídas justificativas pertinentes à adoção dessa inovadora medida não-estrutural de drenagem urbana, sob o contexto de “Águas Urbanas” da Lei Federal de Saneamento Básico nº 11.445/07

PALAVRAS-CHAVE: Balanço Hídrico, Drenagem Urbana, Medidas Não-Estruturais, Pegada Hídrica.

INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da população urbana sempre vem acompanhado às problemáticas de planejamento, como verificado no caso dos sistemas de drenagem, inadequações referentes ao saneamento, ocupação de áreas de risco. Tais questões, aliadas ao aumento da impermeabilização e, conseqüente, acréscimo do escoamento superficial, contribuem para a redução do amortecimento das águas, o que possibilita a ocorrência de grandes desastres, como as enchentes urbanas. Diante dessa problemática, torna-se imprescindível a adoção cada vez mais corriqueira de instrumentos e ferramentas que permitam um adequado gerenciamento dos recursos hídricos bem como, a nível urbano, de sua drenagem.

Em síntese, o Balanço Hídrico pode ser desenvolvido em três gerações, cada qual considerando componentes hidrológicas distintas:

1ª Geração (tradicional): P... ETR + Escoamento

2ª Geração (expandida): P + Abast. Público... ETR + Escoamento + Esgoto Sanitário

3ª Geração (integrada): P + Abast. Público + Água Virtual... ETR + Escoamento + Esgoto Sanitário + Resíduos Sólidos (Figura 1)

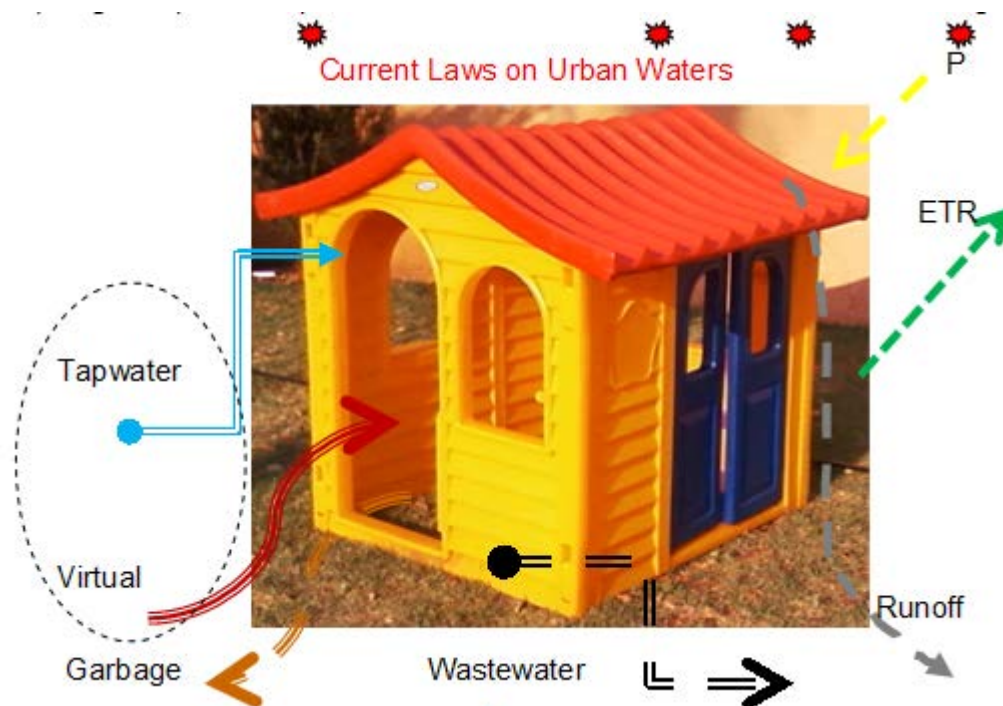


Figura 1: Balanço Hídrico de Terceira Geração

Quanto aos parâmetros legais, a Lei 11445/07 - Lei Federal de Saneamento Básico - estabelece um marco regulador para o Plano Diretor Urbano e define o termo “águas urbanas” como aquelas componentes da drenagem de águas pluviais (*Pe*), abastecimento de água (*Aag*), esgotamento sanitário (*Esan*) e resíduos sólidos (*Rsol*). No entanto, nota-se que embora haja um incentivo à gestão descentralizada e integral das águas urbanas - em especial das medidas compensatórias - existe ainda um vazio metodológico, em especial de indicadores que subsidiem os Códigos de Obras e Planos Diretores dos Municípios.

Desta forma, o presente trabalho busca abordar medidas não-estruturais de drenagem urbana, as quais podem ser estabelecidas como instrumentos para a melhoria da gestão dos recursos hídricos, no caso o Balanço Hídrico de Terceira Geração.

Em suma, tem-se a proposição de uma nova equação de continuidade geral, que aceite o balanço hídrico de componentes reais e virtuais, considerando como indicador o grau de neutralidade de impactos ou sustentabilidade de águas urbanas em escala de lote domiciliar (ΔX). Nesse sentido, valores próximos de zero indicam um equilíbrio sinérgico, que se baseia no balanço de entradas e saídas anuais de água real local e fluxos de água virtual que entram ou são gerados, em escala de lote urbano.

Consequentemente, a partir da aplicação de medidas não-estruturais de drenagem urbana como instrumentos de gestão, pode-se, finalmente, elaborar diferentes cenários prospectivos em escala de lote, de modo a obter um diagnóstico da influência de aplicação de medidas estruturais no grau de neutralidade dos impactos das águas urbanas. De forma que a construção de cenários seja baseada nos estudos denominados Millenium Ecosystem Assesment (MA) - um programa de trabalho internacional sobre os impactos que as mudanças nos ecossistemas causam ao bem-estar humano e as opções de respostas a essas mudanças - desenvolvido no intuito de atender às necessidades de informações científicas dos tomadores de decisões.

De forma geral, neste trabalho serão aplicados os cálculos do Balanço Hídrico de Terceira Geração, com base em variáveis hidráulicas e hidrológicas, de forma a possibilitar a criação de diferentes cenários prospectivos (2010, 2025, 2040) para tal medida não-estrutural, em escala de lote urbano.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área em estudo é um lote urbano de 200m², localizado a montante da sub-bacia do Monjolinho com área (5,7 Km²), pertencente a bacia do Tietê Jacaré, cuja área é de 78 Km² (Figura 2).

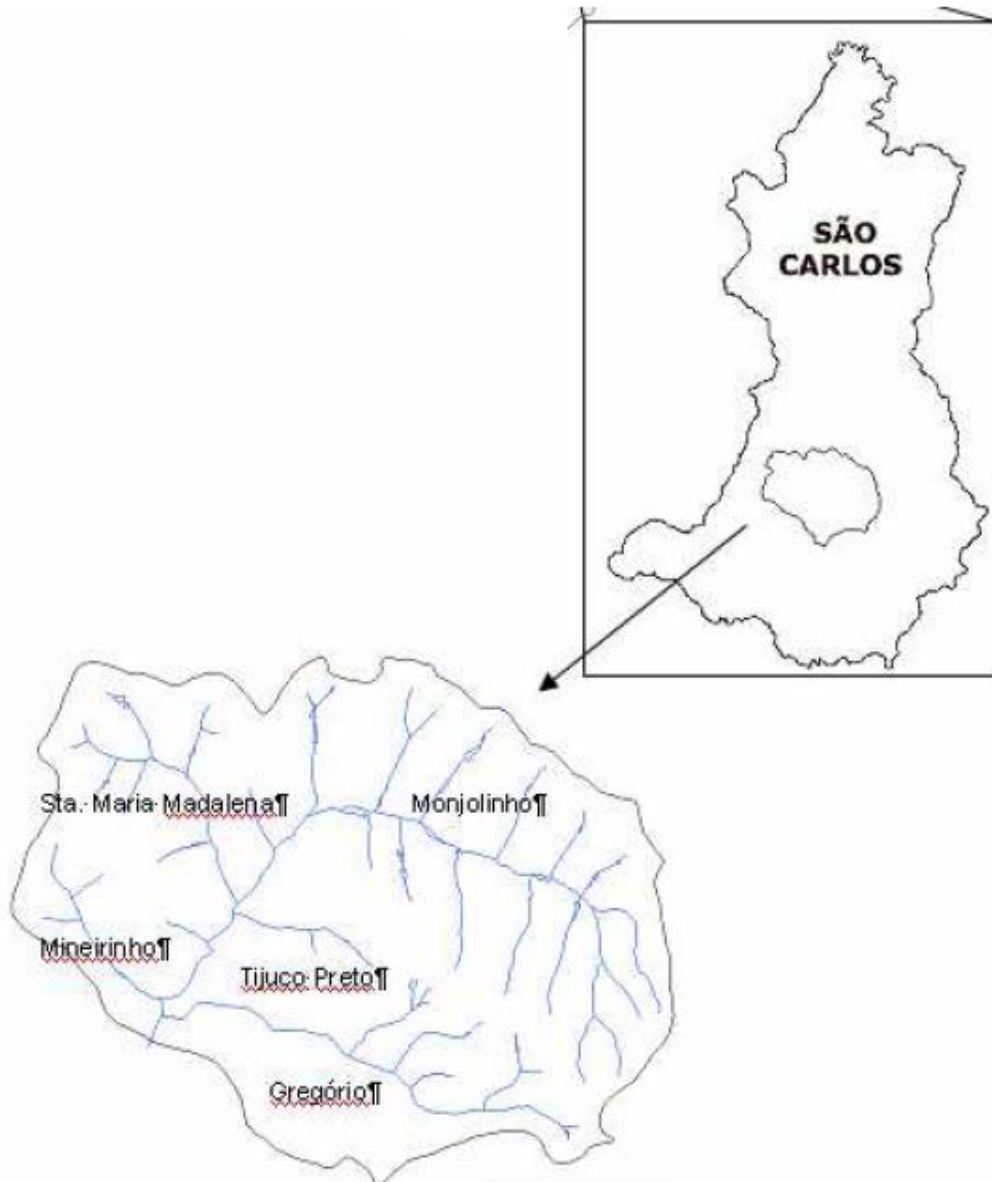


Figura 2: Localização do lote urbano (subbacia do Monjolinho)
(SOUZA, 2008)

Neste trabalho, serão desenvolvidos quatro cenários globais prospectivos (Figura 3), que exploraram duas linhas de desenvolvimento global: globalizado e regionalizado; e duas abordagens diferentes de gestão dos ecossistemas: uma com ação reativas, e outra em que a gestão dos ecossistemas é pró-ativa com políticas de longo prazo (MA- SCENARIO WORKING GROUP, 2005).

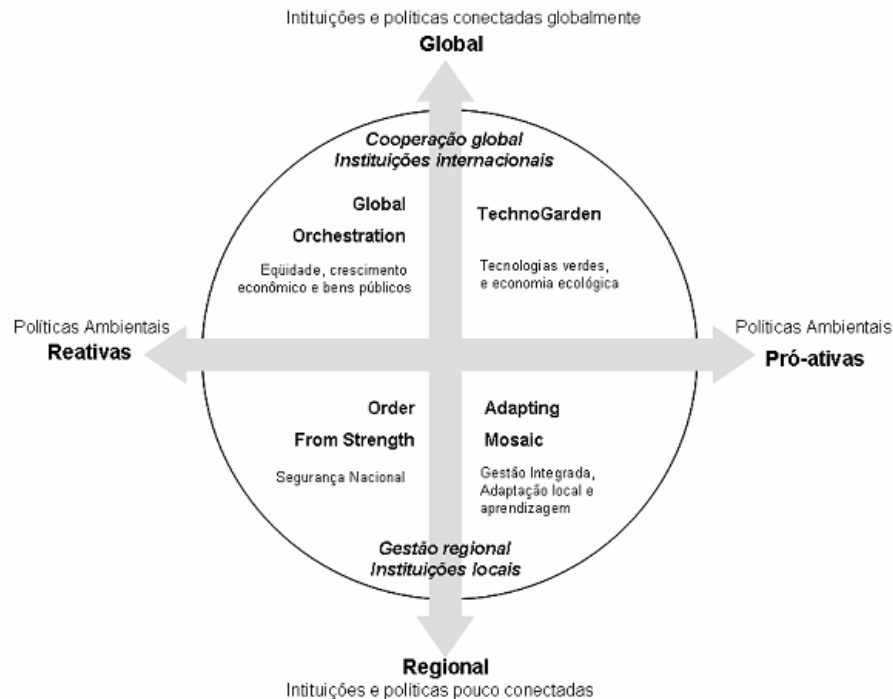


Figura 3: Estrutura dos cenários

Nos cenários com políticas pró-ativas, por se tratar de situações em que há uma preocupação com as questões ambientais, são adotadas medidas compensatórias estruturais da drenagem urbana, em que (equações 1 e 2):

$$\Delta Pe = Pe_{\text{futura}} - Pe_{\text{atual}} \quad \text{equação [1]}$$

$$\Delta Pe \leq \Phi \cdot Vol_{\text{med estr}} + (Ia + F) \cdot A_{\text{med estr}}, \quad \text{equação [2]}$$

Na qual, **Vol** e **A** representam, respectivamente, o volume e área perimetral permeável da medida estrutural adotada no lote e **Φ** é o índice de vazios, no intervalo de 0 (mínimo) e 1 (máximo) do volume.

Segundo Mendiondo (2010), uma nova equação do Balanço Hídrico de 3ª Geração pode ser calculada da seguinte forma (equação 3):

$$\langle \Delta X \rangle_{\text{lote}} = \underbrace{P}_{\text{green}} + \underbrace{Aag}_{\text{blue}} + \underbrace{AVe}_{\substack{\text{green} \\ \text{blue} \\ \text{grey}}} + \underbrace{\sum \text{Diluição}}_{\text{grey}} \left(\underbrace{\overline{Pe}^*, Esan, AVs(Rsol)}_{\text{grey}} \right) - \underbrace{\overline{ETR}}_{\text{green}} - \underbrace{\overline{Pe}^* - Esan - AVs(Rsol)}_{\text{grey}} \quad \text{equação [3]}$$

ΔX : Influência dos impactos das águas urbanas sobre o lote

P: Precipitação Média Anual medida

Aag: Abastecimento de água

Ave: Água Virtual de Bens e Serviços

\sum Diluição: As diluições de esgoto, resíduos sólidos e escoamento são os coeficientes de diluição a serem adotados;

ETR: Evapotranspiração Média Anual

Pe: Lâmina de Escoamento

Esan: esgoto sanitário

Avs(Rsol): água virtual dos resíduos sólidos

Os dados climáticos, de precipitação e evapotranspiração real serão medidos através das Estações Meteorológicas do CRHEA (pertencentes à USP), próximas ao lote urbano, enquanto os valores de abastecimento público e esgoto sanitário serão consultados junto à prestadora de serviço local (SAAE).

Os dados de escoamento serão obtidos a partir da seguinte equação de continuidade (equação 4):

$$Fa = P - Pe - Ia \quad \text{equação [4]}$$

A partir dessa relação, estabelece-se que:

Armazenamento de água (equação 5)

$$S_{\text{médio}} (\text{mm}) = \frac{25400}{CN_{\text{médio}}} - 254 \quad \text{equação [5]}$$

onde $CN_{\text{médio}}$ é (equação 6):

$$CN_{\text{médio}} = \sum CN_i \cdot xA_i \quad \text{equação [6]}$$

Perdas iniciais (equação 7)

$$Ia_{\text{médio}} = 5\% S_{\text{médio}} \quad \text{equação [7]}$$

Lâmina de escoamento (equação 8)

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad \text{equação [8]}$$

Essa equação é válida para $P > Ia$ e PE , P , Ia e S são dados em (mm).

A metodologia de quantificação da água virtual de entrada e saída será extraída do manual de pegada hídrica (HOEKSTRA *et. al.*, 2009). Já o fator de diluição de esgoto e lixiviado dos resíduos sólidos será estipulado através do princípio de diluição para o lançamento do efluente de maneira a comportá-lo na classe 2 proposta pela CONAMA 357/2005, ou seja, que a DBO esteja abaixo de 5 mg/l. Enquanto o fator de diluição de escoamento será baseado no parâmetro turbidez - devido a grande quantidade de minerais, sólidos grosseiros e coloidais, provenientes da lixiviação da superfície e arraste dos sedimentos - cujo enquadramento proposto também se insere na classe 2.

As diluições de esgoto, resíduos sólidos e escoamento são obtidas pelo produto da variável pelo seu fator de diluição. Assim, conforme Tabela 1, adotaram-se as seguintes hipóteses:

Tabela 1: Hipóteses adotadas para cálculo de balanço hídrico de 3º Geração

Pessoas que vivem dentro do lote urbano	04
Área (m²)	200
Água Virtual (m³/hab/ano)	1381
Precipitação (mm)	1505,07
Abastecimento (l/hab/dia)	200
Razão AVs/AVe	0,6-0,8
Razão Esgoto/Abastecimento	*
Fator de Diluição do Escoamento	*
Fator de Diluição do Esgoto Sanitário	*
Fator de diluição de resíduos	*

*parâmetros a ser determinados

RESULTADOS ESPERADOS

Ao final do Balanço Hídrico de Terceira Geração, espera-se obter uma indicação do grau de neutralidade de impactos ou sustentabilidade de águas urbanas em escala de lote domiciliar (ΔX). Nesse sentido, valores próximos de zero indicarão um equilíbrio sinérgico, que se baseia no balanço de entradas e saídas anuais de água real local e fluxos de água virtual que entram ou são gerados, em escala de lote urbano.

Um dos pontos inovadores nesse novo equacionamento intitulado “Balanço Hídrico de Terceira Geração” estabelece-se por meio da inclusão dos fluxos de água virtual, antes não considerados nos cálculos tradicionais de balanço hídrico.

A idéia de se considerar o uso da água virtual ao longo das cadeias de abastecimento que participa, surgiu com o conceito de pegada hídrica introduzida por *Hoekstra et al.* em 2002. Assim, entende-se por pegada hídrica como o uso da água doce, não só de forma direta como também indireta, podendo ser adotada como um indicador global de apropriação dos recursos hídricos, aliado à tradicional e restrita medição de retirada da água (*Hoekstra et al.*, 2009).

Por exemplo, a pegada hídrica de um produto é o volume d'água usada para produzi-lo, medido ao longo da cadeia de abastecimento global, ou seja, é um indicador multi-dimensional, apresentando volumes de consumo de água por: fonte e volumes poluído, tipo de poluição, de modo que todos os componentes da pegada total sejam especificados geograficamente e temporalmente.

Desta forma, a água virtual, expressa em pegada hídrica seria a somatória de 3 componentes denominadas: água azul, verde e cinza. De acordo com *Hoekstra et al.* (2009), a pegada da água azul se refere ao consumo dos recursos de água azul (águas superficiais e subterrâneas) ao longo da cadeia de fornecimento de um produto. O "Consumo" refere-se a perda de água superficial disponível nos corpos receptores em uma bacia hidrográfica, que ocorre quando a água evapora, retorna para outra bacia hidrográfica ou no mar ou é incorporada em um produto.

A água verde, por sua vez, se refere ao consumo de recursos de água verde (água da chuva armazenada no solo, como umidade do solo). Já, a cinza refere-se a poluição, e é definida como o volume de água doce que é necessária para assimilar a carga de poluentes, com base nos padrões atuais de qualidade ambiental. No balanço hídrico em questão, além das componentes de cargas poluidoras, podem ser expressas também na forma dos fatores de diluição.

Outra abordagem inovadora será a elaboração de diferentes cenários prospectivos (2025 e 2040), em que serão aplicadas condições diversas relativas ao abastecimento público, mudanças climáticas, redução de consumo, resíduos sólidos e geração de esgoto. Além disso, em nível de drenagem urbana serão avaliadas alterações quanto ao uso e ocupação do solo (CN), ao armazenamento máximo do solo e à adoção de medidas compensatórias de drenagem urbana. De forma a se obter um diagnóstico da influência de cada condição no Balanço Hídrico de Terceira Geração do lote urbano.

A tabela 2 apresenta as características de uso e ocupação do solo do cenário de ano base (2010).

Tabela 2: Características do lote urbano de 200m²

Uso e ocupação	CN	Área (m ²)
área impermeável	98	100
área impermeável conectada	100	36
solo descoberto	82	10
vegetação	68	30
grama	66	24

A partir da tabela anterior, foi obtido um valor de CN_{médio} de 89,22 para o lote de 200m² e assim, de acordo com a equação de continuidade, foram calculados o armazenamento máximo, perdas e a lâmina de escoamento formada (Tabela 3).

Tabela 3: Precipitação, Armazenamento, Perdas e Lâmina de Escoamento

Precipitação (mm)	1275,80
Armazenamento (mm)	30,69
Perdas (Ia) (mm)	1,53
Lâmina de Escoamento (mm)	1244,29

As tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam as características simuladas relativas ao uso e ocupação do solo, e conseqüente, capacidade de armazenamento d'água, para cada cenário prospectivo: Global Orchestration, Order from Strength, Adapting Mosaic e TechnoGarden, respectivamente.

Tabela 4: Características do lote urbano pertencente ao cenário Global Orchestration

Cenário	G.O.	2025	G.O.	2040
	m²	CN	m²	CN
Área Impermeável	40	98	110	98
Área Impermeável diretamente conectada	104	100	44	100
Solo Descoberto	14	82	14	82
Medidas compensatórias	-	-	-	-
Vegetação	12	68	12	68
Gramma	30	66	20	66
Área Total (m²)	200	-	200	-
CN global		90,68		92,32
Armazenamento S (mm)		26,11		21,13

Tabela 5: Características do lote urbano pertencente ao cenário Order from Strength

Cenário	O.S.	2025	O.S.	2040
	m²	CN	m²	CN
Área Impermeável	50	98	110	98
Área Impermeável diretamente conectada	104	100	60	100
Solo Descoberto	14	82	16	82
Medidas compensatórias	-	-	-	-
Vegetação	24	68	7	68
Gramma	8	66	7	66
Área Total (m²)	200	-	200	-
CN global		92,34		95,15
Armazenamento S (mm)		21,07		12,95

Tabela 6: Características do lote urbano pertencente ao cenário Adapting Mosaic

Cenário	A.M.	2025	A.M.	2040
	m²	CN	m²	CN
Área Impermeável	100	98	94	98
Área Impermeável diretamente conectada	36	100	32	100
Solo Descoberto	6	82	6	82
Medidas compensatórias	+	-	+	-
Vegetação	32	68	42	68
Gramma	26	66	26	66
Área Total (m²)	200	-	200	-
CN global		88,92		87,38
Armazenamento S (mm)		31,65		36,68

Tabela 7: Características do lote urbano pertencente ao cenário TechnoGarden

Cenário	T.G.	2025	T.G.	2040
	m²	CN	m²	CN
Área Impermeável	100	98	100	98
Área Impermeável diretamente conectada	36	100	36	100
Solo Descoberto	8	82	6	82
Medidas compensatórias	+	-	+	-
Vegetação	32	68	34	68
Gramma	24	66	24	66
Área Total (m²)	200	-	200	-
CN global		88,92		88,94
Armazenamento S (mm)		31,65		31,59

CONCLUSÕES

O presente trabalho contribui para a verificação da importância do estabelecimento de medidas não-estruturais como instrumentos para a melhoria da gestão dos recursos hídricos, no caso o Balanço Hídrico de Terceira Geração, pois os parâmetros analisados exercem influência significativa sobre a drenagem urbana e seus impactos.

No caso dos cenários prospectivos, pretende-se avaliar a influência no valor final do Balanço Hídrico de Terceira Geração em escala de lote urbano, quando são adicionadas medidas compensatórias estruturais (telhado verde, trincheiras de infiltração, etc.) à drenagem urbana, bem como demais mudanças de condições como as climáticas e de conscientização ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AEASC/PMSC (2009) Associação de Engenheiros, Arquitetos e Agrônomos de São Carlos, **Código de Obras de São Carlos**, Minuta Preliminar, 98p.
2. BRASIL – GOVERNO FEDERAL. **Lei 11.445/07, Política Nacional de Saneamento Ambiental**, 2007, Presidência da República, Acesso em: 20/04/2010 http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/111445.htm
3. HOEKSTRA, A, CHAPAGNAIN, ZARATE, E., M ALDANA. **Water footprint manual**. 2009. Univ Twente/UNESCO-IHE, Report Nr 41, Enschede/Deflt, Holanda, 301p.
4. MENDIONDO, E M. **What stormwater runoff P.E.T. do we know towards a 3rdG water balance?**. 2010. Virtual Water Problem #3, SHS5890, Recursos Hídricos: Aspectos Quantitativos, PPG-SHS EESC/USP, Apostila, 15p.
5. MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MA), **Scenario Working Group (2005) Four Scenarios**, In S. R. Carpenter, P.L. Pingali, E.M. BENNETT, M.B. ZUREK (editors). Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, Island Press: Washington, v.2., Chapter 8, p. 223-294.
6. SOUZA, T.F. **Drenagem Urbana sob Cenários de longo prazo visando Incentivos Ambientais**. Dissertação de Mestrado. 2008. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.