

ÁGUA VIRTUAL NA GESTÃO DE ÁGUAS URBANAS SOB CENÁRIOS DE ADAPTAÇÃO

Jaqueline Aparecida Bória Fernandez¹ & Eduardo Mario Mendiondo²

RESUMO Propõem-se conceitos de água virtual dentro da abordagem de balanço hídrico na escala de lote urbano como forma de destacar a gestão descentralizada de águas urbanas. O artigo apresenta conceitos de água virtual e os estende na forma de balanço hídrico para sua aplicação em escala de lote urbano. Comparam-se diferentes balanços hídricos, a partir de distintos níveis de complexidade, mas que possam ser avaliados. O balanço hídrico de terceiro nível incorpora fluxos de água virtual na escala de lote: (1) de entrada, AVe , como o teor de água virtual incorporada em bens e serviços consumidos, e (2) de saída, AVs , representada por água virtual incorporada em resíduos sólidos. É importante destacar que para o balanço de terceiro nível esta representação incorpora as quatro componentes de águas urbanas da Lei Federal 11.445/2007: drenagem pluvial (Q), abastecimento de água (Tap), resíduos sólidos (AVs) e escoamento sanitário (W). Com base na variação desta nova variável de armazenamento generalizado (ΔS_3), a gestão descentralizada de águas urbanas pode ser de utilidade para mecanismos de adaptação de políticas públicas sob mudanças de longo prazo, por exemplo, Planos Diretores Urbanos e de Habitação.

Virtual water into urban water management under adaptation scenarios

ABSTRACT This paper aims to briefly introduce the concept of virtual water into the water balance concept at the scale of urban lot in order to enhance decentralized management of urban waters. The paper outlines virtual water, thereby approaching into water balance equation at the urban lot. Multi-level definitions of water balance equations are herewith approached, viable to be assessed. A third-order water balance equation incorporates fluxes of virtual water, as inputs (AVe) of embedded water into goods and services consumed by dwellers, and outputs (AVs) embedded into garbage generated at the urban lot scale. It is worth noting that in the third-order water balance approach all urban water components of Brazilian Federal Law 11.445/2007 are herewith explicated: urban runoff (Q), tap water (Tap), solid garbage (AVs) e domestic sewage (W). Hence decentralized urban water management depicts useful pathways as adaptation measures of public policies under long term chances, i.e. phases of Urban Master and Habitation Plans.

Palavras-chave: água virtual, gestão descentralizada de águas urbanas, medidas de adaptação.

¹ Professora Doutora do Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos – UNIFEB. Coordenadora dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental – UNIFEB. Rua Chojnice, 153 – Residencial Samambaia. São Carlos – SP. CEP 13.565-530. Tel. (16) 3361-2463. E-mail: jaqueboria@gmail.com

² Professor Doutor da Escola de Engenharia de São Carlos EESC, USP, Av Trabalhador Saocarlense, 400, 13566-590 Sao Carlos, SP, Tel (16) 3373 9550. Email: emm@sc.usp.br

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos os recursos hídricos vêm recebendo uma abordagem sob os aspectos econômicos e políticos, além da questão ambiental. Esse prisma auxilia no entendimento dos problemas de gestão das águas e na proposição de políticas de mitigação e de adaptação da sociedade frente aos problemas de escassez e de poluição desse recurso (CARMO *et al.*, 2005; HOEKSTRA, 2009).

Nesse sentido, novos conceitos têm sido desenvolvidos, como água virtual e pegada hídrica (Water Footprint – WF). Ambos atuam como indicadores de uso e apropriação da água, diretamente relacionados ao consumo humano nas diversas atividades (HOEKSTRA, 2009).

O conceito de água virtual (o volume de água utilizada na produção de uma mercadoria, bem ou serviço), juntamente com a pegada hídrica (indicador de consumo de água), podem auxiliar a gestão descentralizada, por indicar o consumo direto e indireto da água por parte dos consumidores (ALDAYA *et al.*, 2010).

Ainda, que o uso desses indicadores não tem sido incorporados pela gestão de recursos hídricos no Brasil, os mesmos podem auxiliar no cumprimento dos princípios fundamentais da Política de saneamento, Lei No. 11.445/2007 (BRASIL, 2007).

2. OBJETIVOS

Apresentar os conceitos de água virtual e pegada hídrica e a proposta inovadora da inserção desses conceitos no balanço hídrico tradicional na escala de lote urbano como forma de incorporar a gestão descentralizada de águas urbanas

3. PEGADA HÍDRICA E ÁGUA VIRTUAL

A pegada hídrica (Water Footprint – WF) é um indicador baseado no consumo e no uso da água, de forma direta ou indireta por um consumidor, produtor, comunidade, cidade ou nação (ALDAYA *et al.*, 2010).

Esse conceito foi apresentado pelos pesquisadores Hoekstra e Hung (2002) e pode ser definido como o volume total de água utilizado para produzir os alimentos e serviços consumidos pelo indivíduo, empresa ou nação, expressa em termos de volume (m³) de água por ano (UNESCO, 2009, CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2008; HOEKSTRA, 2009). Seu cálculo deve levar em conta as variáveis de tempo e lugar (HOEKSTRA, 2008).

Assim, ao mencionar a pegada hídrica interna de uma região, bacia hidrográfica ou país, significa que foram considerados apenas os usos e o consumo de água dentro dos limites regionais. Isso é particularmente relevante para o planejamento e a tomada de decisão em relação à oferta e a demanda pela água (YU *et al.*, 2010).

Para determinar a pegada hídrica são considerados dois componentes, sendo estes a utilização direta de recursos hídricos (superficiais ou subterrâneos) e a utilização de água virtual (uso indireto). Dessa forma, a pegada hídrica está intimamente ligada ao conceito de água virtual (HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2007).

Na pegada hídrica (individual, comunidade e empresarial) o uso direto e indireto da água, corresponde a três tipos de água (GERBENS-LEENES e HOEKSTRA, 2008; HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2008; HOEKSTRA, 2011):

- água azul (*Blue water*): volume de água (superficial ou subterrânea) usada para produção de um produto, serviço ou para o consumo desses. Evaporação da água de irrigação, por exemplo;
- água verde (*Green water*): volume de água de chuva que evapora durante o processo de produção ou consumo. Relevante para produção de produtos agrícolas (evapotranspiração);
- água cinza (*Grey water*): volume de água poluída, associada a produção de bens e de serviços e consumo. Inclui o volume de água necessário para diluir os poluentes de forma que a qualidade da água local permaneça a cima dos padrões de qualidade da água.

As águas e seus tipos de usos podem ser melhor representadas conforme a Figura 1.

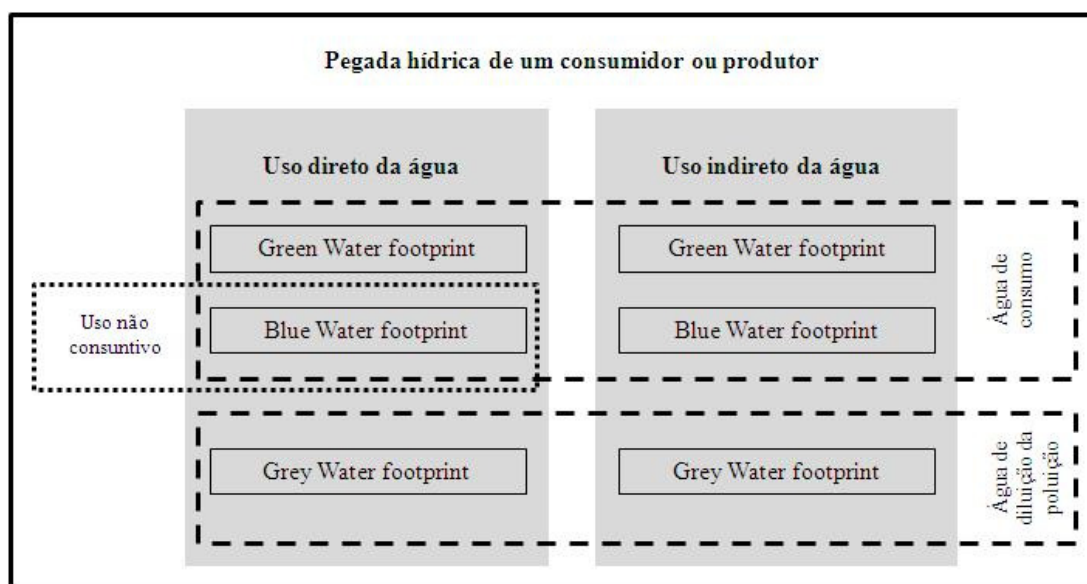


Figura 1 – Componentes da pegada hídrica. A água não consuntiva não é parte da pegada hídrica.

Fonte: Hoekstra (2011)

Um mecanismo adotado para auxiliar no cálculo da pegada hídrica é o conceito de água virtual, denominação dada para a água consumida na produção ou fabricação de um bem ou serviço

(MACÊDO, 2005; GUIMARÃES e XAVIER, 2006; CARMO *et al.*, 2005; HOEKSTRA e HUNG, 2002; CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2008; HOEKSTRA e HUNG, 2005).

A água virtual representa a água utilizada na quase totalidade dos processos, de transformação ou produção de alimentos e bens de consumo. Essa denominação surgiu no início da década de 1990, ultrapassando a abordagem tradicional de que a água é um recurso natural e passou a adquirir também uma abordagem econômica, pois sua presença é indispensável na produção e no comércio de bens de consumo (MACÊDO, 2005; GUIMARÃES e XAVIER, 2006; CARMO *et al.*, 2005; HOEKSTRA e HUNG, 2002).

A presença da água no produto final é praticamente insignificante se comparado ao seu conteúdo de água virtual (HOEKSTRA, 2009).

A análise da pegada hídrica guarda relação às condições sociais e ambientais de um dado local geográfico, pois proporções diferentes das suas componentes (azul, verde e cinza) e da variabilidade de oferta e demanda de água de um local para outro, pode levar a conclusões específicas sobre como a pegada hídrica pode gerar benefícios sociais e ambientais, por exemplo (RIDOUTT *et al.*, 2009).

Quando existe o comércio de produtos industrializados, cultivados e outros, caracteriza-se também o comércio de água virtual, tanto dentro como fora de um país. Basicamente, está implícita a idéia de que um país com maior disponibilidade em recursos hídricos tem condições de usar essa água para produzir produtos para exportação. Nesse sentido, o comércio de água virtual estaria compensando a escassez de água de uma dada localidade. Assim, em um país importador de água virtual, haveria uma economia em seus recursos hídricos (CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2008; HOEKSTRA, 2008; ALDAYA *et al.*, 2010).

3.1. Representações do comércio de água virtual

A conservação da água não deve ser a única abordagem para a água virtual, que também deve ser entendida, como uma compensação pela falta de recursos hídricos e além, de um estímulo para adoção de usos mais eficientes desse recurso. Principalmente, quando verifica-se que 16% da água mundial é usada para a fabricação de produtos para exportação (HORLEMANN e NEUBERT, 2007; CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2004).

A água virtual também é uma ferramenta capaz de medir o fluxo de água, do comércio de bens de consumo, entre países e de atuar como elemento estratégico, considerando outras questões como “gestão, uso, reuso e alocação de recursos hídricos” [...] impedindo ou estimulando produtos que demandam uma quantidade grande de recursos hídricos” (CARMO *et al.*, 2005).

A análise da viabilidade, entre exportar ou importar a água virtual, também deve considerar a questão social e ética, visto que o país exportador deve estimar as necessidades básicas humanas,

em função do crescimento populacional, em termos de água e seus diversos usos, sem exportar toda sua água real (HORLEMANN e NEUBERT, 2007; MACKAY, 2007).

Do ponto de vista ecológico, os países exportadores de água virtual podem colocar em risco a manutenção de seus ecossistemas, seja pela redução da vazão dos corpos d'água, seja pelas medidas adotadas pela agricultura tradicional, com uso de fertilizantes e defensivos agrícolas, que podem comprometer a qualidade dos recursos hídricos (PARTZSCH e SCHEPELMANN³, 2005 apud HORLEMANN e NEUBERT, 2007).

A partir dessa abordagem, Van Oel *et al.* (2008), buscaram avaliar o impacto do comércio da água virtual, importada pela Holanda, proveniente de diversos países, tais como China, Índia, Espanha, Turquia, Paquistão, África do Sul, Sudão e México, relacionado o aspecto econômico da água virtual com o aspecto ambiental nos países exportadores.

Assim, vários aspectos da utilização do conceito de água virtual têm, em última análise, a dimensão econômica (GUIMARÃES e XAVIER, 2006; CARMO *et al.*, 2005; HOEKSTRA e HUNG, 2002).

3.2. Água Virtual e Pegada hídrica como indicadores de uso da água

Extrapolando os conceitos apresentados, a água virtual e a pegada hídrica podem medir o consumo de uma família, por exemplo, com a finalidade de atuar como instrumento educacional para sensibilização quanto aos diversos aspectos dos recursos hídricos. Isso inclui a informação sobre condições de escassez hídrica, que pode ocorrer de acordo com as previsões sobre as mudanças climáticas. Em outras palavras, esses conceitos podem ajudar a disseminar aos cidadãos o valor da água virtual que é consumida diariamente.

Segundo Guimarães e Xavier (2006), a adaptação da população a possíveis cenários de escassez hídrica dependerá diretamente do valor que a mesma atribui aos recursos hídricos. Assim, quantificar a água virtual e a pegada hídrica, a partir do consumo residencial, é tão importante quanto a necessidade de regulamentação desta nas políticas de saneamento.

De forma geral, quanto maior for o nível de informação da sociedade, melhor será o entendimento ou o conhecimento do consumidor, facilitando a adesão dos mesmos aos mecanismos de adaptação ao estresse adicional induzido pela mudança climática.

No tocante ao consumo, existem ferramentas que analisam o balanço, de materiais ou de recursos naturais, para identificar os impactos gerados durante o consumo de bens e produtos, tais

³ PARTZSCH, L.; SCHEPELMANN, P.. The environment. Environmental Policy Research Centre, Freie Universität Berlin / Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Wuppertal, 2005.

como a análise do ciclo de vida, a pegada ecológica, a Material Flow Analysis – MFA e a pegada hídrica, que podem ser aplicadas tanto para unidades industriais, instituições e indivíduos (CHAPAGAIN e ORR, 2009; PARTZSCH e SCHEPELMANN, 2005 apud HORLEMANN e NEUBERT, 2007).

Os impactos provenientes do consumo de água podem ser avaliados pelo fluxo de água virtual e também pela pegada hídrica, que avalia o consumo de água real e virtual, especificando o tipo de uso da água, incluindo onde e como ela foi usada (HOEKSTRA, 2008).

Contudo, esses valores ganham um significado consistente quando são avaliados diante da realidade local de disponibilidade dos recursos hídricos. Mas, para sua aplicação, ainda serão necessários ajustes ao conceito da pegada hídrica, pois a mesma ainda não tem incorporado, de forma sistêmica, o conteúdo de água virtual presente nos produtos e bens, desde o momento em que esses entram em uma residência até o momento em que são descartados no final de sua vida útil (GERBENS-LEENES e HOEKSTRA, 2008).

Por outro lado, a oferta de água deve ser verificada tendo em vista as alterações em regimes de precipitação, em decorrência as alterações climáticas.

Segundo Marengo (2008), problemas devido à mudança climática podem interferir na variabilidade e na disponibilidade na qualidade e na quantidade de água.

Assim, diante de um cenário com crescente demanda de água e consumo de produtos, bens e serviços, verifica-se a necessidade de medidas não-estruturais, incluindo políticas públicas relacionadas à educação para um consumo mais sustentável e medidas que permitam, por exemplo, que o consumidor escolha o produto que requer menor quantidade de água na sua produção ou cadeia produtiva.

A água virtual e a pegada hídrica então poderiam ser alternativas para medidas de controle, de educação e de política para diminuir a pressão sobre os recursos hídricos (CARMO *et al.*, 2005). Pois, ao serem mensuradas, podem contribuir com o maior esclarecimento da população a respeito do seu grande consumo e a partir disso, pode haver uma maior aderência a programas de combate ao desperdício e de incentivo ao consumo sustentável, por exemplo.

Assim, a água virtual e a pegada hídrica tornam-se indicadores ambientais, que podem ser associadas ao nível de vulnerabilidade da disponibilidade de recursos hídricos, frente a uma análise conjunta com outros fatores, tais como: consumo, geração de resíduos sólidos e o uso e ocupação do solo (FERNANDEZ e MENDIONDO, 2009).

Essa nova compreensão poderia representar o início de mudanças de comportamento e de hábitos de consumo, principalmente, se os trabalhos de conscientização enfatizarem a importância

do uso racional de água como medidas de adaptação da sociedade frente a previsões de alterações climáticas.

As medidas de mitigação, visando a adaptação, podem ocorrer por meio de medidas de neutralidade hídrica, que contribuem com a adoção de ações que favoreçam a economia de água real e podem reduzir e compensar os impactos gerados pela pegada hídrica (HOEKSTRA, 2008).

4. PROPOSTA METODOLÓGICA: BALANÇO HÍDRICO REAL E VIRTUAL EM ESCALA DE LOTE

Neste artigo, propõe-se a análise do balanço hídrico, com a inserção das variáveis de água real e virtual, em um lote urbano com ocupação unifamiliar. Para tal, será considerado um lote urbano geral.

A análise global das variáveis de água real e virtual em um lote se dará em função de variáveis hidrológicas, climatológicas, consumo de água, geração de esgoto doméstico e pluvial e de resíduos sólidos, associados ainda, a área do lote e as formas de cobertura do solo. O balanço hídrico irá refletir a demanda de água por parte do consumidor doméstico.

Para apresentar a inserção da água virtual no balanço hídrico, em escala de lote, a equação do balanço hídrico será interpretada em três níveis, para melhor entendimento dos componentes reais e virtuais, em uma gestão descentralizada. Estes três níveis representam três tipos ou gerações de equações de balanço hídrico

O balanço hídrico é um dos modelos mais simples utilizados em hidrologia, que analisa, para um determinado intervalo de tempo, a variação armazenamento de água em uma dada área, para um período de tempo determinado. O balanço hídrico (ΔS) permite a verificação do armazenamento de água, por meio da análise das entradas e saídas de água em um dado sistema, em função do tempo (SANTOS *et al.*, 2002; TUCCI e BELTRAME, 2002; VILLELA e MATTOS, 1975).

Os componentes reais do balanço hídrico envolvem variáveis hidrológicas e climatológicas, tais como precipitação (P), drenagem de águas pluviais (Q) e evapotranspiração (ETR).

Os componentes hidrológicos, como escoamento e evapotranspiração, sofrem influência das alterações nas áreas urbanizadas, principalmente pelas condições de uso e ocupação do solo e maior disposição de resíduos sólidos por parte da população (TUCCI, 2004).

A variável P é medida diretamente, em função da precipitação local e as variáveis ETR e Q são variáveis que guardam relação com a primeira e, também dependem do tipo de cobertura da superfície da área em questão. A análise do balanço hídrico, em escala de lote, permite associar as

variáveis reais e virtuais ao modo de vida dos consumidores, que utilizam a água (real e virtual) em diversas atividades.

4.1. Primeiro nível de balanço hídrico

O balanço hídrico descentralizado pode indicar uma tendência de consumo de água de moradores de uma dada região, e logo, esta quantificação pode ser relacionada com a oferta de água desta localidade, segundo dados de previsão de precipitação, para o período de tempo de interesse. Ainda, nessa análise a contribuição de água de fora da bacia e a recarga de aquíferos profundos serão desprezadas (UNESCO⁴, 1982 apud TUCCI e BELTRAME, 2002; SANTOS *et al.*, 2002).

Essa análise refere-se ao balanço hídrico, adotando a evapotranspiração como função da infiltração no lote. Assim, de forma simplificada, a variação de armazenamento de água (ΔS_1) é dada conforme a Equação 1.

$$\Delta S_1 = P - Q + ETR \quad (1)$$

onde ΔS_1 é a variação de armazenamento; P a precipitação (“água verde” ou *green water*); Q a drenagem de águas pluviais e ETR a evapotranspiração (“água verde” ou *green water*).

Considerando a escala de lote, verifica-se que ΔS_1 é analisada em função de P que representa uma componente exógena, ao objeto de estudo. A influência da precipitação na análise do balanço hídrico encontra-se, principalmente, na sua variação em longo prazo.

Atualmente, a preocupação recai sobre as incertezas com relação à variável P , incluindo a tendência das mudanças climáticas, que indicam que a oferta de água se tornará cada vez menos previsível e confiável (MARENGO, 2008).

A composição de cenários, incluindo a precipitação e consumo de água, podem auxiliar nas estimativas das demandas futuras de água, bem como, auxiliar a elaboração de políticas ambientais e de recursos hídricos.

As variáveis Q e ETR estão relacionadas à área do lote, incluindo a área construída e, também ao tipo e a cobertura do solo, sofrendo influência das atividades exercidas pelos proprietários.

Por outro lado, verifica-se que ΔS_1 guarda relação com as variáveis (P , Q e ETR) que são exógenas ou externas ao consumo doméstico, em termos de demandas consuntivas e não-consuntivas.

⁴ UNESCO, 1982. **Guia metodológica para la elaboracion del balance hídrico de América del Sur**. Montevideo, 130p.

Nesse sentido, ainda que dependente de variáveis climática-hidrológicas, nota-se que ΔS_1 pode representar um balanço hídrico positivo se houver menor impermeabilização do solo, em função de componentes internos as condições do lote.

4.2. Segundo nível de balanço hídrico

Em um segundo nível de análise (ΔS_2), o balanço hídrico do lote considera também a entrada de água de abastecimento público, denominada de “água azul” (*blue water*) e a saída das águas servidas de esgotamento sanitário. Logo, a variação de armazenamento que contempla esta nova situação, ΔS_2 , é fornecido pela Equação 2.

$$\Delta S_2 = P - Q - ETR + Tap - W \quad (2)$$

nesse caso, a variação de armazenamento deste novo balanço hídrico ΔS_2 , também se dá em função da variável *Tap*, que representa o consumo de água azul ou de abastecimento, e da variável *W*, as águas servidas, esgoto sanitário que contribuem para o conceito de *grey water*.

Diferentemente da primeira análise, ΔS_2 responde a fatores exógenos ao lote e, também, considera o consumo de água e produção de esgoto sanitário, que depende, diretamente, do número de pessoas e do modo de vida da família residente no lote.

Em termos gerais da pegada hídrica de um país, consumo doméstico de água, verifica-se que a pegada hídrica mundial é da ordem de 4,6%. O restante corresponde ao consumo de água industrial (9,6%) e ao consumo de produção agrícola (85,8%) (CHAPAGAIN e HOEKSTRA, 2004).

Assim, mais uma vez, nota-se que o impacto do consumo doméstico de água é menor do que os provocados por outros usuários, contudo, a população pode adotar medidas de mitigação, visando o combate ao desperdício e economia de água. Essas ações representam medidas de neutralidade hídrica, utilizadas para diminuir o impacto da pegada hídrica (HOEKSTRA, 2008).

4.3. Terceiro nível de balanço hídrico

Os dois níveis de balanço hídrico apresentados, ΔS_1 e ΔS_2 , são obtidos a partir de componentes hídricos reais, considerando a água em seu estado líquido e que pode ser medida pelo seu volume.

Contudo, em uma residência a água pode entrar de forma “virtual” presente em vários itens de consumo, como alimentos frescos e industrializados, peças de vestuário, móveis e eletroeletrônicos, representando a água enquanto recurso natural e bem de consumo intermediário (LANNA, 2002).

Dessa forma, em um terceiro nível de análise são incorporados ao balanço hídrico os componentes de água virtual de entrada (AVe) e de saída (AVs), representando, respectivamente, a água embutida em bens e serviços de consumo e nos resíduos sólidos, conforme apresentado pela Equação 3.

$$\Delta S_3 = P - Q - ETR + Tap - W + AVe - AVs \quad (3)$$

onde ΔS_3 é a variação de armazenamento de água, com a inserção das componentes reais e virtuais. A equação 3 pode ser reagrupada pelas entradas e saídas do sistema, de acordo com a Equação 4.

$$P + Tap + AVe = Q + ETR + W + AVs \quad (4)$$

Os componentes AVe e AVs representam o fluxo de água virtual em um lote, que quantificam o uso indireto dos recursos hídricos consumidos (GERBENS-LEENES e HOEKSTRA, 2008).

De uma forma resumida, a Tabela 1 mostra todas as variáveis consideradas nos três níveis de balanço hídrico descentralizado em escala de lote urbano.

Tabela 1 – Variáveis e níveis de balanço hídrico descentralizado em escala de lote urbano

Variáveis	1º. Nível (ΔS_1)	2º. Nível (ΔS_2)	3º. Nível (ΔS_3)
Climatológicas/entrada	P	P	P
Hidrológicas/saída	Q	Q	Q
Hidrológicas/saída	Etr	Etr	Etr
Água real/entrada		Tap	Tap
Água real/saída		W	W
Água virtual/entrada			AVe
Água virtual/saída			AVs

Esses componentes de água virtual, de entrada e de saída, podem subsidiar o cálculo do balanço hídrico virtual (m^3 /ano) e indicam o consumo de água virtual por uma família, em um lote urbano. Em outras palavras, trata-se da determinação do fluxo de água virtual ou da pegada hídrica virtual do lote (FERNANDEZ e MENDIONDO, 2009).

A pegada hídrica virtual do lote é parte do balanço hídrico do lote (ΔS_3) e esse último, por sua vez, permite uma análise mais completa do uso e consumo de água, do que a proposta da pegada hídrica.

A pegada hídrica analisa o uso direto e indireto da água, sob as formas de água azul, água verde e água cinza, e o balanço hídrico (real e virtual) representa o balanço mais completo dos

componentes hídricos possíveis de serem analisados, por incorporar todas as águas utilizadas em um lote, conforme apresentado na Equação 3.

O balanço hídrico do lote (ΔS_3) e a análise da pegada hídrica, indicam o consumo de água e tornam-se importante para divulgar o uso intenso da água por parte da sociedade atual. Além disso, esses podem se tornar indicadores a serem usados como instrumento educacional, para incentivar a adoção de medidas de redução do uso da água ou para prever o quadro de disponibilidade hídrica, em cenários de longo prazo.

A determinação do balanço hídrico, real e virtual, pode subsidiar a elaboração de medidas de adaptação e mitigação com bases locais de descentralização da gestão de recursos hídricos urbanos.

5. DISCUSSÃO

As ações visando à adaptação da população e mitigação frente a cenários de mudança, por exemplo de urbanização crescente (ΔQ), de escassez hídrica (ΔTap), ou de costumes e hábitos de consumo (AVe e AVs) devem considerar a análise do balanço hídrico, ΔS_3 , em escala de lote.

Considerando as variáveis internas ao lote, verifica-se que as alterações no ciclo hidrológico, decorrentes da ocupação da área, da redução da cobertura vegetal e da impermeabilização dos solos, que alteram a infiltração de água no solo, diminuem a evapotranspiração (ETR) e aumentam a drenagem pluvial (Q). Ainda, no longo prazo, p.ex. 50 ou 100 anos, a mesma abordagem pode ser utilizada para incorporar possíveis mudanças climáticas. Contudo essas variáveis podem ser administradas de acordo com Planos Diretores com diretrizes de ocupação do lote, em termos de planejamento e de projeto.

Para uma gestão descentralizada, o ator central desse contexto é o morador e, ao mesmo tempo, o consumidor final. A logística pode ser pensada a partir do consumo final, em uma esfera mais próxima a cada cidadão e de sua moradia. A partir do consumo de águas reais e virtuais, cada grupo de moradores poderão conhecer melhor qual é o seu impacto sobre o meio ambiente decorrente do seu uso da água.

Para atingir esse resultado, entre outros, torna-se necessária a elaboração de medidas regulatórias e educacionais, a fim de gerar uma nova postura cultural da sociedade. Nesse sentido, podem ser esperadas alterações de condutas e de comportamentos. Por exemplo, o fomento do consumo mais racional da água e também na busca por produtos que requerem menos água em sua produção, além do estabelecimento de um novo valor sócio-ambiental ao recurso hídrico.

6. CONCLUSÃO

O balanço hídrico é um meio usual para o conhecimento do comportamento das variáveis hidrológicas e climatológicas, e a análise de sua aplicação pode subsidiar discussões sobre o estado atual das condições ambientais de um dado local.

Ampliando esse entendimento tradicional, o artigo identificou outras variáveis que fazem parte desse balanço, tais como água de abastecimento e esgotamento sanitário, além das variáveis de entrada e de saída da água virtual, para o balanço hídrico em escala de lote. Também, incorporou-se o conceito de água virtual como possível indicador alternativo que auxilie no desempenho de implementação de políticas ambientais para promoção da sustentabilidade.

É importante destacar que para o balanço de terceiro nível esta representação incorpora as quatro componentes de águas urbanas da Lei Federal 11.445/2007: drenagem pluvial (Q), abastecimento de água (Tap), resíduos sólidos (AVs) e escoamento sanitário (W).

As ações para reduzir a pegada hídrica podem ocorrer sob a forma de redução do consumo de água ou por meio da compensação das externalidades negativas, sejam essas de cunho econômico, social e ambiental, tal como o estímulo para o uso mais sustentável e a distribuição mais homogênea da disponibilidade hídrica.

Nesse contexto, com a proposição da água virtual e da pegada hídrica como indicadores ambientais, para fins de sensibilização sócio-econômica, e a partir da análise proposta para seu uso em escala de lote, espera-se que essas ferramentas sejam aprimoradas em futuros trabalhos. Especialmente que elas se tornem mais usuais e também subsidiem a elaboração de políticas de habitação, de planejamento de uso e ocupação do solo, de incentivos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. 2007. Lei. No. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, altera as Leis n^os 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF. 11/jan./2007.

CARMO, R. L. et. al. 2005. *Água virtual e desenvolvimento sustentável: o Brasil como grande exportador de recursos hídricos*. XXV Congresso de La Asociación Latinoamericana de Sociología. Porto Alegre.

CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. 2008. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water International*. Vol. 33, No. 1, March, p. 19–32.

CHAPAGAIN, A.K.; ORR, S. 2009. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management*. V. 90. p. 1219–1228. UK.

CHAPAGAIN, HOEKSTRA, 2004. *Waterfootprint of nations*. Volume 1. Main report. Value of Water Research Report Series No. 16. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf>>. Acesso em: set. 2009.

FERNANDEZ, J.A.B.; MENDIONDO, E.M. 2009. *Metodologia para determinação do balanço hídrico virtual em escala de lote urbano*. I Congresso Lusófono de Ambiente e Energia - LUSAMBE. Jornadas de Energias de Cascais. Estoril, Portugal.

GUIMARÃES, P.B.V; XAVIER, Y.M.A. 2006. *A regulamentação da água virtual nos sistemas ambientais*. Conselho nacional de pesquisa e pós-graduação em Direito. ISBN: 978-85-87995-80-3. Anais. Manaus.

HOEKSTRA, A.Y.; HUNG, P.Q. 2002. *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. Value of water research report series No. 11. IHE DELFT, Netherlands: September.

_____.2005. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*. V. 15. P. 45-56.

HOEKSTRA, A.Y. 2008. *Neutral water: reducing and offsetting the impacts of water footprints*, march, 2008. Value of water research report series n. 28. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report28-WaterNeutral.pdf>>. Acesso em: jun. 2009.

_____.2009. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological economics*. Vol. 68. p. 1963 – 1974.

_____. 2011. *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. Earthscan. London, Washington, DC. 2011.

HORLEMANN, L. NEUBERT, S. 2007. *Virtual Water Trade: A realistic concept for resolving the water crisis?* (Studies / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik; 25). Bonn: Dt. Institut für Entwicklungspolitik.

LANNA, A.E. 2002. Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C.E.M. (org.). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Cap. 19. 3ª Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.

MACÊDO, R.F. 2005. *Proposta metodológica para a análise de cenários de disponibilidade e oferta hídrica*. (Dissertação) Mestrado em Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. 181 p.

MACKAY, J. 2007. *A proposal for a international virtual water trading council: building institutional frameworks at international level to reduce poverty*. AAAS Meeting – San Francisco, february. Disponível em: <<http://www.unisa.edu.au/waterpolicylaw/documents/Virtual%20Water%20Presentation.pdf>>. Acesso em: 25/maio/09.

MARENGO, J.A. 2008. Água e mudanças climáticas. *Estudos avançados: Revista do Instituto de Estudos Avançados da USP*. V.22. n. 63. p. 83-96. São Paulo.

RIDOUTT, B.G.; EADY, S.J.; SELLAHEWA, J.; SIMONS, L.; BEKTASH, R. Water footprinting at the product brand level: case study and future challenges. *Journal of Cleaner Production*. v. 17, n. 13, p. 1228-1235, Set. 2009.

SANTOS, I. *et al.* 2002. *Hidrometria aplicada*. Curitiba: Instituto de tecnologia para o desenvolvimento.

TUCCI, C.E.M. 2004. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. *REGA: Revista de Gestão da Água da América Latina*. Vol.1. N.1. p. 59-73. Jan./jun.

TUCCI, C.E.M. BELTRAME. L.F.S. 2002. Evaporação e evapotranspiração. In.: TUCCI, C.E.M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Cap. 7. 3ª Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.

YU, Y.; HUBACEK, K.; FENG, K.; GUAN, D. Assessing regional and global water footprints for the UK. *Ecological Economics*. v. 69, n. 5, p. 1140-1147, mar. 2010.

VAN OEL, P.R., MEKONNEN, M.M., HOEKSTRA, A.Y. 2008. *The external water footprint of the Netherlands: quantification and impact assessment*. Value of water research report series no. 33. UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, Netherlands: may.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. 1975. Bacia Hidrográfica. In.: VILLELA, S. M. *Hidrologia aplicada*. Cap. 2. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.