

IV-016 - MANUTENÇÃO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS DE BIORETENÇÃO PARA DRENAGEM URBANA EM CLIMA SUBTROPICAL: APRENDIZADOS E SOLUÇÕES

Marina Batalini de Macedo⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutoranda em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

César Ambrogi Ferreira do Lago⁽²⁾

Engenheiro Ambiental e Urbano pela Universidade Federal de Alfenas. Mestrando em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP.

Altair Rosa⁽³⁾

Engenheiro Ambiental e Mestre em Gestão Urbana pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC). Doutor em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP. Professor da PUC do Paraná.

Eduardo Mario Mendiondo⁽⁴⁾

Engenheiro de Recursos Hídricos pela Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Mestre e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor da EESC/USP.

Vladimir Caramori Borges de Souza⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS. Professor na Universidade Federal de Alagoas.

Endereço⁽¹⁾: Av. Trabalhador Saocarlene, 400, CP 359, postal code 13566-590 – São Carlos, SP - Brazil - Tel: +55 (16) 3373-8271 - e-mail: marina_batalini@hotmail.com

RESUMO

O uso de técnicas compensatórias para o controle do escoamento superficial vem sendo aplicado cada vez mais como uma solução integrada para a drenagem urbana, garantindo balanços hídricos próximos a períodos de pré urbanização e pouco arraste de poluentes para os rios urbanos. Quanto à bioretensão, já existe um amplo conhecimento sobre a detenção dos picos de escoamento superficial e a capacidade de retenção de diversos poluentes, sob diversos meios filtrantes, em escala laboratorial. No entanto, os estudos em campo e escalas de microdrenagem, que analisam a operação real desses dispositivos ainda são poucos, principalmente em condição de clima subtropical. Este trabalho apresenta a operação de uma célula de bioretensão aplicada em campo e escala de microdrenagem, na cidade de São Carlos – SP, Brasil. Diversas patologias foram diagnosticadas ao longo das observações nos eventos chuvosos, assim, nosso objetivo é apresentar o aprendizado adquirido pela sua operação, sugerindo mitigações e adaptações aos riscos. A quantificação do balanço hídrico do sistema indicou baixa capacidade de infiltração do solo, ocasionando inclusive erosão do solo. Foram feitas adaptações estruturais ao longo da célula, como injeção semi direta, de modo a se solucionar estes problemas. As manutenções apresentadas se mostraram adequadas para melhorar a eficiência de retenção hídrica da bioretensão, ajudando a reestabelecer o balanço hídrico de pré urbanização. As características das regiões de clima subtropical consideradas durante a etapa de manutenção devem ser incorporadas na etapa de dimensionamento e design, reduzindo os riscos posteriores, e acompanhadas durante toda a etapa de operação.

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento superficial, eficiência quantitativa, balanço hídrico, LID, medidas de manutenção.

INTRODUÇÃO

A mudança do uso e ocupação do solo decorrente do aumento da urbanização acarreta normalmente em aumento de áreas impermeáveis, escoamento superficial e poluição difusa nos pavimentos. Assim, situações como contaminação de rios e cheias em centros urbanos decorrentes de eventos chuvosos, levando a perdas socioeconômicas, são cada vez mais frequentes. Os sistemas clássicos de drenagem urbana não possuem capacidade de tratar qualitativamente o escoamento superficial, nem mesmo retomar condições próximas do balanço hídrico de pré-urbanização. Dessa forma, o desenvolvimento de sistemas alternativos de drenagem urbana, mais sustentáveis e custo eficientes, vem crescendo tanto como pesquisas em escala laboratorial, como sua própria aplicação real em campo.

Estes sistemas alternativos de drenagem urbana apresentam diversas denominações, dentre elas Low Impact Developemnt (LID), Best Management Practices (BMP), Water Sensitive Urban Design (WSUD), Sustainable Urban Drainage System (SUDS), variando conforme os autores (ROSA et al., submetido). Desde a década de noventa já se apontava a necessidade da manutenção para a boa operação e performance das técnicas ao longo do tempo. Lindsey et al. (1992) fizeram um estudo com diversos tipos de LID practices e verificaram que as condições de operação declinaram significativamente em apenas quatro anos, sendo que metade não estavam funcionando conforme dimensionamento e dois terços precisavam de manutenção. Também perceberam que as bacias de infiltração eram as técnicas que requeriam maior necessidade de manutenção, associadas tanto a vegetação, como presença de sedimentos e dejetos e problemas de estabilização levando a erosão. Nessa mesma década a EPA já havia elaborado um manual de utilização de diversos SUDS, incluindo bioretenção, elencando as manutenções necessárias e a importância da constante inspeção (EPA, 1999).

No entanto, é possível observar trabalhos recentes que ainda elencam os problemas causados pela falta de manutenção e frequência de inspeção, mostrando como essa atividade ainda fica negligenciada em muitos casos. Blecken et al. (2015) fizeram uma revisão extensa sobre LIDs com grande tempo de aplicação em campo, verificando quais eram os principais problemas encontrados e a manutenção necessária. Perceberam que depois da construção, grande parte dos dispositivos são esquecidos ou assume-se por parte dos gestores que estes irão trabalhar indefinidamente, acarretando na queda da eficiência de trabalho e falhas operacionais. Especificamente para a bioretenção, o problema mais comum observado foi a colmatação da superfície, devido principalmente a erosões internas causadas por fluxos concentrados ao longo da bacia de bioretenção. Brown e Hunt (2012) mostraram os efeitos da falta de manutenção na performance de sistemas de bioretenção, levando a overflows mesmo para eventos pequenos e reduções nas taxas de remoção de poluentes. Neste mesmo sentido, Flynn et al (2012) e Schlüter e Jefferies (2005) também avaliaram o efeito negativo da falta de manutenção na performance em diversos SUDS (*filter drain, infiltration trench, bioretention*) em operação a longo prazo, nos Estados Unidos e na Escócia, respectivamente. Estas falhas, que ocasionam perda de eficiência destes dispositivos, levam a uma perda da confiança do público nestas tecnologias alternativas, diminuindo o interesse em sua possível aplicação.

Outro estudo interessante quanto aos problemas encontrados na aplicação de sistemas de bioretenção foi desenvolvido por Denich e Bradford (2008). Este trabalho foi conduzido em laboratório e teve seu foco nos problemas encontrados para climas frios. Eles observaram como principais desafios os efeitos da neve, as cargas de sal e areia na performance do sistema, as possibilidades de *trade-offs* com quantidade e qualidade da água subterrânea, vida útil do sistema devido a colmatação do meio e os efeitos da baixa temperatura na manutenção dos processos biogeoquímicos.

Quanto à aplicação em campo das técnicas compensatórias em regiões de clima tropical, Lim e Lu (2016) fizeram uma avaliação de um projeto que instalou diferentes practices em Singapura. Neste estudo, salientam a importância do monitoramento a longo prazo, tanto para a avaliação constante da performance da técnica, mas também como forma de se elencar a necessidade de manutenção ao longo dos anos. Para as regiões de clima tropical e subtropical é importante lembrar a necessidade de se fazer atividades de manutenção que impeçam a proliferação de mosquitos, já que muitos deles transmitem doenças que são epidêmicas nestes locais. Barret (2003) já coloca em seu trabalho essa atividade como uma das principais.

A operação e eficiência de LID systems em conformidade com o proposto no dimensionamento perpassa pela realização frequente de manutenções, sendo essas desde rotineiras até principais, conforme proposto por Erickson et al. (2013). Cada sistema irá apresentar necessidade de manutenção diferenciadas, sendo que essas também variam de acordo com a região implantada (variações nas condições climáticas, uso e ocupação do solo e fatores socioeconômicos). Ainda existe pouca pesquisa focada em climas tropical e subtropical (O'HANLON, 2009) onde, além das condições climáticas, os fatores sócio econômicos são distintos das regiões temperadas. No mais, existe uma vasta extensão de estudos em escala de laboratório, mas quando os sistemas são aplicados em campo percebemos necessidades e problemas não identificados em laboratório e que podem alterar sua dinâmica de funcionamento e eficiência.

Este estudo vem com o objetivo de apresentar a implantação e operação de uma bacia de bioretenção em clima subtropical, elencando todas as adversidades e patologias encontradas durante o processo e as manutenções propostas como solução, adaptação e mitigação dos riscos. Em um primeiro momento, apresentamos uma descrição da área de implantação e avaliação da eficiência quali e quantitativa da técnica. Posteriormente

identificamos as patologias que ocorreram durante os eventos chuvosos e os problemas rotineiros encontrados para propor manutenções que sejam capazes de minimizar os riscos e retornar a performance de dimensionamento. Por fim, avaliamos se as soluções de manutenção propostas conseguiram compensar e mitigar as patologias.

METODOLOGIA

A bioretenção, mostrada na Figura 1a, está aplicada na Área 2 do Campus da Universidade de São Paulo (USP), localizado na cidade de São Carlos – SP, inserida na sub-bacia do rio Mineirinho, que compõe a bacia urbana de São Carlos, conforme notado na Figura 1.

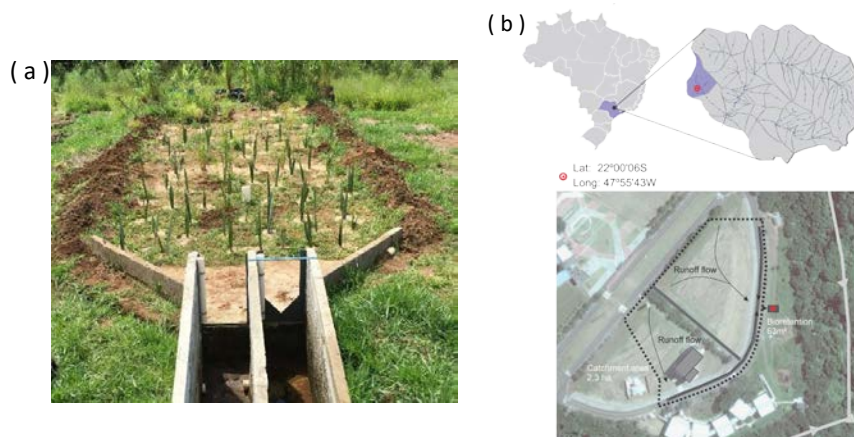


Figura 1 – (a) A bioretenção instalada (pós-adaptações e manutenções); (b) Localização da bioretenção na bacia urbana de São Carlos. Linha pontilhada representa a delimitação de área de drenagem e a TC de bioretenção é identificada pelo polígono em vermelho.

A TC de bioretenção recebe escoamento superficial de uma área de contribuição de 2,3 ha. A área apresenta ainda pouca pavimentação, e a maior parte da sua superfície caracterizada como com cobertura vegetal rasteira. As principais contribuições para o escoamento superficial são das vias de circulação de automóveis e pedestres e da área impermeável relativo ao bloco de laboratório (Figura 1). A construção e implantação do dispositivo terminaram no ano de 2015. A bacia de bioretenção apresenta uma área em planta de 60,63m² e 3,2m de profundidade. É composta de duas camadas de material filtrante (brita seguida por areia, conforme Figura 2) coberta por solo natural da região, de característica areno-argilosa, tendo a camada superficial vegetada majoritariamente por *Brachiaria* sp, para integração paisagística e estabilização do solo circundante. A verificação da aplicabilidade dos sistemas de bioretenção perpassa por determinar a sua eficiência em retenção do escoamento superficial e capacidade de retomar condições de “pré-urbanização”. Para tal, é necessário quantificar as variáveis do balanço hídrico do sistema, identificando a sua capacidade máxima de armazenamento, o armazenamento efetivo que está ocorrendo na célula e a vazão escoada para o corpo receptor. A Figura 2 e equação(1) (adaptado de ERICKSON et al., 2013) apresentam o esquema do balanço hídrico seu equacionamento.



Figura 2 – Esquema do balanço hídrico do sistema.

$$S(t) = V_{in}(t) - V_{out}(t) = (Q_{in}(t)t + P(t)A_w) - (Q_{out}(t)t + I(t)t) \quad \text{equação(1),}$$

sendo:

$S(t)$ = Volume armazenado na bacia de bioretenção [m³];

$V_{in}(t)$ = Volume de entrada na TC [m³];

$V_{out}(t)$ = Volume de saída na TC [m³];

$Q_{in}(t)$ = Vazão drenada afluenta à TC [m³/s];

$P(t)$ = Precipitação direta sobre a área da bacia de bioretenção [mm];

A_w = Área de contribuição [1000m²];

$I(t)$ = Vazão infiltrado pela TC [m³/s];

$Q_{out}(t)$ = Vazão efluente à TC [m³/s];

t = intervalo de tempo analisado [s].

A quantificação das variáveis $Q_{in}(t)$, $S(t)$ e $Q_{out}(t)$ foram feitas por meio de aquisição de dados em campo nos pontos: a) Entrada - A vazão de entrada $Q_{in}(t)$ é quantificada por meio de vertedor misto (triangular conjugado a retangular) devido a bruscas variações de vazão, pois permite uma amplitude maior na quantificação dos dados (triangular para pequenas vazões e retangular para vazões maiores); b) Tubos de visita - Nesses pontos o objetivo é avaliar a capacidade de armazenamento da técnica $S(t)$, sendo obtido o nível de água no interior da bacia de bioretenção; c) Saída - Neste ponto é obtida a vazão efluente a técnica $Q_{out}(t)$, ou seja, a vazão não infiltrada, a que realmente será transferida para o córrego, sendo sua quantificação feita por meio de vertedor triangular. A precipitação incidente diretamente sobre a técnica e sobre a área de contribuição $P(t)$ é obtida por pluviógrafo instalado no local. Por fim, a vazão infiltrada $I(t)$ é obtida a partir da resolução da equação(1) e Figura 2.

A aquisição dos níveis líquidos em todos os pontos é feita por meio de medidor de nível e data logger HOBO Water Level U20L-02. Neste, é permitido configurar o tempo de leitura para aquisição de nível, sendo esta feita em intervalos de 1min de forma ininterrupta e automática.

O cálculo da eficiência de retenção hídrica é feito por meio da diferença porcentual entre as lâminas acumuladas de entrada e da saída da TC-bioretenção, conforme equação(2). A eficiência varia de acordo com o tempo de uso do dispositivo, uma vez que o nível de colmatação do meio filtrante evolui com o tempo (MACEDO, 2015).

$$Eff_{ret} = DP_e(t)/Pe_{entrada}(t)$$

equação(2)

sendo:

Eff_{ret} = Eficiência de retenção hídrica;

$DP_e(t)$ = Diferença entre a lâmina acumulada de escoamento de uma tormenta que entra na TC e a lâmina acumulada de escoamento que sai da TC, representando a retenção efetiva da técnica [mm];

$Pe_{entrada}(t)$ = Lâmina acumulada de entrada, representando o escoamento afluenta à TC-bioretenção [mm].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros monitoramentos quanto ao balanço hídrico para a bacia de bioretenção em estudo foram feitos durante tormentas indicadas na Tabela 1. É possível observar um grande intervalo de variação quanto ao volume total precipitado (de 2,6 a 39mm), como também de intensidade média (de 0,9 a 3,93 mm/h). Quanto às características dos eventos, também é possível notar que apresentam situações diferentes. Os eventos 1 e 2 são menos intensos e representam as primeiras chuvas após período seco, com menor umidade do solo inicial e

com maior capacidade de armazenamento. Por isso, há uma produção menor de volume escoado, em um maior intervalo de tempo. Quanto ao evento 3, foi o que apresentou maior volume precipitado. Os índices de precipitação antecedentes (API) de 30 dias mostram que o evento 3 ocorreu após um período chuvoso.

Tabela 1: Tormentas monitoradas em TC-bioretenção na USP-Sao Carlos

	Dias sem chuva	P total (mm)	Iméd (mm/h)	API 30 (mm)	Lâmina total in (mm)	Lâmina total out (mm)
Event 1	29	5,8	1,26	0	1,02	0,68
Event 2	1	2,6	0,89	3,6	0,28	0,08
Event 3	0	39	3,93	31,2	11,50	3,93

Na Figura 3 estão apresentados os hidrogramas de entrada à TC (representando o escoamento superficial da área de contribuição), o hidrograma de saída da TC e a precipitação incidente sobre a área. Pode-se observar que para todos os eventos a redução de volume total transferido para o corpo receptor não supera de 72%, variando de 33% (evento 1) a 71,4% (evento 2). Para o evento 1 (Figura 3a) e evento 2 (Figura 3b), nota-se que a TC-bioretenção contribuiu para uma redução quase que de 30% dos picos de vazão na saída, para os picos menores e para as chuvas menos intensas. No entanto, para o evento 3 (Figura 3c) a velocidade do escoamento superficial foi alta o suficiente para induzir erosão na saída da TC-bioretenção, comprometendo o monitoramento da vazão de saída.

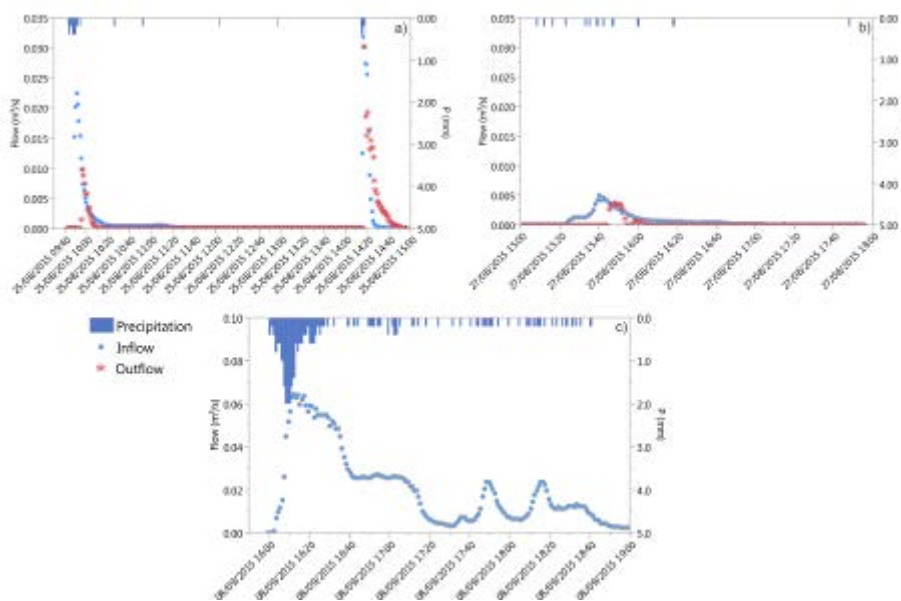


Figura 3 – Hidrogramas de entrada e saída para a bacia de bioretenção – a) evento 1; b) evento 2; c) evento 3.

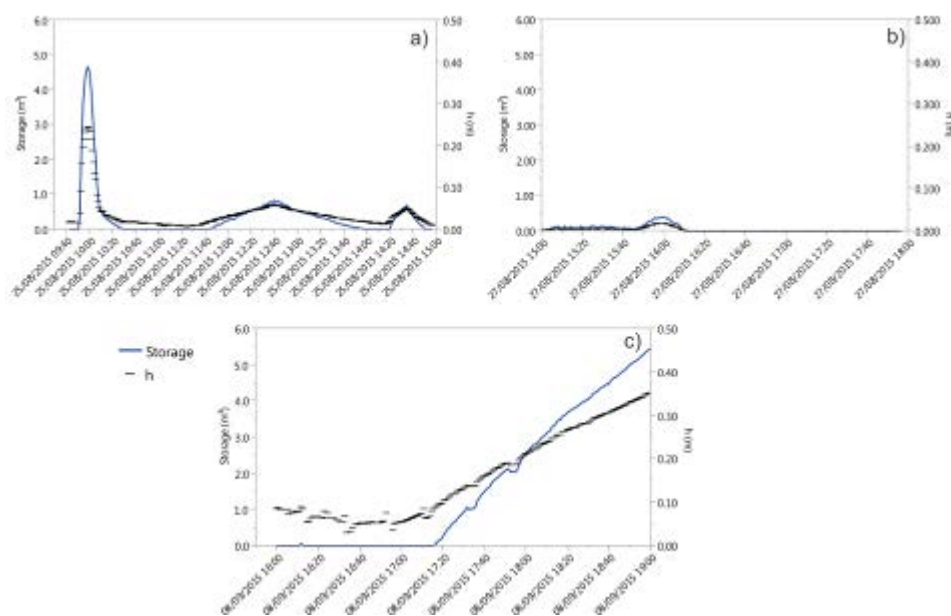


Figura 4 – Variação temporal do volume de armazenamento para a bacia de bioretensão. A curva S(t) representa o volume armazenado em função do tempo, e h representa o nível de água dentro dos tubos de visita para: a) evento 1; b) evento 2; c) evento 3.

Quanto ao armazenamento de água na bacia de bioretensão, considerando os seus parâmetros de projeto - profundidade de 3,2m e área superficial de 60,63m², sendo o meio filtrante composto de areia e brita - a sua capacidade total de armazenamento é de 58,2m³. No entanto, para os eventos monitorados, o máximo volume armazenado ocorre para o evento 3, em que o nível de água nos tubos atinge um valor máximo de 11% do altura total da bacia de bioretensão, armazenando um total de 5,5m³ (Figura 4c), que equivale a quase 10% da sua capacidade total de armazenamento. Para os outros eventos 1 e 2, o nível de água não ultrapassa 8 e 2% da altura total, respectivamente (Figura 4a e 4b). Disto, percebe-se que a TC-bioretensão armazena um volume muito inferior à sua capacidade de projeto, ao mesmo tempo em que há significativas perdas de água que escoam pela sua superfície, acarretando inclusive em problemas de perda de solo. Estes resultados indicam baixa infiltração e alta compactação na camada vegetada superficial, problemas pouco ou mal documentados em outros trabalhos, porém hipóteses investigadas neste artigo.

Observamos também que os dados apresentados de balanço hídrico se mostram enviesados, por conta das perdas na quantificação dos níveis de água monitorados, principalmente no ponto de saída da TC-bioretensão e, conseqüentemente, suas vazões. A partir destas evidências foram identificadas as principais patologias presentes na construção e operação deste dispositivo, sendo eles erosão acentuada, perda significativa de solo e vegetação, e baixa infiltração. Assim, para propor as manutenções adequadas, investigamos o tipo de solo e suas características.

Determinação do tipo de solo e suas características

A partir dos mapas disponibilizados pelo IAC, IBGE e o estudo de Oda (1995) se observou que os solos predominantes em São Carlos são os Latossolo Vermelho distrófico + distrofênico, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico e Latossolo Roxo, ou seja, predominância da classe latossolo. Estes tipos de solos são caracterizados como muito intemperizados e profundos, sendo muito comuns em regiões de clima tropical e subtropical devido às condições geo-climáticas destas regiões. Geralmente são solos com alto teor de argila (maior que 35%) e baixo teor de areia grossa (menos que 10%) (ODA, 1995).

Os resultados obtidos das análises granulométrica e peneiramento de material granular foram feitos como forma complementar, de modo a se identificar com maior precisão o tipo de solo encontrado na camada vegetada da bacia de bioretensão, uma vez que apresenta escala reduzida. A distribuição granulométrica obtida apresentou composição de 20% de argila, 10% de silte e 70% de areia, sendo a composição principal a de areia média (40%) e com 25% de areia fina. Assim, a composição do solo é identificada como areia média e fina

argilosa, marrom escura com matéria orgânica, por meio dessa análise. Também foi feita a análise de peneiramento de material granular, que obteve como resultado material granular do tipo areia fina a média amarela com presença de pedregulho médio.

Apesar de a análise granulométrica apresentar um maior teor de areia, quando comparado à argila, percebeu-se em campo uma baixa capacidade de infiltração na bacia de bioretenção, que se nota pelo baixo volume de água armazenado na mesma obtida pelos sensores de nível e balanço hídrico (Figura 4). A baixa infiltração ocasiona altas velocidades superficiais da água e conseqüentemente a perdas de solo e erosão. Dessa forma, é necessário identificar se a baixa infiltração está associada ao solo da camada vegetada ou a uma possível colmatação do material filtrante.

Quanto à permeabilidade do solo, em um primeiro momento foi proposta a sua avaliação por meio do permeâmetro de Guelph, que é feita in-loco. Foram testados dois pontos dentro da bacia de bioretenção, a uma profundidade entre 30 e 40cm. No entanto, o teste não pode ser concluído, pois mesmo após 30 minutos não houve infiltração da lâmina de água. Com isso, concluiu-se que o solo encontra-se selado devido ao alto nível de compactação.

Para obter o coeficiente de condutividade hidráulica (K) foi retirado do local um corpo de prova e conduzido ao laboratório para análise de permeabilidade a carga variável. O valor de K obtido foi de $1,62 \times 10^{-4}$ cm.s⁻¹, sendo então de baixa permeabilidade e característicos de solos de areia fina, silte e argila, segundo Casagrande e Fadum (1940).

O meio filtrante também foi investigado quanto à possibilidade de colmatação. Para tal, foram feitos testes de infiltração nos tubos de visita. Considerando o volume dos tubos de aproximadamente 60 L e o coeficiente de permeabilidade médio da areia e brita sendo de 30.07 cm.s⁻¹, o tempo padrão esperado para infiltração, sem colmatação, é de 1.5 min. Para o teste em campo, obteve-se um tempo real de infiltração de 2 min para todos os tubos, concluindo assim que não há provável colmatação do meio filtrante.

Soluções de manutenção propostas

Depois de investigadas as principais patologias e suas causas, foram propostas ações de manutenção para que a bioretenção trabalhe conforme eficiência de projeto. Os eventos extremos de precipitação, com alta velocidade de escoamento superficial, levaram a erosão na saída da bioretenção, que ocasionava perdas laterais de água, fazendo com que essa não infiltrasse, não passasse pelo processo de tratamento da água, não cumprindo assim com o objetivo da técnica. Dessa forma, a primeira manutenção proposta foi a recomposição da camada de solo, que serve de suporte para a vegetação. O processo de erosão é favorecido em locais onde o solo não se encontra estruturado, como também para locais com declividade acentuada (como taludes) (COUTO et al., 2010), condições estas encontradas na saída da técnica. Assim, a simples recomposição do solo não serviria para evitar que esta adversidade ocorresse futuramente, necessitando, portanto, adoção de medidas complementares. Foi feito auxiliariamente o uso de biomantas com semeadura direta e instalação de barreira física.

O uso de biomantas é uma técnica já muito usada na área de recuperação de taludes em estradas e auxilia a evitar processos de erosão, se dando tanto por meio de mecanismos físicos, uma vez que em sua composição apresenta uma rede sintética que garante estabilidade ao solo, como por meio de mecanismos biológicos, pois apresenta em sua composição matéria orgânica que servirá como substrato ao crescimento de vegetação, além de que a manta formada auxilia também na fixação das sementes no solo (COUTO et al., 2010). O crescimento e estabelecimento de vegetação diversa também são importantes para a estruturação do solo, pois as raízes atuam como mecanismo de agregação.

A baixa infiltração na bacia de bioretenção, identificada pelo armazenamento de água notavelmente inferior à capacidade de projeto, também contribui para o processo de erosão, pois contribui para um escoamento superficial de maior velocidade. Além disso, a infiltração é importante para se atenuar os picos de vazão e o volume de água a ser transferido para jusante, como também para o processo de tratamento da água.

Depois de investigadas as características do solo (granulometria, permeabilidade e tipo de solo), concluiu-se que o solo em questão apresenta características areno-argilosas com coeficiente de permeabilidade baixo,

normal a solos de regiões tropicais e subtropicais, que as condições geoclimáticas levam a maior intemperização (BIGARELLA et al., 1994; PIPIKIN & TRENT, 1997; RESENDE et al., 1997). Solos com presença de argila, sem estruturação, tendem a ter permeabilidade reduzida, devido ao tamanho das partículas que levam a uma diminuição de sua porosidade (REICHERT et al., 2010). Complementarmente, a bacia de bioretenção em estudo passou por processos de compactação, sendo esses a própria ação da chuva, o tráfego de pessoas em sua superfície e o eventual uso das máquinas durante o processo de construção, contribuindo para a diminuição da permeabilidade.

Considerando as limitações do solo apresentadas e a inviabilidade logística e financeira de usar outro tipo de solo, foi proposta como manutenção para aumentar a infiltração e retenção de água na bacia, a injeção semi-direta do escoamento superficial no leito filtrante, conforme apresentado na Figura 5. Este procedimento consiste em fazer perfurações no solo até atingir a camada de brita, onde a água não apresenta nenhuma limitação para a sua passagem e infiltração, uma vez que a investigação quanto à infiltração no leito filtrante apresentou resultados positivos, não havendo colmatção do mesmo. Assim, uma parte da água irá infiltrar diretamente no leito filtrante, enquanto uma parte continuará passando pelo solo, por isso chamada de injeção semi-direta. Na Figura 5a e 5b é apresentada a configuração e disposição das perfurações na superfície da técnica, de forma esquemática e sua representação real, sendo do tipo colmeia, em que as linhas de perfuração paralelas estejam deslocadas lateralmente, de forma que a água escoada na superfície necessariamente encontrará uma perfuração. Para evitar acidentes, as perfurações são preenchidas com brita e areia (Figura 5c), não afetando a capacidade de infiltração.

Por fim, também foi proposto como manutenção a diversificação da vegetação na superfície vegetada, incluindo plantas de rápida fixação e com raízes profundas e fasciculadas. Esta diversificação visa cumprir com dois objetivos, sendo (1) auxiliar na fixação e estruturação do solo, auxiliando tanto em sua descompactação como evitando os processos de erosão, (2) ajudar na melhoria da qualidade da água. De forma a atender o segundo objetivo, foram escolhidas macrófitas já utilizadas em outras técnicas de tratamento de água (wetlands) no Brasil, sendo essas: Espada de São Jorge (*Sansevieria trifasciata*) e Papyrus (*Cyperus papyrus*). Para a integração paisagística com o local e auxiliar na estruturação do solo, foram escolhidas gramíneas já presentes no local, sendo elas Braquiária (*brachiaria sp.*) e Capim Sudão (*Sorghum sudanense*). Apesar de não terem objetivo de tratamento, suas raízes fasciculadas ajudam a segurar o solo, auxiliando na prevenção da erosão (REICHERT et al., 2010).

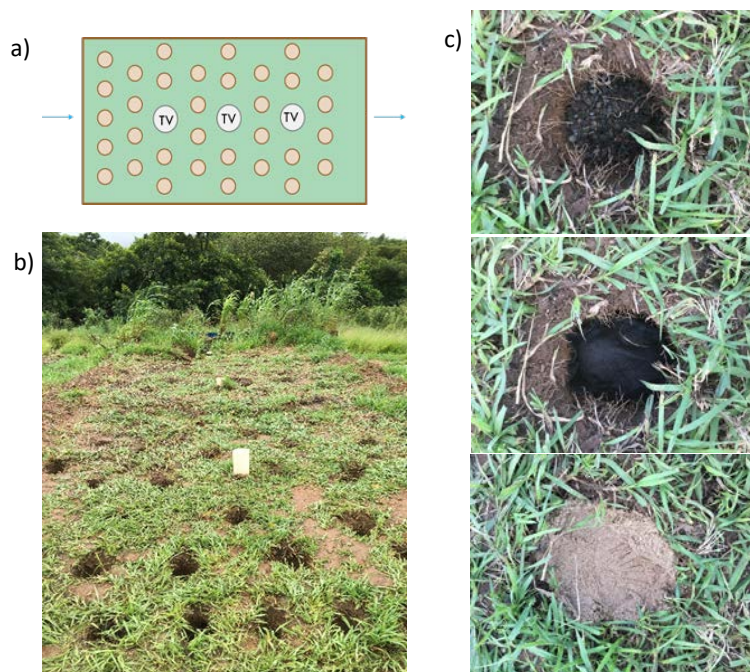


Figura 5 – Configuração da injeção semi-direta como manutenção proposta para melhorar a infiltração na bacia de bioretenção – a) Figura esquemática mostrando a disposição das perfurações em configuração de colmeia; b) Representação real da disposição em colmeia das perfurações; c) Preenchimento com brita e areia para evitar acidentes.

Avaliação das manutenções propostas

Para avaliar a efetividade das manutenções propostas em aumentar a capacidade de infiltração no meio filtrante e, conseqüentemente, reduzir os impactos causados pela alta velocidade de escoamento da água sobre a bacia de bioretenção, foram monitoradas duas novas tormentas (Tabela 2). Estes novos eventos representam uma sequência de chuvas após a estação seca e, embora com intensidades maiores, durante os mesmos os processos erosivos antes observados não foram observados.

Tabela 2 – Dados dos eventos monitorados em campo - após manutenções

	Dias sem chuva	P total (mm)	Iméd (mm/h)	API 30 (mm)	Lâmina total in (mm)	Lâmina total out (mm)
Event 4	1	6,8	7,16	13,14	1,92	0,34
Event 5	3	9	1,54	7,23	1,77	0,11

Também para estes novos eventos foram construídos gráficos que representam o comportamento temporal da TC-bioretenção após manutenções, sendo estes apresentados na Figura 6. Destes o volume total escoado diretamente para o corpo receptor, à jusante da TC-bioretenção, foi reduzido em mais de 80%. Já com relação aos picos de vazão, para o evento 4 foi possível observar uma redução de aproximadamente 35% e para o evento 5 uma redução de quase 60%, valores superiores aos encontrados antes da manutenção.

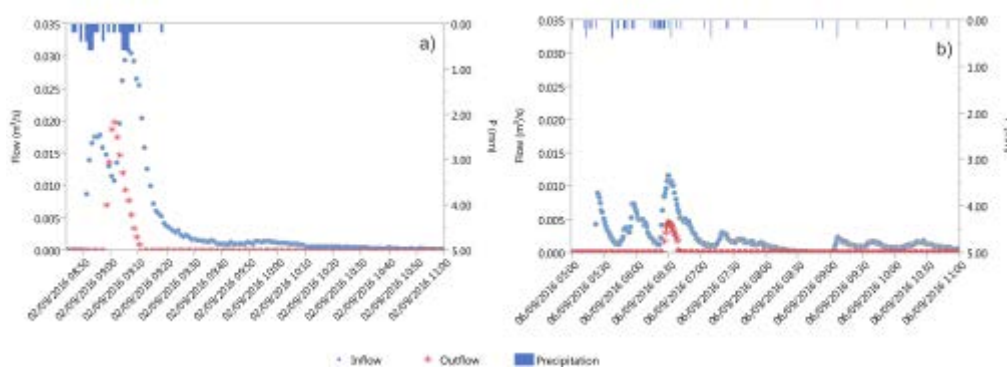


Figura 6 - Hidrogramas de entrada e saída para a bacia de bioretenção após manutenção – a) evento 4; b) evento 5.

Adicionalmente, foi investigado se houve aumento da infiltração superficial para o leito filtrante, a partir da observação dos níveis e volumes armazenados (Figura 7). Tanto para o evento 4 quanto para o 5, o nível máximo atinge um valor aproximado de 20% do nível total da região de armazenamento da TC-bioretenção, correspondendo a um volume de aproximadamente 13m³. Apesar destes valores ainda serem pequenos quando comparados à capacidade total de armazenamento da TC-bioretenção, conforme dimensionamento, eles apresentam melhoria significativa quanto aos eventos anteriores à manutenção.

Nota-se que em relação às lâminas acumuladas, os eventos 4 e 5 apresentam uma redução na lâmina transferida para o corpo receptor à jusante da TC-bioretenção de 76% e 94% (diferença porcentual entre entrada e saída). Enquanto que para os eventos anteriores à manutenção, esta redução não passou de 71% (situação que ocorreu inclusive para um evento de precipitação pequeno, de apenas 2,6 mm). Outra diferença importante também ocorre para o pico de armazenamento. Os eventos 4 e 5 apresentam armazenamento em torno de 13m³, ainda baixo quando comparado a capacidade total da técnica, no entanto, quando comparando aos eventos coletados pré-manutenção, houve um aumento significativo no volume total armazenado, da ordem de 70%.

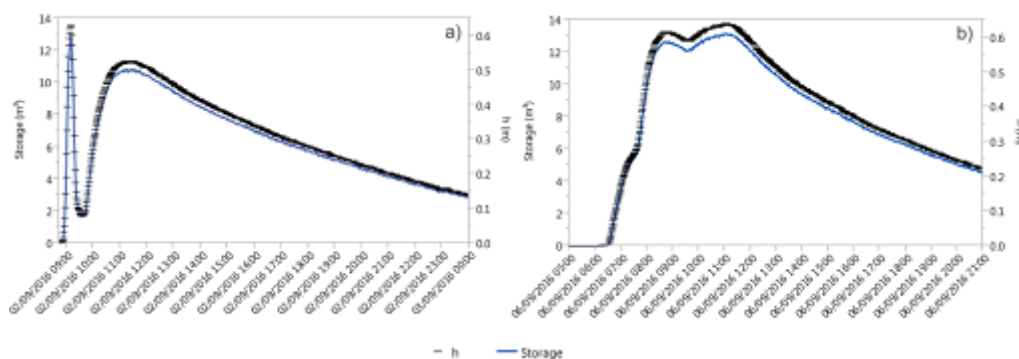


Figura 7 – Variação temporal do volume de armazenamento para a TC-bioretenção pós manutenção. A curva $S(t)$ representa o volume armazenado em função do tempo, e h representa o nível de água dentro dos tubos de visita para: a) evento 4; b) evento 5

CONCLUSÃO

A partir destes resultados conclui-se que as adaptações e manutenções propostas cumpriram com o objetivo de reestruturar o solo da camada vegetada e impedir que os processos erosivos ocorressem. Este fato tem origem pelo aumento da infiltração do leito filtrante, ocasionando em maior volume armazenado, diminuindo a velocidade de escoamento superficial e a perda de solo por erosão. Consequentemente, também notou-se uma diminuição significativa do volume total de escoamento transferido da TC-bioretenção para o corpo receptor de jusante, assim como uma diminuição da vazão de pico de saída. Por fim, o volume total infiltrado também aumentou após manutenções. Assim, as manutenções contribuíram para que a técnica tivesse seu funcionamento mais próximo com o seu objetivo de projeto, ajudando a reestabelecer o balanço hídrico de condições de pré-urbanização, uma vez que os volumes e picos de vazão transferidos são menores e a vazão infiltrada é maior.

As manutenções apresentadas neste trabalho foram realizadas com caráter corretivo, para patologias encontradas nas primeiras operações da técnica em campo. Recomenda-se que futuras bioretensões instaladas em regiões de clima subtropical já considerem essas adaptações logo em sua etapa de concepção. No mais, devem ser também elaboradas rotinas de manutenção rotineiras, para evitar a queda de sua eficiência ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARRETT, M. E. Performance, cost, and maintenance requirements of Austin sand filters. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 129, n. 3, p. 234-242, 2003.
2. BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D. e SANTOS, G. F. dos. . *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*, v. I. Ed. UFSC, Florianópolis, SC, 1994.
3. BLECKEN, G. T., HUNT III, W. F., AL-RUBAEI, A. M., VIKLANDER, M., & LORD, W. G. Stormwater control measure (SCM) maintenance considerations to ensure designed functionality. *Urban Water Journal*, p. 1-13, 2015.
4. BROWN, Robert A.; HUNT, William F. Improving bioretention/biofiltration performance with restorative maintenance. *Water Science and Technology*, v. 65, n. 2, p. 361-367, 2012.
5. COUTO, L.; GONÇALVES, W.; COELHO, A. T.; de PAULA, C. C.; GARCIA, R.; AZEVEDO, R. F.; LOCATELLI, M. V.; ADVÍNCULA, T. G. L., BRUNETTA, J. M, F. C.; COSTA, C. A. B.; GOMIDE, L. C.; MOTTA, P. H. *Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil*. CBCN – Centro Brasileiro Para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável, Viçosa, MG, 2010.
6. DENICH, C.; BRADFORD, A. Cold climate issues for bioretention: assessing impacts of salt and aggregate application on plant health, media clogging, and groundwater quality. *LID for urban ecosystem and habitat protection*, Seattle, Washington, EWRI of ASCE, 2008.
7. EPA. Stormwater technology fact sheet-bioretention. Office of Water, EPA 832-F-99, v. 12, 1999.
8. ERICKSON, A. J. ; WEISS, P. T. ; GULLIVER, J. S. *Optimizing stormwater treatment practices : a handbook of assessment and maintenance*. Springer, New York, 2013.

9. FLYNN, K. M.; LINKOUS, B. W.; BUECHTER, M. T. Operation and maintenance assessment for structural stormwater BMPs. In: World Environmental and Water Resources Congress. p. 3662-3673, 2012.
10. IAC – Instituto Agrônomo de Campinas, Mapa pedológico do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/pdf/mapa_pedologico_Solos_Estado_de_Sao_Paulo.pdf>. Acesso: 26 jul, 2016.
11. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Mapas de solo do Brasil. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/brasil/solos.pdf>. Acesso: 26 jul, 2016.
12. LIM, H. S.; LU, X. X. Sustainable urban stormwater management in the tropics: An evaluation of Singapore's ABC Waters Program. *Journal of Hydrology*, v. 538, p. 842-862, 2016.
13. LINDSEY, Greg; ROBERTS, Les; PAGE, William. Inspection and maintenance of infiltration facilities. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 47, n. 6, p. 481-486, 1992.
14. MACEDO, M. B. ; ROSA, A. MENDIONDO, E. M.; SOUZA, V. C. B. Otimização da eficiência de técnicas compensatórias de bioretenção em clima subtropical. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015.
15. ODA, Sandra. Caracterização de uma rede municipal de estradas não-pavimentadas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Transportes (Estradas e Aeroportos)) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.
16. PIPKIN, B. W. and TRENT, D. D., 1997, *Geology and the environment*. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1997.
17. REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Física do solo – II Mecânica do solo. Editor: Quirijn de Jong van Lier, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1ª edição, 2010.
18. RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B. e CORRÊA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. NEPUT, Viçosa, MG,. 2ª edição, 1997.
19. ROSA, A.; MACEDO, M. B., D.; SOUZA, V. C.; MENDIONDO, E. M. Sustainable Urban Drainage: delineation of a scientific domain of knowledge production. *Urban Water*, em avaliação.
20. SCHLÜTER, W.; JEFFERIES, C. The real issues with in-ground SUDS in Scotland. In: 10th International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Denmark, August 21-26, 2005. Institute of Environment & Resources, Technical University of Denmark/IAHR/IWA, 2005.