

Monitoramento das águas subsuperficiais em telhados verdes como medida sustentável de combate a poluição hídrica

Alfredo Akira Ohnuma Júnior (1), Marcos Roberto Teixeira Halasz (2), Eduardo Mario Mendiando (3)

(1) Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental, Faacz, Brasil. E-mail: akira@fsjb.edu.br

(2) Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental, Faacz, Brasil. E-mail: halasz@fsjb.edu.br

(3) Departamento de Hidráulica e Saneamento, USP, Brasil. E-mail: emm@sc.usp.br

Resumo: Estruturas conhecidas como telhado verde são aquelas capazes de suportar uma determinada vegetação sobre o telhado de uma edificação, com potencial para reduzir a demanda por refrigeração na amplitude térmica de 60% a 90%, conforme Kolb (2003), quando comparado com telhados convencionais. Além disto, tal estrutura reduz o potencial do escoamento superficial para redes de micro e macro-drenagem. **Objetivo:** Este trabalho visa avaliar as condições do escoamento superficial para um determinado telhado verde, com critérios de monitoramento hidrológico. **Método/Abordagens:** Considera-se a instalação de um telhado com área aproximada de 10m² composto por estrutura de concreto, impermeabilização, geomanta, substrato, adubos e hortaliças. Para o monitoramento das águas superficiais provenientes do telhado verde, utilizam-se de reservatório e linígrafo. **Resultados:** Os resultados obtidos expressam que um telhado verde pode ser até 56% mais eficiente na retenção hídrica em resposta ao telhado convencional. Além disto, os valores do coeficiente de escoamento indicam variações entre 0,33 e 0,53, levando-se em consideração a precipitação do evento observado. **Contribuições/Originalidade:** O trabalho contribui de forma significativa como proposta de redução da taxa de escoamento superficial em função da precipitação total, como medida sustentável no âmbito de edificações com aplicação de telhados verdes. Ressalta-se também que a instalação de dispositivos de reservação de água indica caminhos para uma descentralização de políticas públicas com medidas não-convencionais e sustentáveis de reservação de água no combate a poluição hídrica.

Palavras-chave: telhado verde, escoamento superficial, reservação de água, monitoramento hidrológico, sustentabilidade.

Abstract: Structures known as green roof are those capable of supporting a particular vegetation on the roof of a building with potential to reduce demand for cooling in the temperature range from 60% to 90%, according to Kolb (2003), when compared with roofs conventional. Moreover, this structure reduces the potential for runoff to networks of micro-and macro-drainage. **Objective:** This study aims to evaluate the conditions of runoff for a particular green roof, with criteria for hydrological monitoring. **Methods / Approaches:** It is the installation of a roof area of approximately 10m² consisting of concrete structure, waterproofing, geomatics, substrate, fertilizer and vegetables. For the monitoring of surface water from the green roof, make use of the reservoir and linigraphs. **Results:** The results express that a green roof can be up to 56% more efficient in water retention in response to a conventional roof. Moreover, the coefficient of runoff indicate variations between 0.33 and 0.53, taking into account the observed precipitation event. **Contributions / Originality:** The work contributes significantly as a proposed reduction in runoff due to rainfall, such as sustainable under buildings with application of green roofs. We also emphasize that the installation of devices for reservation of water provides opportunities for decentralization of public policies with the unconventional and sustainable reservation of water to fight water pollution..

Key-words: greenroof; superficial flow, water reservation, hydrological monitoring, sustainable.

1. INTRODUÇÃO

Telhados verdes são conhecidos também como coberturas verdes leves (CVL's), telhados vivos, *green roofs*, ecotelhados e biocoberturas. Historicamente, há indícios de uso desta estrutura em épocas antigas, por volta do século VI a.C. Segundo Dinsdale *et al.* (2006), nessa época já se aplicava os telhados verdes em edificações, como nos Jardins Suspensos da Babilônia, que cobriam uma área aproximada de 2000m² com árvores, arbustos e trepadeiras.

A estrutura de um telhado verde compreende laje previamente dimensionada para suportar, além do peso próprio, um determinado volume de terra com vegetação e volume de água proveniente da chuva e irrigação. O projeto deve incluir, além dos detalhes do dimensionamento: estrutura de apoio totalmente impermeabilizada (evitar a infiltração de água pela laje), geomanta (impedir a passagem do substrato), substrato de terra (elemento suporte para formação de nutrientes) e definição de vegetação que irá compor a superfície do telhado, conforme Figura 1.



FIGURA 1 – Perfil de telhado verde. Fonte: Lima *et al* (2005).

Cada vez mais, segundo a Building Logics (2002), tem-se observado um aumento no uso de telhados verdes em edificações com técnicas variadas de construção, que estão de acordo com as condições do local e as espécies vegetais.

Um dos principais cuidados que uma estrutura de telhado verde deve ter está não somente na sua estrutura, como também na membrana de impermeabilização. Segundo Kirby (2006) o conjunto da estrutura deve incorporar com acuidade este elemento impermeabilizante, a fim de se obter melhor estabilidade das áreas molhadas e aderência do substrato.

Como trata-se de uma cobertura composta por um conjunto de elementos, torna-se necessário compreender especificadamente, além da escolha do tipo de espécie vegetal, o sistema de drenagem da superfície. A escolha da proteção impermeabilizante deve-se ao fato de que as camadas necessitam ser projetadas para resistir os efeitos indesejados da contaminação por fertilizantes e outros produtos químicos utilizados durante a adubação. Quanto ao tipo de sistema de drenagem, deve-se avaliar as condições locais e principalmente os objetivos da utilização do telhado verde, uma vez que ao depender da espécie utilizada, pode-se obter maiores ou menores volumes de reservação. Em algumas cidades do Rio Grande do Sul, espécies de xerófitas tem sido preferência uma vez que necessitam de pouca rega e manutenção, além de se ter a facilidade de sobrevivência em condições adversas.

Diante da necessidade de avaliar o comportamento das águas das chuvas a partir do escoamento subsuperficial de um determinado telhado verde, torna-se necessário utilizar equipamentos de precisão como medida de monitoramento hidrológico na escala de lote. Dados de resultados experimentais, segundo Mendiondo (2006) auxiliam na falta de conhecimento de um determinado sistema, como forma de reduzir as incertezas hidrológicas na avaliação de impactos do ciclo da água.

2. OBJETIVOS

Este artigo visa avaliar as condições do escoamento subsuperficial para um determinado telhado verde, com critérios de monitoramento hidrológico.

3. METODOLOGIA

Para atender os objetivos inicialmente propostos optou-se pelo projeto e execução de estrutura de telhado verde em escala reduzida, com área aproximada de 10m², com a implementação do experimento em edificação real e habitável. A estrutura foi concebida para atender, dentre outros elementos de pesquisa, um estudo sobre medidas não-convencionais de reservação de água para o controle da poluição hídrica em lotes domiciliares, conforme Ohnuma Jr. (2008). O trabalho teve como proposta analisar indicadores de quantidade e qualidade térmica de água reservada, com avaliação de desempenho e eficiência das medidas instaladas a partir de eventos naturais e não-induzidos. Para a análise dos indicadores de qualidade da água utilizou-se sonda com linígrafo digital e automático.

O esquema metodológico deste artigo se divide basicamente em 03 grandes etapas, sendo: projeto e execução, reservação e monitoramento e, análise comparativa da eficiência, conforme apresentado na Figura 2.

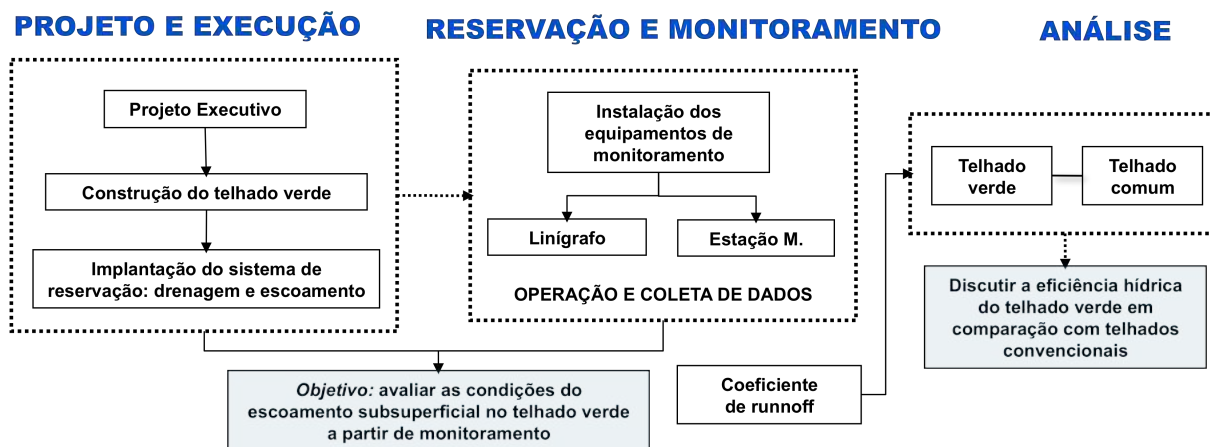


FIGURA 2 – Fluxograma metodológico de pesquisa.

O lote está inserido, segundo o Plano Diretor do Município de São Carlos-SP (São Carlos, 2005), em área de Zona de Ocupação Condicionada (Zona 2), composto por áreas predominantemente de uso misto do território com diversidade de padrão ocupacional. Devido se tratar de área com característica de carência em infra-estrutura de drenagem, torna-se fundamental a implantação de sistemas localizados capazes de retardar o escoamento superficial, além de fomentar o incremento de áreas permeáveis em lotes urbanos.

Canholi (2005) propõe o uso de soluções com medidas que visam restringir o aumento das vazões afluentes à rede de drenagem e poluição sanitária. Tais recursos incluem dispositivos de reservação para reduzir os picos de cheias e vazões nos sistemas de drenagem. Embora seja evidente a aplicação de forma agrupada de uma série de medidas, este estudo propõe avaliar resultados pontualmente para equacionar os futuros conflitos de uso e ocupação do solo de forma desordenada em termos de lotes urbanos.

3.1. Características da área de estudo

A execução das obras do telhado verde, como medida potencial para retardar os efeitos do escoamento superficial no lote, se deu em função da sobreposição da laje de cobertura como medida para proteção e valorização do espaço, uma vez que foi construído para cobrir um sistema de biodigestor séptico - como parte de outro estudo experimental.

Todos os procedimentos para garantir as condições de impermeabilização, escoamento e manutenção das espécies foram seguidos, conforme base de conceituação adotada por Almeida Neto et al (2005), após estudo hidrológico de CVL (cobertura verde leve) como alternativa para o controle do escoamento e análise quali-quantitativa. A única ressalva se deu pela preferência no cultivo de hortaliças sobre a cobertura, mantendo-se as condições da geomanta e substrato. A estrutura do telhado foi executada com laje pré-moldada do tipo $\beta 8$, com dimensões de $1,60 \times 5,85$ m e declividade de aproximadamente 3%. Além da resina de impermeabilização composto por impermeabilizante biocomponente à base de poliuretano de origem vegetal, foi utilizado também manta Macdrain-2L, como parte de uma série de compostos geotêxteis, que fornece resistência e filtragem dos elementos do solo.

Em virtude da possibilidade de extravazamento no armazenamento do reservatório conforme precipitações elevadas, foram instalados extravasores para o escoamento da água reservada: em direção a área do jardim do lote e rede pública.

A Figura 3 ilustra o telhado verde utilizado no experimento deste artigo para avaliar as condições do escoamento subsuperficial a partir de dados de reservação com monitoramento hidrológico. A vegetação na cobertura compreende hortaliças do tipo temperos como hortelã, alecrim, manjerição, etc.



FIGURA 3 – Telhado verde e reservatório de acumulação utilizado com monitoramento.

De acordo com as condições do local e as características da cobertura, optou-se por instalar um reservatório de captação das águas subsuperficiais provenientes do telhado verde com volume aproximado para coletar até 330 litros. A Tabela 1 apresenta dados do reservatório com disposição de anéis para compor altura acumulada de volume de água a reservar.

TABELA 1 - Características volumétricas do reservatório do telhado verde.

Anel	h (m)	d (m)	A (m ²)	V (m ³)	V (litros)	h _{acumul.} (m)
V ₁	0,1368	0,7450	0,4359	0,0596	59,6	0,1368
V ₂	0,1368	0,8312	0,5426	0,0742	74,2	0,2735
V ₃	0,1368	0,9175	0,6611	0,0904	90,4	0,4103
V ₄	0,1368	1,0038	0,7914	0,1082	108,2	0,5470
Total	0,547			0,3324	332,4	

3.2. Monitoramento das águas subsuperficiais do telhado verde

Em 02/12/2005, foi instalado o CTD-Diver© (linígrafo digital automático) no reservatório de captação de águas que escoam pelo telhado verde, juntamente com o barômetro compensador de pressão.,

sendo ambos para monitorar medições de nível, temperatura e condutividade elétrica da água da chuva. O linígrafo de bóia, observado na Figura 3 anterior, foi instalado sobre o reservatório do telhado verde em dia 26/01/2006 para validação e confronto dos dados monitorados pelo linígrafo automático.

Tecnologicamente, o linígrafo de bóia, teve como principal ajustar e calibrar as condições do CTD-Diver. Considera-se que grande parte de sua utilização, deve-se principalmente para medir escoamentos de variações com precisão moderada a baixa

3.3. Balanço hídrico do teto verde

Para obtenção dos dados de entrada e de saída de água proveniente do solo do telhado verde, foram consideradas as seguintes informações: precipitação atmosférica, escoamento subterrâneo e escoamento oriundo da geomanta (leito drenante), que é impulsionado pela superfície impermeabilizada da laje do telhado verde. Tomando-se como base os valores de entrada e de saída, admite-se ΔS como sendo o armazenamento da água da chuva, composto pela equação (1) e as seguintes variáveis:

$$S_{(t)} - S_{(t-1)} = |P_{(t)} - P_{(t-1)}| - |ETP_{(t)} - ETP_{(t-1)}| - |E_{(t)} - E_{(t-1)}| \quad (1)$$

$S_{(t)}$ = armazenamento do telhado no tempo t;

$S_{(t-1)}$ = armazenamento do telhado no tempo t – 1;

$P_{(t)}$ = precipitação no tempo t;

$P_{(t-1)}$ = precipitação no tempo t – 1;

$ETP_{(t)}$ = evapotranspiração potencial no tempo t;

$ETP_{(t-1)}$ = evapotranspiração potencial no tempo t – 1;

$E_{(t)}$ = escoamento no telhado no tempo t; e

$E_{(t-1)}$ = escoamento no telhado no tempo t – 1.

A partir dos dados fornecidos pela estação meteorológica, instalada no próprio lote, foi possível calcular o balanço hídrico, utilizando-se do método combinado ou da Equação de Penman (1948). Como este artigo não requer detalhar os cálculos do balanço de energia e das características aerodinâmicas do processo hídrico, tais equações não são apresentadas em detalhes. Ressalta-se apenas que o trabalho estimou a evaporação e evapotranspiração potencial gerada pela área em estudo.

4. RESULTADOS

4.1. Balanço hídrico estimado para eventos de curta duração

Esses eventos são correspondentes àqueles com períodos de ocorrência menores que um dia. Neste cenário, a metodologia considera como hipótese valores de evapotranspiração nula, uma vez que os intervalos observados pela estação e os valores discretizados dos eventos possuíam escalas pequenas em relação ao período analisado. O comportamento hidrológico proporcionado pelo telhado verde, após a ocorrência de uma sequência de precipitações, indica que, após o início das chuvas, existe um intervalo de tempo para o início do escoamento. Tal efeito depende das condições iniciais de umidade do solo. Deve-se atentar na estimativa das lâminas equivalentes, os cálculos do volume de reservação de água pelo solo, considerando as variações do peso na estrutura decorrentes da saturação, ocasionada por irrigações e podas periódicas na vegetação.

O intervalo de armazenamento inicial é recorrente devido às perdas iniciais por interceptação e depressões sobre o telhado e ao próprio tempo de retardo de resposta da superfície devido ao deslocamento da água até o início do escoamento. Os gráficos da Figura 4 representam os valores de precipitação (chuva observada), lâmina equivalente (escoamento superficial) e retenção (lâmina retida pelo solo ou devido às perdas iniciais). Os reflexos do meio saturado demonstram que o fluxo de água pelo solo no telhado verde ocorre devido os níveis de lâminas atingirem valores altos durante a tormenta. O incremento da precipitação, após a saturação, indica um deslocamento crescente dos volumes de água retidos no solo. Este mecanismo decorre também devido à declividade do telhado verde.

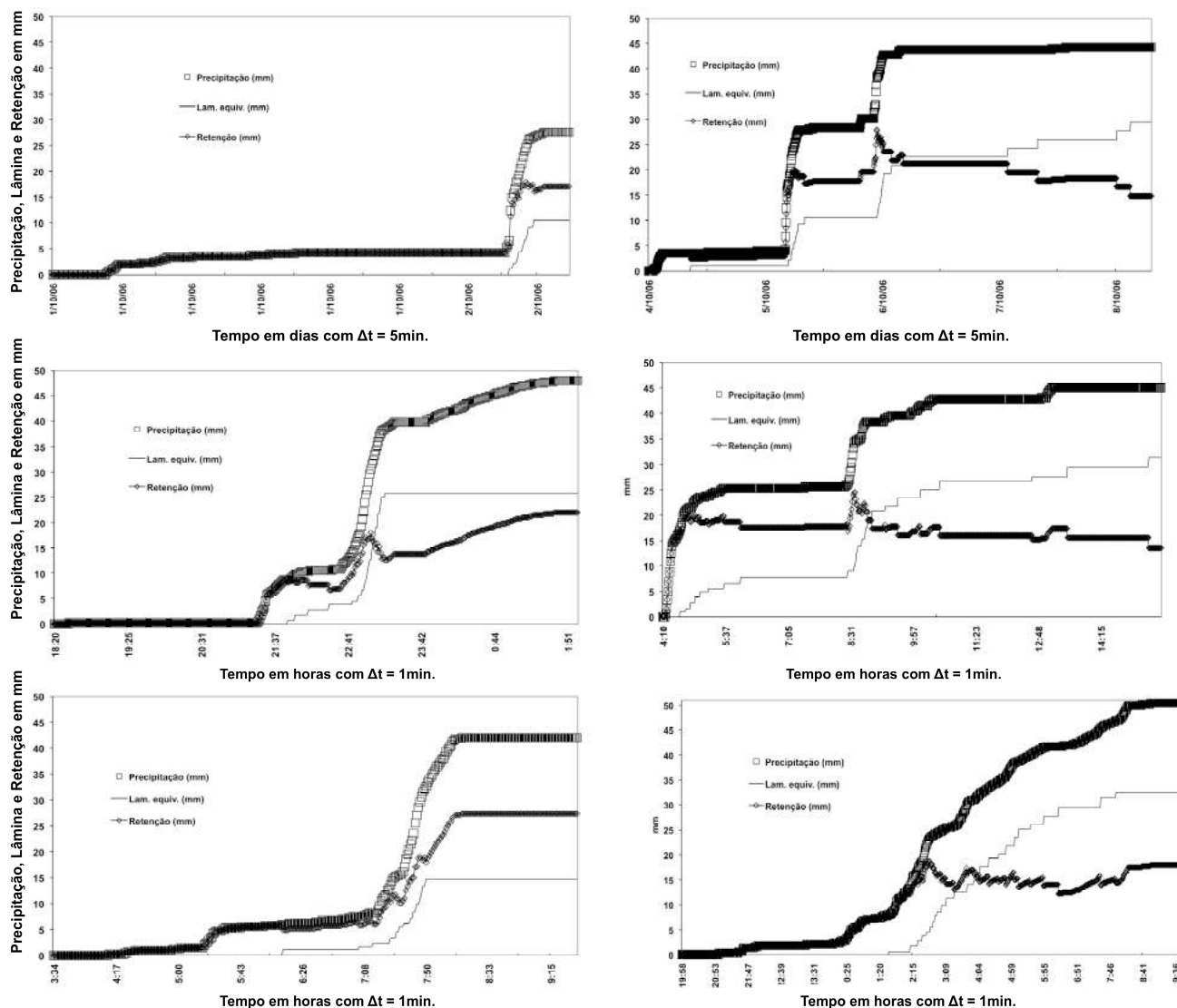


FIGURA 4 – Eventos observados para balanço hídrico do telhado verde entre 2006 e 2007.

Do total precipitado em todo o período de análise, estima-se uma retenção não-observada de 570 mm. Considerando este valor, a capacidade total de armazenamento de água no solo sobre o telhado verde indica que aproximadamente 70% do volume precipitado ficou retido, o que inclui: as perdas iniciais e/ou a própria capacidade de retenção pelo solo ou a infiltração.

A Tabela 2 resume os dados observados de precipitação e lâminas totais, decorrentes do balanço hídrico estimados para o telhado verde.

TABELA 2 - Resultados de eventos por período e retenção máxima obtida (Ohnuma Jr, 2008)

Período	P_{total} (mm)	P_{evento} (mm)	$P_{efet.}$ (mm)	I_a (mm)	$Ret_{obs.}$ (mm)
09/2006	30,0	30,0	2,2	25,0	27,8
10/2006	127,8	69,6	30,7	32,9	39,0
11/2006	166,6	71,8	16,0	42,4	55,8
12/2006	246,4	160,8	63,4	77,8	97,4
01/2007	453,7	324,3	194,1	111,6	130,2
02/2007	239,6	132,7	63,7	79,1	68,6
03/2007	148,8	50,4	32,5	8,0	17,9
TOTAL	1.413,0	839,2	402,5	376,7	436,7

P_{total} : Precipitação Total; P_{evento} : Precipitação do evento; $P_{efet.}$: Precipitação Efetiva; I_a : Perdas Iniciais ou abstrações; $Ret_{obs.}$: Retenção observada

4.2. Análise da qualidade térmica da água de escoamento pelo telhado verde

Para os resultados dos indicadores de qualidade térmica da água, foi considerado análise da temperatura da água pós-escoamento e da precipitação, obtido a partir da sonda de linígrafo instalado no reservatório e estação meteorológica instalada no próprio lote experimental. Na maioria dos dados observados, observou-se diminuição da temperatura ambiente no instante inicial da precipitação. O telhado verde, embora sua característica térmica tenha sido avaliada a partir do escoamento, manteve as condições térmicas do escoamento mesmo após o início das chuvas. Estas informações podem ser consideradas relevantes para uma avaliação das condições de regulação da temperatura no interior da edificação. A Figura 5 apresenta os dados de qualidade térmica da água de precipitação e do escoamento pelo telhado verde.

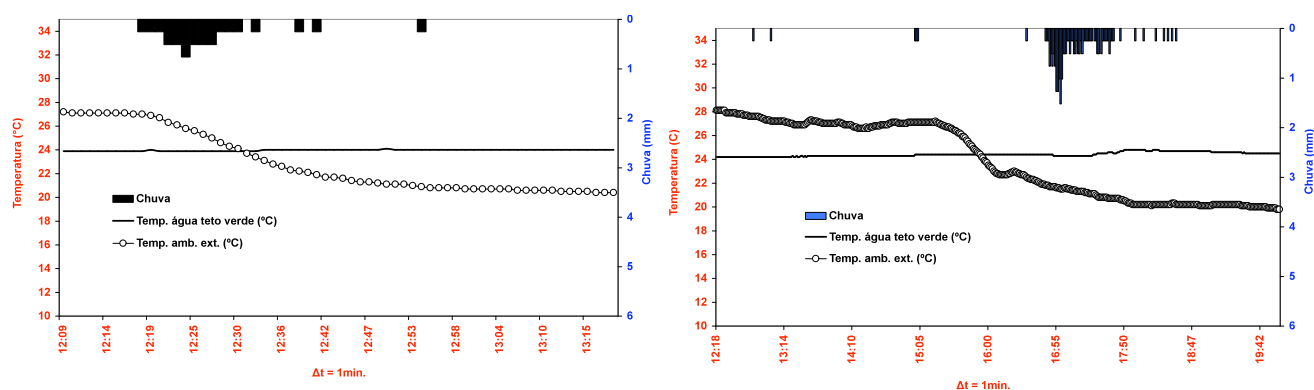


FIGURA 5 – Qualidade térmica da precipitação e da água do escoamento do telhado verde.

4.3. Análise comparativa de eficiência na retenção hídrica

Para análise comparativa da eficiência da retenção hídrica pelo solo, foi considerado telhado convencional com taxa de geração do escoamento de 90% de precipitação efetiva em relação à precipitação total. Este dado foi comparado com os dados de escoamento pelo telhado verde. A partir da Equação 2 e Figura 6, obteve-se o resultado de que o telhado verde é 56% mais eficiente na retenção hídrica em resposta ao telhado convencional.

$$E_{rTV}(\%) = 100 \cdot \left(1 - \frac{\beta}{\theta}\right) \quad (2)$$

E_{rTV} = eficiência na retenção hídrica do telhado verde;

θ = ângulo correspondente ao Ce do telhado convencional;

β = ângulo correspondente ao Ce do telhado verde;

$P_{TC.SC}$ = precipitação efetiva no telhado convencional sem controle;

$P_{TV.CC}$ = precipitação efetiva no telhado verde com controle;

Pt = precipitação total.

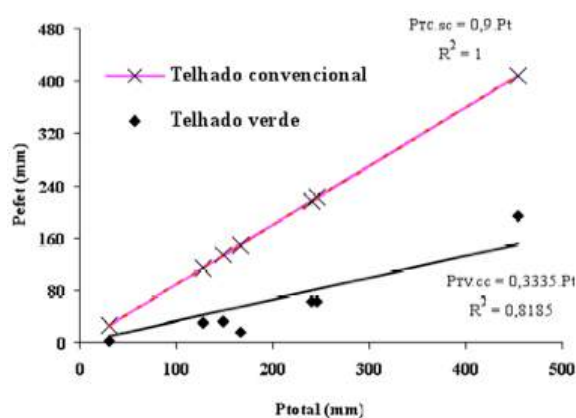


FIGURA 6 – Eficiência de retenção hídrica entre telhado verde e telhado convencional. (Fonte: Ohnuma Jr, 2008)

A retenção do volume de escoamento sobre área específica do lote ocorre devido movimentação lenta do escoamento subsuperficial sobre o telhado verde, que produz uma determinada vazão de saída. A retenção gerada auxilia na distribuição dos volumes d'água retardando o escoamento para a microdrenagem.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de monitoramento hidrológico fornece indicadores para uma maior possibilidade de racionalização do uso da água, conforme medida instalada de reservação d'água na própria fonte poluidora, ou telhado verde incorporado ao lote.

O escoamento subsuperficial analisado pelo monitoramento hidrológico na caixa de acumulação do telhado verde resultou volumes de reservação que podem ser incorporados ao lote. Quantitativamente, obteve-se uma relação de 48% do valor total da lâmina escoada em relação ao total precipitado. Este coeficiente se aproxima de lotes tipo quintais e lotes vazios (WILKEN, 1978).

Os resultados apresentados a partir do monitoramento no telhado verde com reservatório de acumulação indicaram eficiência da retenção hídrica em comparação com telhado convencional. Tendo como referência dados de geração do escoamento superficial de 90% da precipitação efetiva em relação à precipitação total, obteve-se 56% de eficiência na retenção hídrica em resposta ao telhado convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA NETO, P. de *et al.* **Análise quali-quantitativo do escoamento superficial gerado pela água da chuva através de cobertura verde leve.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 6. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 18-20 mar. 2005.
- BUILDING LOGICS. **Envirotech roof systems.** Virginia Beach, VA 23452, 1033 Downshire Chase, 2002. Disponível em: <<http://www.buildinglogics.com/enviro.html>>. Acesso em: 29 jan. 2007.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- DISNDALE, S.; PEAREN, B.; WILSON, C. **Feasibility study for green roof application on queen's university campus.** 2006. Queen's Physical Plant Services. Abril. p. 58.
- KIRBY, J. R. **Green roofs: understanding the waterproofing aspects.** The Green Roof Infrastructure Monitor. Toronto, CA volume 8, number 1, pag. 9, spring 2006. Disponível em: <http://www.greenroofs.org/resources/GRIM_Spring2006.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2007.
- KOLB, W. **Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais.** In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 4. 2003, Juazeiro. Anais eletrônicos, , 2003. 1 CD-ROM.
- LIMA, M. P., LOPES, D. A. R., VECCHIA, F. **Avaliação do comportamento térmico de coberturas verdes leves (CVLs) aplicada aos climas tropicais.** 2005b. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- MENDIONDO, E. M. **Gestão aplicada de incertezas hidrológicas.** Disciplina de pós-graduação SHS 5851, Hidrologia Avançada, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- OHNUMA JR, A.A. **Medidas não-convencionais de reservação d'água para o controle da poluição hídrica em lotes domiciliares.** 2008. 306 p. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Departamento de Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos, SP, dez 2008.
- PENMAN, H.L. **Natural evaporation from open water, bare soil and grass.** Proceedings of the Royal Society of London, v.A193, p.120-146, 1948.
- SÃO CARLOS. Lei no 13.691, de 25 de novembro de 2005. **Institui o Plano Diretor do Município de São Carlos e dá outras providências.** São Carlos, 72 p.
- WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial.** São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente do Governo de São Paulo, 1978.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida durante a realização deste trabalho. Aos colegas do Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, Departamento de Hidráulica e Saneamento, da Universidade de São Paulo. A Faculdade de Aracruz e a Fundação São João Batista pela oportunidade concedida na apresentação deste trabalho. Aos colegas do Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental, da Faculdade de Aracruz.