



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

DESEMPENHO HIDROLÓGICO DE TELHADO VERDE EXTENSIVO

Tatiana Akemi Sakagami

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

Rio Claro (SP)

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

TATIANA AKEMI SAKAGAMI

DESEMPENHO HIDROLÓGICO DE TELHADO VERDE
EXTENSIVO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de Engenheira Ambiental.

Rio Claro - SP

2016

627.54 Sakagami, Tatiana Akemi
S158d Desempenho hidrológico de telhado verde extensivo /
Tatiana Akemi Sakagami. - Rio Claro, 2016
45 f. : il., figs., tabs., quadros

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: Rodrigo Braga Moruzzi

1. Drenagem. 2. Técnica compensatória. 3. Simulador de
chuva. 4. Escoamento subsuperficial. 5. Retardo de pico. I.
Título.

TATIANA AKEMI SAKAGAMI

DESEMPENHO HIDROLÓGICO DE TELHADO VERDE
EXTENSIVO

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", para obtenção do grau de Engenheira Ambiental.


Comissão Examinadora

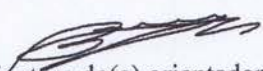
Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi (orientador)

Eng^a. MSc. Cinthia Cristine de Moura

Geóg^o. MSc. Antonio Aparecido Couto Junior

Rio Claro, 18 de novembro de 2016.


Assinatura do(a) aluno(a)


Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Esta talvez seja a página mais fácil e gratificante de ser escrita, embora meus agradecimentos, na verdade, não se restrinjam a ela, ao contrário, transbordam-na para muitas outras, lidas e relidas em memórias cotidianas.

Aos meus pais, Akira e Regina, que a vida inteira doaram suas vidas em prol da minha, incondicional e gratuitamente. Gratidão eterna. Às famílias Sakagami e Sawasaki, por todo o suporte, em todos os momentos.

À EA10. Grande encontro de almas! Amizades construídas, cultivadas com jeitinho, dia a dia, ano a ano e consolidadas cada vez mais em nossos encontros pós-Rio Claro. Alana, Allyson, Ana Carolina, André, Caio, Debora, Edson, Elisa, Ettore, Fernanda Bacaro, Gabriela, Graco, Giovanna, Luna, Mayara, Marília, Michele, Stella, Taís, Thaís Munhoz. Cada um tem seu lugarzinho no meu coração. E mais, as irmãs que escolhi e que me escolheram, Aline, Fernandas Cavallari, Esteves, Juliana, Lívia, Raquel, Thaís Vieira. E se chegamos à oitava turma, é porque tiveram outras sete... Daiana, Erich, Luana, Rafaella, Sarita, Rodrigo, Renata, Helena, meninas da Rep. Cabeças, apenas alguns dos veteranos a quem agradeço demais, seja por conselhos, acolhimento, conversas, material. E depois da oitava, vieram outras também. À turma de 2011, em especial, Ana Clara e Olívia, por terem me aturado sob o mesmo teto; Lucilla, Cindy, Pri, a todos da Rep. Kits, pela música, alto astral e acolhida de sempre. Adriana, Tati e Cintia, Fer Farias, Plínio Tofu, sempre me lembrarei de vocês também.

À Jacque, companheira de quarto e grandes fins de semana; Pri, que morou comigo também; Júlia, pelos rolês de skate e violão; Silvia, Carol e Pedro, geógrafos lindos e amigos pra vida, felicidade em agradecê-los. Aos amigos de intercâmbio e aos de longa data, fundamentais na minha formação. Davi e Juliana; Catherine, pelos encontros em São Carlos. Aos professores, desde o colégio S. José até a Unesp, em especial, Rodrigo, Braga, Marcelo, Marcus, Clau, Vânia, Chang, Fabiano, e aos colaboradores do Deplan, Gilberto, Álvaro, Suely e Carol. Aos estágios no Lebac e na Regea, pelos grandes profissionais, e, sobretudo, pessoas maiores ainda. Profundo “obrigada”! Ao Cnpq, pela concessão de bolsa PIBIC 2015/16, 33748.

À força estranha, àquelas coisas entre o céu e a terra... Deus, Vida, Universo, a Isso tudo, gratidão.

RESUMO

A inadequada gestão das águas, especialmente nos grandes centros, acarreta em problemas socioambientais diversos, como enchentes inundações. Neste contexto, as técnicas compensatórias em drenagem urbana apresentam-se como alternativas ao sistema convencional, e dentre elas, estão os telhados verdes (TV). Este trabalho avaliou, em termos hidrológicos, o desempenho de um extensivo, por meio de protótipos constituídos por diferentes substratos e por simulação de chuvas, cujas intensidades foram de 52 mm/h e 127 mm/h. Realizaram-se duas baterias de ensaio, com durações de chuva 5, 15, 30 e 60 minutos para cada intensidade; e intervalo de seis dias entre uma chuva e outra. Observou-se bom desempenho em todos os três módulos, principalmente para a chuva mais rápida e intensa, havendo armazenamento de todo o volume de água de entrada. Mesmo para as demais situações, obteve-se desempenho satisfatório dos módulos, uma vez que não houve escoamento superficial, apenas subsuperficial, com tempo de retardo observado. Por exemplo, para uma chuva de 15 minutos e 127 mm/h, estimou-se um abatimento de 7,2 litros/m², ao se comparar o TV2 com um telhado convencional; enquanto TV3 obteve 100% de armazenamento do volume precipitado. Tais resultados corroboraram a expectativa de que há um potencial a ser explorado com esta técnica.

Palavras-chave: Técnica compensatória; drenagem urbana; simulador de chuva; escoamento subsuperficial; retardo de pico.

ABSTRACT

Inadequate water management, especially in large urban centers, leads to well-known and recurring socio-environmental problems. In this context, sustainable urban drainage systems have been found to be a good alternative to the conventional systems, and among them are green roofs. This work aims to evaluate, in hydrological terms, the performance of an extensive, by means of prototypes constituted by different substrates and by rainfall simulation, whose intensities were of 52 mm/h and 127 mm/h. Two test batteries were carried out, with rainfall durations of 5, 15, 30 and 60 minutes for each intensity obtained and interval of six days between rains. Good performance was observed in all three modules, especially for faster and more intense rainfall, with storage of all incoming water volumes. Even for the other situations, it was obtained a satisfactory performance of the modules, since there was no surface runoff, only subsurface, with observed delay time. For example, for a 15-minutes rainfall of 127 mm/h, a reduction of 7,2 liters/m² was estimated when comparing TV2 with a conventional roof; while TV3 obtained 100% storage of the precipitated volume. These results corroborate the prospect that there is a potential to be explored with this system.

Keywords: Sustainable urban drainage systems; urban drainage; rainfall simulator; subsurface flow; peak delay.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Impactos devido à urbanização	14
Figura 2. Tipologia de técnicas compensatórias em drenagem urbana	16
Figura 3. Terraço Jardim, Palácio Gustavo Capanema, RJ	17
Figura 4. Camadas de um telhado verde	18
Figura 5. Montagem dos protótipos e situação recente	23
Figura 6. Microaspersores utilizados, tipo MA-30 e MA-50	25
Figura 7. Exemplo de disposição de bécueres para realização do teste de CUC	25
Figura 8. Recipiente industrial e <i>levelogger</i> para aquisição de dados de nível d'água	26
Figura 9. Estágio de necessidade de replantio	28
Figura 10. Crescimento e desenvolvimento da espécie	28
Figura 11. Condições iniciais dos protótipos – 06/04/2016	31
Figura 12. Condições iniciais dos protótipos – 12/04/2016	31
Figura 13. Hidrograma do TV1, para chuva de 15 min e 127 mm/h	32
Figura 14. Hidrograma do TV2, para chuva de 15 min e 127 mm/h	32
Figura 15. Condições iniciais dos protótipos – 06/06/2016	33
Figura 16. Hidrograma do TV1, para chuva de 60 min e 52 mm/h	34
Figura 17. Hidrograma do TV2, para chuva de 60 min e 52 mm/h	34
Figura 18. Hidrograma do TV3, para chuva de 60 min e 52 mm/h	34
Figura 19. TV2 x Telhado Convencional, para a chuva de 15 min e 127 mm/h	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados do balanço de massa para os TVs sob chuva de 5 min e 127 mm/h	31
Tabela 2. Resultados do balanço de massa para os TVs sob chuva de 15 min e 127 mm/h	33
Tabela 3. Resultados do balanço de massa para os TVs sob chuva de 60 min e 52 mm/h	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Perspectiva histórica dos sistemas de drenagem urbana no Brasil	15
Quadro 2. Principais definições e conceituações acerca de telhados verdes	18
Quadro 3. Comparativo entre as categorias de telhado verde	19
Quadro 4. Benefícios hidrológicos dos telhados verdes	20
Quadro 5. Principais características dos substratos presentes nos módulos de TV	23
Quadro 6. Configurações testadas para o simulador	29
Quadro 7. Períodos de retorno de cada ensaio	30
Quadro 8. Períodos de retorno para diferentes ocupações da área	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Águas urbanas	13
2.2 Telhados verdes	16
<i>2.2.1 Breve histórico</i>	16
<i>2.2.2 Definição, Composição e Categorias</i>	17
2.3 Benefícios hidrológicos de telhados verdes	20
2.4 Simuladores de chuva	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 Módulos-piloto	22
3.2 Manutenção dos protótipos de telhado verde	24
3.3 Aprimoramento do simulador de chuva	24
3.4 Dinâmica experimental nos telhados	26
3.5 Tratamento dos dados	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 Da manutenção dos telhados	28
4.2 Do aprimoramento do simulador de chuvas	28
4.3 Dos ensaios e avaliações de desempenho	30

<i>4.3.1 Ensaio com chuva de 5 minutos e 127 mm/h</i>	30
<i>4.3.2 Ensaio com chuva de 15 minutos e 127 mm/h</i>	31
<u>4.3.2.1 Hidrogramas</u>	31
<u>4.3.2.2 Balanço de massa</u>	32
<i>4.3.3 Ensaio com chuva de 60 minutos e 52 mm/h</i>	33
<u>4.3.3.1 Hidrogramas</u>	33
<u>4.3.3.2 Balanço de massa</u>	35
<i>4.3.4 Comparativo com um telhado convencional</i>	35
5. CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

Diante dos recorrentes cenários de enchentes e inundações que assolam as cidades brasileiras, são muito bem vindas as técnicas que visam a compensar os efeitos negativos advindos da urbanização, proporcionando benefícios múltiplos para a cidade e seus habitantes, dentre eles: minimização de perdas pelo risco de enchentes e inundações; proteção da qualidade das águas subterrâneas e superficiais da poluição difusa do escoamento superficial (*runoff*); incentivo à criação de novos habitats, além de ambientes agradáveis para a população; e aumento da resiliência urbana aos efeitos das mudanças climáticas. Nesse contexto, o telhado verde apresenta tais benefícios e, quando combinado a outras medidas compensatórias ao longo da bacia urbana, como bacias de retenção e pavimentos permeáveis, revela-se uma parte da solução com grande potencial de uso.

A Alemanha é grande pioneira no uso e disseminação da prática de telhados verdes. Em 2012, 14% dos seus telhados planos possuíam alguma vegetação (LOCATELLI et al., 2014). Bastante difundida também por Áustria, Suíça, Estados Unidos, Reino Unido e Austrália, é uma técnica que vem ganhando espaço nas discussões sobre cidades sustentáveis em todo o mundo. No Brasil, o primeiro telhado verde que se tem notícia é o projetado pelo arquiteto Burle Marx, na década de 1930, no Rio de Janeiro.

Righetto et al. (2009) define telhado verde como “jardim em edifícios”, sendo um dispositivo de controle do escoamento na fonte que auxilia na mitigação do impacto da urbanização, especialmente em áreas muito adensadas. Classificam-se em três tipos: intensivo, semi-intensivo e extensivo, como é o caso do presente trabalho. Trata-se de uma estrutura mais simples, de no máximo, 200 mm de substrato, permitindo apenas ervas, gramíneas e plantas rasteiras como vegetação.

Diversos pesquisadores têm se debruçado sobre os vários aspectos de um telhado verde e suas infinitas possibilidades. Destacam-se resultados consistentes que tem se obtido para o potencial de controle quantitativo das águas pluviais, como Tassi et al. (2014) demonstraram, em estudo de longo prazo, num telhado verde no sul do país, com redução média de 62% do escoamento superficial, o que promove retardo no escoamento e redução das vazões de pico.

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho hidrológico de telhado verde extensivo. Secundariamente, apresentou-se como objetivo específico o aprimoramento de um simulador de chuvas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Águas urbanas

Em 2014, a porcentagem da população residente em áreas urbanas foi 54%. Comparativamente, em 1950, apenas 30% da população mundial concentravam-se nas cidades, e até 2050, espera-se que esta porcentagem aumente para 66% (NAÇÕES UNIDAS, 2014). Juntamente com a ainda crescente urbanização, aumentam-se os problemas e desafios inerentes a ela.

Por meio da História, sabe-se que o desenvolvimento das cidades está bastante relacionado à ocupação humana ao longo das fontes de água. Diversos autores, como Gill et al. (2007) e Beecham et al. (2012), apontam as mudanças climáticas, o aumento da população e a escassez hídrica como os atuais problemas de muitas cidades do mundo, acarretando, sobretudo, em alterações adversas do ciclo hidrológico na bacia urbana, como ilustrado na Figura 1.

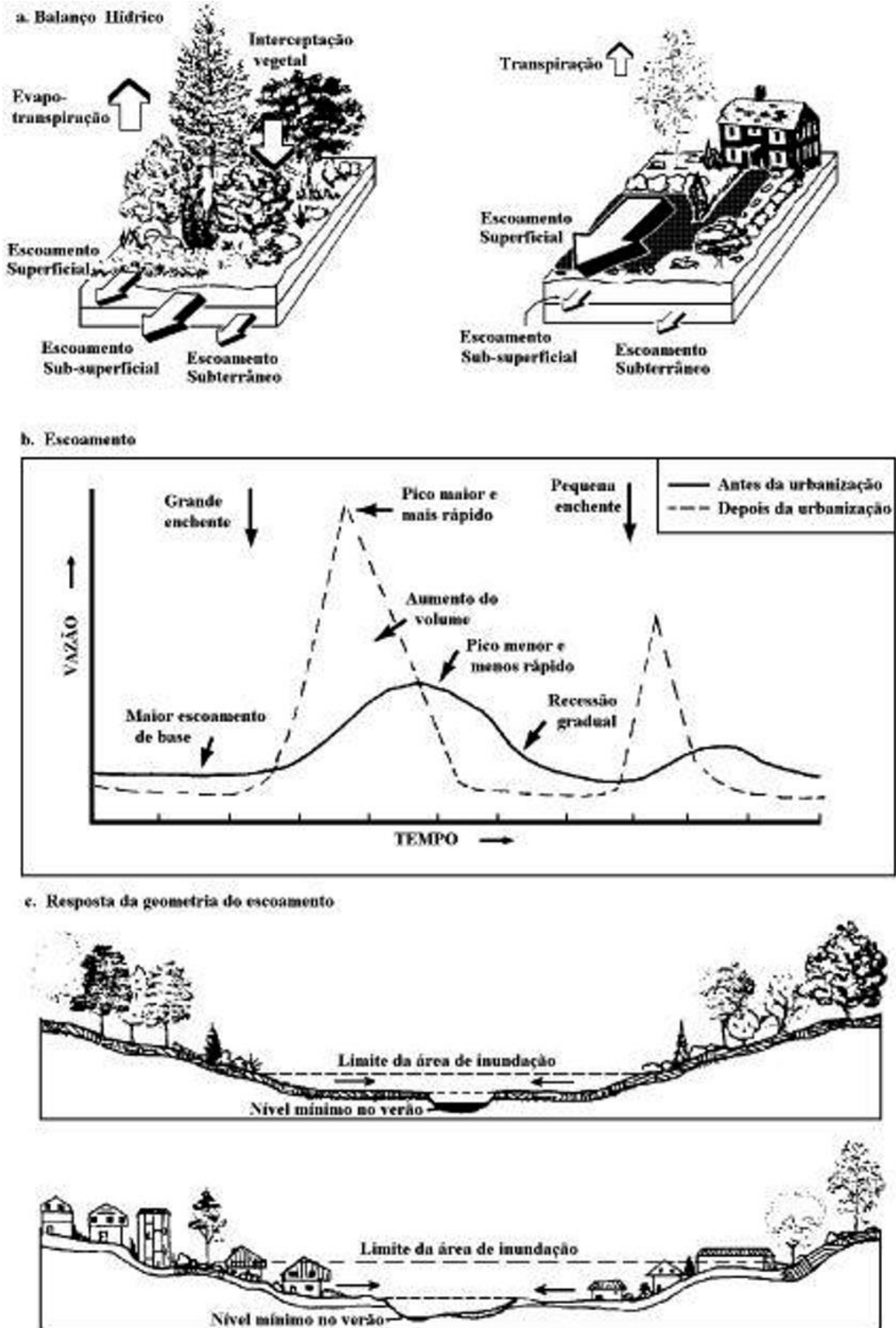


Figura 1. Impactos devido à urbanização. Fonte: Schueler (1987).

Os sistemas de drenagem apresentam profundas relações com a qualidade e quantidade de água escoada no ambiente urbano, e sua compreensão pressupõe uma análise histórica de seu desenvolvimento. Como se observa no Quadro 1, alternativamente aos sistemas clássicos de drenagem urbana, surgem as técnicas compensatórias, ou seja, aquelas que buscam compensar os efeitos negativos da urbanização sobre os processos hidrológicos, controlando-se a produção de excedentes de água decorrentes da impermeabilização e evitando-se sua transferência rápida para jusante. Fundamentam-se, sobretudo, na retenção e infiltração das águas precipitadas (BAPTISTA, NASCIMENTO, BARRAUD; 2011).

	Fase	Características	Conseqüências
Sistemas de Drenagem Urbana Clássicos	Pré-higienista: até o início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio.	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações.
	Higienista-racionalista: antes de 1970	Ttransporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento.	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações.
Sistemas de Drenagem Urbana Alternativos ou Compensatórios	Corretiva: entre 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento.	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental.
	Sustentável: depois de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural.	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida.

Quadro 1. Perspectiva histórica dos sistemas de drenagem urbana no Brasil. Fonte: Adaptado de Tucci (2008).

No Brasil, o principal desafio ao efetivo emprego das técnicas compensatórias deve-se à simples importação de muitas delas, de países desenvolvidos, sem quaisquer adaptações, negligenciando-se as especificidades de cada região brasileira. Atualmente, muitos países desenvolvidos encontram-se num estágio mais avançado no planejamento das águas em ambiente urbano (POLETO et al., 2015).

Nos Estados Unidos, vem-se disseminando o conceito de *Low Impact Development – LID* (Desenvolvimento de Baixo Impacto); já no Reino Unido, o de *Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS* (Sistemas de Drenagem Urbana Sustentáveis); e na Austrália, o de *Water Sensitive Urban Design – WSUD* (Desenho Urbano Sensível à Água).

Poleto et al. (2015) ainda revelam que a abordagem LID/SUDS/WSUD apresenta certo diferencial em relação à técnica compensatória, pois visa à antecipação do planejamento da drenagem pluvial ao projeto arquitetônico-estrutural do empreendimento, e adaptação deste às condições locais, incluindo a percepção da população, qualificação de profissionais e gestores. Além disso, no LID/SUDS/WSUD, o tratamento dado ao *runoff* ocorre em pequena escala, próximo à fonte onde ele é gerado, acarretando em pequenas estruturas distribuídas na bacia hidrográfica, tanto nos espaços públicos, quanto privados.

Para isso, podem ser empregadas diversas técnicas, como as apresentadas na Figura 2, ressaltando-se a importância de integrá-las à paisagem urbana de maneira harmoniosa. Assim, permitem-se usos associados, por exemplo, áreas de estacionamento, áreas para lazer e práticas de esporte e parques, maximizando-se os efeitos positivos de cada técnica.

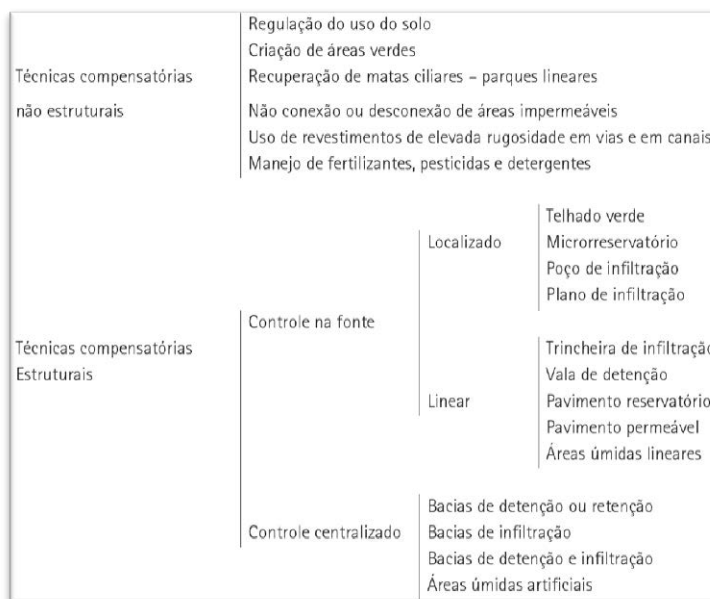


Figura 2. Tipologia de técnicas compensatórias em drenagem urbana. Fonte: Righetto et al. (2009).

2.2 Telhados verdes

2.2.1 Breve histórico

Os telhados verdes são conhecidos há séculos, tanto em climas frios da Islândia, Escandinávia, Estados Unidos e Canadá, quanto em climas quentes, da Tanzânia, por exemplo (MINKE, 2004). Historicamente, o primeiro registro mais provável dessas

estruturas remonta aos 500 anos a.C., com a construção dos Jardins Suspensos da Babilônia: telhados sobrepostos em feixes de pedra, com camadas de linguetas e de piche grosso, compostos por camadas de solo, plantas e árvores (OSMUNDSON, 1999; OHNUMA JÚNIOR et al., 2014).

Anos notáveis na cronologia dos telhados verdes são 1920, quando o francês Le Corbusier introduz o conceito desse telhado na arquitetura; 1931, o primeiro telhado verde moderno dos Estados Unidos foi instalado no Rockefeller Center, Nova York; e por volta de 1936, teve início no Brasil, pelo arquiteto e paisagista Roberto Burle Marx, responsável pelo primeiro telhado verde brasileiro, construído no Palácio Capanema, Rio de Janeiro, ilustrado na Figura 3.



Figura 3. Terraço Jardim, Palácio Gustavo Capanema, RJ. Fonte: <http://sustentarqui.com.br/dicas/vantagens-e-desvantagens-de-um-telhado-verde/>

Já a partir da década de 1990, os telhados verdes modernos tornaram-se uma prática bastante comum em diversos países, como Áustria, Suíça, Estados Unidos e, principalmente, Alemanha, onde era estimado que 14% de sua área total de telhados correspondiam a telhados verdes, no ano de 2012. Além da própria Alemanha, Reino Unido, Estados Unidos, Nova Zelândia e Austrália são exemplos de países pioneiros que lançaram guias, manuais e fundaram institutos de pesquisa e aplicação, para incentivar e esclarecer a implantação de telhados verdes em suas áreas (LOCATELLI et al., 2014).

2.2.2 Definição, Composição e Categorias

Muitos são os sinônimos para os telhados verdes: teto vivo, telhado ecológico, ecotelhado, cobertura verde, telhado jardim, entre outros. Analogamente, inúmeras são

as definições e apresentações encontradas na literatura (Quadro 2), estando relacionadas, muitas vezes, à ênfase pretendida em determinados objetivos e benefícios.

Referência	Definição
Carter; Butler (2008)	Telhados vegetados (verdes) são formas alternativas de cobertura, que convertem a superfície impermeável de um telhado convencional em espaços multifuncionais, e têm revelado o potencial de gerar uma variedade de benefícios ecológicos no ambiente urbano.
Righetto; Moreira; Sales (2009)	Conhecido jardim em edifícios, é um dispositivo de controle do escoamento na fonte que auxilia na mitigação do impacto da urbanização, especialmente em áreas com nível de adensamento elevado.
<i>Growing Green Guide</i> (Austrália, 2014)	Uma paisagem vegetada construída a partir de uma série de camadas instaladas em uma superfície de telhado, das seguintes formas: modular (camadas pré-preparadas em tipos de bandeja ou “tapetes”) ou camada por camada.
<i>The SuDS Manual</i> (Reino Unido, 2015)	São áreas vivas, com vegetação, instaladas no topo de edifícios, por uma série de motivos, que incluem benefícios visuais e arquitetônicos, valor ecológico, aumento da eficiência energética do edifício e redução do escoamento superficial direto.

Quadro 2. Principais definições e conceituações acerca de telhados verdes

A Figura 4 ilustra a composição geral de um telhado verde: a. vegetação, b. substrato, c. camadas de filtragem, d. de drenagem, e. barreira anti-raiz, e f. membrana impermeabilizante. Vale ressaltar que pode haver variações, dependendo das especificidades de cada projeto, local, executor e usuário.

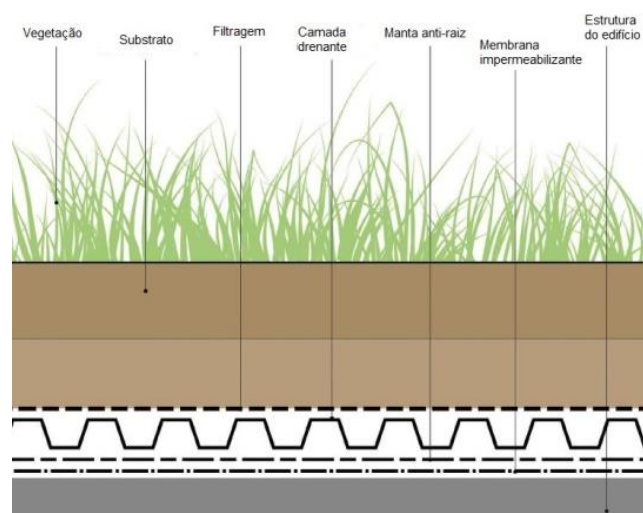


Figura 4. Camadas de um telhado verde. Fonte: Adaptado de CIRIA (2015).

- a. Vegetação: Jobim (2013) conclui que o tipo de vegetação a ser utilizado é determinante para uma aceitação do telhado verde, por se tratar da camada mais

superficial e ligada à estética do telhado. Funcionalmente, é responsável pelo maior potencial de retenção de água no substrato, além de evapotranspiração e interceptação (MENTENS et al., 2003).

- b. Substrato: Sua principal função é propiciar um meio de enraizamento e desenvolvimento das plantas, fornecendo água e nutrientes necessários para isso. Araújo (2007) aponta ainda que deve apresentar capacidade de drenagem eficiente, para não sobrecarregar a drenagem no sistema.
- c. Filtragem: Previne que partículas finas do substrato sejam transportadas para a drenagem (SILVA, 2014). Segundo Jobim (2013), o material mais comumente utilizado é o geotêxtil, manta fina e leve, de elevada resistência mecânica e alta durabilidade.
- d. Drenagem: Evita o excesso de água no sistema, armazenando determinada quantidade que poderá ser utilizada pela vegetação durante períodos de estiagem. Geralmente composta por materiais granulares, como argila expandida; tecido poroso e até mesmo módulos plásticos, como bandejas ou caixas vazadas (Id, 2013).
- e. Manta anti-raiz: Nem todos os telhados verdes são projetados para receber essa camada, mas sua função é evitar danos que possam ocorrer com a penetração de raízes e microorganismos, atingindo a membrana impermeabilizante.
- f. Impermeabilização: Garante a efetividade e durabilidade do telhado verde, pois evita o contato da água e da umidade com a estrutura base do telhado. Mantas asfálticas, termoplásticas, betume, polímeros, resinas, dentre outros, constituem a variedade de materiais que podem ser usados nesta camada.

De acordo com a Associação Internacional de Telhados Verdes (IGRA, 2014), há três categorias de telhado verde: intensiva, semi-intensiva e extensiva (Quadro 3).

Características	Intensiva	Semi-intensiva	Extensiva
Manutenção	Alta	Periodicamente	Baixa
Irrigação	Regularmente	Periodicamente	Não há necessidade
Comunidades vegetais	Arbustos e árvores	Arbustos e gramíneas	Ervas e gramíneas
Altura do substrato	150 – 1000 mm	150 – 250 mm	60 – 200 mm
E peso	180 – 500 kg/m ²	120 – 200 kg/m ²	60 – 150 kg/m ²
Custo	Alto	Médio	Baixo

Quadro 3. Comparativo entre as categorias de telhado verde. Fonte: Nascimento (2014).

2.3 Benefícios hidrológicos de telhados verdes

No Quadro 4, são apresentados os principais resultados de alguns estudos recentes sobre a performance de telhados verdes (TVs) na redução do escoamento superficial direto e retenção e detenção de volumes de água precipitada, demonstrando potencial significativo da aplicação dessa técnica.

Referência	Principais resultados / benefícios	Metodologia
VanWoert et al. (2005)	Percentual médio de retenção da água pluvial variou de 48,7% (pedregulho) a 82,8% (TV). Ademais, os telhados verdes não apenas reduziram o volume de água escoado como também estenderam esse comportamento para o período após o evento chuvoso.	Experimental. Comparação entre três telhados: convencional com pedregulho; verde extensivo sem vegetação e verde extensivo com vegetação
Getter e Rowe (2006)	Redução no volume e retardo do escoamento superficial, aumento da vida útil do telhado, conservação de energia, aumento da biodiversidade, mitigação da poluição do ar, valor estético	Revisão bibliográfica
Burszta-Adamiak (2012)	TVs com várias camadas contribuíram para a redução no pico do hidrograma e para a redução da velocidade do escoamento, em comparação ao valor máximo de precipitação registrado. Retenção média superior a 80% para os TVs.	Experimental, em um prédio universitário, na Polônia
Santos et al. (2013)	Redução no escoamento superficial entre 15% e 30% do total precipitado, para dois TVs com vegetações distintas	Experimental, simulação de chuva em dois TVs para diferentes intensidades de precipitação, na região de Pernambuco
Moruzzi, Moura, Barbassa (2014)	Inclinação do telhado e umidade antecedente são fatores decisivos tanto na redução do escoamento gerado quanto no transporte de material do telhado para sistemas subsequentes.	Experimental, três protótipos de telhado verde extensivo de 1 m ² , com inclinações de 10%, 20% e 30%, em Rio Claro, SP
Tassi et al. (2014)	Redução média de 62% do escoamento superficial, promovendo um retardo no escoamento e reduzindo as vazões de pico, o que gerou controle quantitativo das águas pluviais.	Experimental. Longo prazo. Telhado verde de 6 m ² construído em 2010 e monitorado até 2012, no Rio Grande do Sul.

Quadro 4. Benefícios hidrológicos dos telhados verdes.

2.4 Simuladores de chuvas

Simuladores de chuva vêm sendo utilizados por muitos pesquisadores, especialmente no estudo de interações solo-água, dentre elas a capacidade de infiltração da água no solo, a lixiviação de compostos, perdas de solo e a eficiência da cobertura vegetal para minimizar os efeitos da erosão. Montebeller et al. (2001) apontam que sua principal vantagem é o controle da precipitação de forma artificial, a qualquer época do ano, podendo-se regular a intensidade da chuva, duração, além de tamanho e velocidade de impacto da gota.

No contexto da agricultura, simuladores de chuva equivalem aos sistemas de irrigação por aspersão e microaspersão, e seu desempenho pode ser avaliado por um coeficiente de uniformidade de distribuição da água, por sua vez influenciado, principalmente, pelo espaçamento entre aspersores, velocidade do vento e pressão de serviço (ROCHA et al., 1999).

O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (1942), CUC, é o mais conhecido e mais utilizado até hoje, por sua simplicidade, para expressar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão. Devido à sua funcionalidade e aplicabilidade pertinentes, adotou-se o CUC como parâmetro de análise para o simulador de chuva deste trabalho. Montebeller et al. (2001) recomendam valores de CUC acima de 80%.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As três estruturas experimentais de telhado verde extensivo foram instaladas na área externa do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (Deplan), da Universidade Estadual Paulista (Unesp), câmpus de Rio Claro, tendo sido montadas por Moura (2012) e adaptadas por Silva (2014) para o desenvolvimento de seus trabalhos de conclusão de curso. Para o desenvolvimento do atual trabalho, atentou-se para a manutenção dos telhados montados, tanto estrutural quanto substancialmente, considerando-se os substratos presentes.

3.1 Módulos-piloto

A seguir, descrevem-se as características de tais estruturas. Consistindo em três caixas d'água de 1000 L cortadas a 0,18 m a partir da base, as dimensões obtidas para cada módulo experimental foram de 1,10 m x 0,90 m x 0,18 m. As caixas foram furadas para a passagem de um dreno constituído por um tubo de PVC perfurado, permitindo a coleta da parcela da água percolada. A 0,17 m da base da caixa instalou-se a calha de *Gürlach*, visando à captação do escoamento superficial direto. A fim de se obter um volume de entrada de água o mais controlado e fixado possível, as três estruturas foram cobertas com telhas translúcidas de 2,44 m de comprimento e 1,10 m de largura (MOURA, 2012). Além disso, manteve-se a inclinação de 10% dos três telhados, conforme estudo de Moruzzi, Moura e Barbassa (2014). A Figura 5 apresenta um resumo da montagem dos protótipos e a situação mais recente.



Figura 5. Montagem dos protótipos e situação recente. Parte superior, montagem e crescimento inicial por Silva (2014) e inferior, situação recente (2016).

Ressaltam-se ainda as adequações realizadas por Silva (2014): instalação de um manômetro e de um registro de pressão, ligados a uma motobomba, com objetivo de averiguar e controlar a pressão de acordo com a intensidade de chuva.

As camadas componentes de cada telhado seguiram, basicamente, a composição geral mencionada no capítulo 2:

- Drenagem, representada pela argila expandida;
- Filtragem, constituída por manta geotêxtil;
- Substrato de 130 mm de espessura (Quadro 5);
- Vegetação, representada pela espécie *Callisia repens*, indicada por Portolano (2007) como a mais adequada para telhados verdes extensivos em Rio Claro.

Telhado	Substrato	Composição	Características
TV1	Tropstrato HT	Casca de pinus, turfa, vermiculita expandida	Alto teor de matéria orgânica

TV (cont.)	Substrato (cont.)	Composição (cont.)	Características (cont.)
TV2	Solo comercial	Terra vegetal	Baixo teor de matéria orgânica; inodoro; esterilizado e atóxico
TV3	Vivatto + Solo comercial	Casca de pinus, vermiculita e moinha de carvão + terra vegetal	Adubado, com alto teor de matéria orgânica + terra vegetal

Quadro 5. Principais características dos substratos presentes nos módulos de TV.

3.2 Manutenção dos protótipos de telhado verde

Uma manutenção adequada fez-se fundamental, a fim de que as três estruturas estivessem sob as condições mais uniformes possíveis, quando da realização dos ensaios, considerando-se altura da cobertura vegetal e ausência de solo exposto, principalmente. Assim, desenvolveram-se as seguintes atividades:

- Dois momentos de replantio da espécie *Callisia repens*, necessários devido a:
 - i. um possível excesso de água durante a rega e provável falta de nutrientes nos protótipos, pois desde sua instalação, em nenhuma vez, até então, tinha havido adubação;
 - ii. um agente externo, mais tarde a saber de um equino, que danificou as coberturas vegetais no período entre ensaios (dia 29/04/2016).
- Regas em dias alternados, até o início das baterias de ensaio, cuidando para que as folhas não secassem durante os dias mais quentes, ao mesmo tempo, para que não houvesse exagero na irrigação.

3.3 Aprimoramento do simulador de chuva

O aprimoramento do simulador de chuva visava a alcançar um valor de CUC o mais elevado possível, gerando, porém, uma intensidade de chuva compatível com as intensidades locais, de acordo com as equações (1) e (2). Adotou-se como intensidades locais aquelas entre 60 mm/h e 120 mm/h, o que representa de 2 a 100 anos de período de retorno.

Para isso, testaram-se diferentes arranjos e tipos de tubulação, e aspersores, a saber: PVC ¾"; PVC ½"; microaspersores MA-30 e MA-50, como os da Figura 6.

$$CUC (\%) = 100 * (1 - \frac{S_X}{\bar{X}}) \quad (1)$$

em que \bar{X} e S_X representam a média e o desvio padrão, respectivamente, dos volumes de chuva simulada coletados em copos coletores.

$$I = \frac{560,9 * T^{0,141}}{(7,4+d)^{0,65}} \quad (2)$$

em que I representa a intensidade da chuva (mm/h); T, o período de retorno (anos) e d, a duração da chuva (min), segundo Moruzzi e Oliveira (2009 apud DAEE, 2014), para a cidade de Rio Claro.



Figura 6. Microaspersores utilizados, tipos MA-30 e MA-50.

Realizaram-se, assim, seis testes de CUC com as diversas configurações de simulador, por meio do procedimento adotado também por Silva (2014), a saber:

- a. Cobrir com lona ao redor do módulo de TV para minimizar interferências do vento;
- b. Dispor uniformemente 20 béqueres sobre a área do módulo (Figura 7);
- c. Acionar o simulador a ser testado;
- d. Controlar o tempo de funcionamento do simulador (adotou-se 10 minutos);
- e. Desligar simulador;
- f. Retirar os 20 béqueres em bandejas adequadas e levar ao laboratório;
- g. Aferir os volumes de água coletados em proveta adequada;
- h. Descartar os volumes de água.



Figura 7. Exemplo de disposição de béqueres para realização do teste de CUC.

Com isso, além de se obter o CUC, pôde-se calcular a intensidade de chuva gerada pelo simulador, a partir da equação (3):

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{Vb_i}{Ab_i * t} \quad (3)$$

em que I representa a intensidade da chuva (L/T); Vb_i é o volume de água coletada pelo béquer (L^3); Ab_i é a área do béquer (L^2) e t é a duração da precipitação simulada (T).

3.4 Dinâmica experimental nos telhados

Entre abril e junho de 2016, realizaram-se duas baterias de ensaio com os diferentes simuladores, variando-se a duração da chuva para cada valor de intensidade, com intervalo de 5 a 6 dias entre uma chuva e outra.

Recipientes industriais, como o da Figura 8, foram utilizados para coletar as parcelas de água dos telhados. Possuem as seguintes dimensões: 0,33 m de altura; diâmetro externo de 0,30 m e capacidade de 18 L. Utilizou-se da equação 4, obtida por Silva (2014), para o mesmo recipiente, a fim de se estimar o volume de água coletado.

$$V = 0,5857 * h \quad (4)$$

em que V representa o volume coletado (L) e h, o nível de água (cm).



Figura 8. Recipiente industrial e *levelogger* para aquisição de dados de nível d'água.

A fim de se aferir o nível de água, bem como sua variação ao longo do tempo, fez-se uso de um transdutor de pressão, um *levelogger* (Figura 8), equipamento muito comum no monitoramento de água subterrânea e ensaios hidráulicos, em que o nível d'água pode alterar muito rapidamente. O transdutor de pressão utilizado neste trabalho

foi do tipo *Levellogger Junior*, da Solinst[®] e, por meio do software *Levellogger Version 3.4.0*, também da Solinst[®], foi possível a aquisição de dados registrados no aparelho.

Durante cada ensaio, adotou-se o procedimento proposto por Silva (2014), com pequenas adaptações:

- a. Cobrir o local com lona plástica no entorno dos módulos, a fim de se minimizar a interferência de ventos;
- b. Posicionar os *levelloggers* no fundo dos recipientes industriais;
- c. Posicionar os recipientes industriais sob as tubulações de saídas do dreno de “percolado” e da calha *Gürlach* de escoamento superficial;
- d. Verificar a umidade de cada módulo por ensaio laboratorial (conforme NBR 6457:2016);
- e. Ligar a torneira e imediatamente a seguir, ligar a motobomba (para a chuva simulada de 127 mm/h);
- f. Observar o tempo de retardo, ou seja, o período de tempo desde o início do ensaio até o momento em que se inicia a saída de água “percolada”;
- g. Registrar os dados e observações pertinentes em livro-ata;
- h. Descarregar os dados adquiridos pelo *levellogger*.

3.5 Tratamento dos dados

Por fim, após realizar todos os ensaios nos telhados, completou-se o registro de dados e coletas de amostras de água. Diante de todos os dados necessários, esta etapa consistiu em compilá-los, tratá-los e interpretá-los, por meio de planilhas eletrônicas, a fim de se obter parâmetros de avaliação pertinentes, como hidrogramas e valores percentuais das parcelas de água coletadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Da manutenção dos telhados

Houve certa dificuldade na manutenção das estruturas dos telhados verdes. Fixou-se a atenção, sobretudo, na camada de *Callisia repens*. Ao longo do tempo, observou-se que tal espécie mostrava-se sensível ao verão de Rio Claro (Figura 9) e a ventos muito fortes, indicando uma preferência da espécie por ambientes de meia-sombra. Porém, por questão de tempo e de acordo com Portolano (2007), optou-se por mantê-la para os replantios (Figura 10).



Figura 9. Estágio de necessidade de replantio. Fotos tiradas no início de dezembro de 2015.








Figura 10. Crescimento e desenvolvimento da espécie. Foto superior: 26/02/2016; inferior: 05/04/2016.

4.2 Do aprimoramento do simulador de chuvas

Dois modelos finais foram obtidos, após os seis testes de 10 minutos de duração com diferentes arranjos de simulador de chuvas e, em consequência, duas diferentes intensidades de chuva, conforme Quadro 6.

Observa-se que os valores encontraram-se significativamente abaixo do recomendado para o CUC, por outro lado, que se obteve uma redução igualmente significativa para os valores de intensidade, considerando que, em trabalhos anteriores, adotaram-se 66% para o CUC e 319 mm/h para a intensidade (SILVA, 2014); e 56% para o CUC e 103 mm/h para a intensidade (MOURA, 2012). Apesar de se obter CUC de 62%, priorizou-se utilizar o critério da intensidade de chuva (faixa entre 60 mm/h e 120 mm/h, como mencionado no capítulo 3).

Teste	Modelo	Configuração	Condições/Observações	CUC (%)	Imédia (mm/h)
# 1		12 MA-30; 4 linhas de tubos de PVC 1/2"	Pressão: 1,8 bar; fortes gotas advindas de alguns microaspersores	62%	150
# 2		12 MA-30; 4 linhas de tubos de PVC 1/2"	Pressão: 1,8 bar; microaspersores ajustados	62%	197
# 3		12 MA-30; 4 linhas de tubos de PVC 1/2"	Bomba desligada	58%	52
# 4		9 MA-30; 3 linhas de tubos de PVC 3/4" (simulador 2014 adaptado)	Pressão: 1,8 bar	59%	127
# 5		9 MA-30; 3 linhas de tubos de PVC 3/4" (simulador 2014 adaptado)	Bomba desligada	37%	60
# 6		4 MA-50 e 1 MA-30; 2 linhas de tubos de PVC 1/2"	Pressão: 1,8 bar	22%	165

Quadro 6. Configurações testadas para o simulador.

4.3 Dos ensaios e avaliações de desempenho

O Quadro 7 apresenta as duas baterias de ensaios realizadas, incluindo os respectivos períodos de retorno, o que sugere verificar, ainda que brevemente, o contexto de micro e macrodrenagem, no seguinte Quadro, 8. Assim, considerando-se essa referência, optou-se, em um primeiro momento, por apresentar e discutir os resultados obtidos para os períodos de retorno de 2,9 (~3) anos, 44,6 (~45) anos e 12,7 (~13) anos.

d (min)	I (mm/h)	T (anos)*
5	127	2,9
15	127	44,6
30	127	474,0
60	127	7160,5
d (min)	I (mm/h)	T (anos)*
5	52	0,00
15	52	0,1
30	52	0,8
60	52	12,7

* Equação da chuva de referência: Eq. (2)

Quadro 7. Períodos de retorno de cada ensaio.

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Área com edifícios de serviços públicos	5
	Aeroportos	2-5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macrodrenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
	Áreas de importância específica	500-

Quadro 8. Períodos de retorno para diferentes ocupações da área. Fonte: DAEE/CETESB (1980).

4.3.1 Ensaio com chuva de 5 minutos e 127 mm/h

A Figura 11 representa o registro fotográfico das condições de cada telhado quando se realizou este ensaio, no dia 06/04/2016.



Figura 11. Condições iniciais dos protótipos – 06/04/2016. Da esquerda para direita: TV1, TV2 e TV3.

Verificou-se que, para tal chuva, as três estruturas obtiveram 100% de parcelas de água armazenada, como aponta o balanço de massa da Tabela 1.

Tabela 1. Resultados do balanço de massa para os TVs sob chuva de 5 min e 127 mm/h

Telhado	Vazão Entrada (L/min/m ²)	Volume Entrada (L/m ²)	Volume Percolado (L/m ²)	% Percolado por m ²	Volume Armazenado (L/m ²)	% Armazenado por m ²
TV1	2,1	10,5	0,0	0,0	10,5	100,0
TV2	2,1	10,5	0,0	0,0	10,5	100,0
TV3	2,1	10,5	0,0	0,0	10,5	100,0

4.3.2 Ensaio com chuva de 15 minutos e 127 mm/h

Similarmente ao apresentado para o primeiro ensaio, a Figura 12 abaixo apresenta as condições dos telhados no ensaio realizado no dia 12/04/2016.



Figura 12. Condições iniciais dos protótipos – 12/04/2016.

Nos itens seguintes são apresentados e discutidos os parâmetros de avaliação de desempenho hidrológico dos telhados.

4.3.2.1 Hidrogramas

A resposta de cada estrutura diante de cada chuva de projeto simulada é facilmente entendida na forma de hidrogramas, como representados nas Figuras 13 e 14.

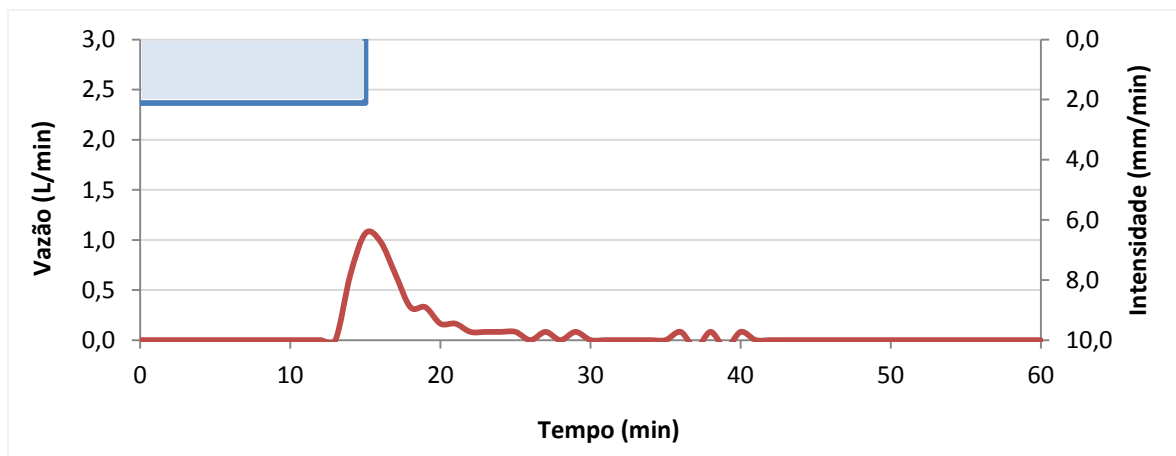


Figura 13. Hidrograma do TV1, para chuva de 15 min e 127 mm/h

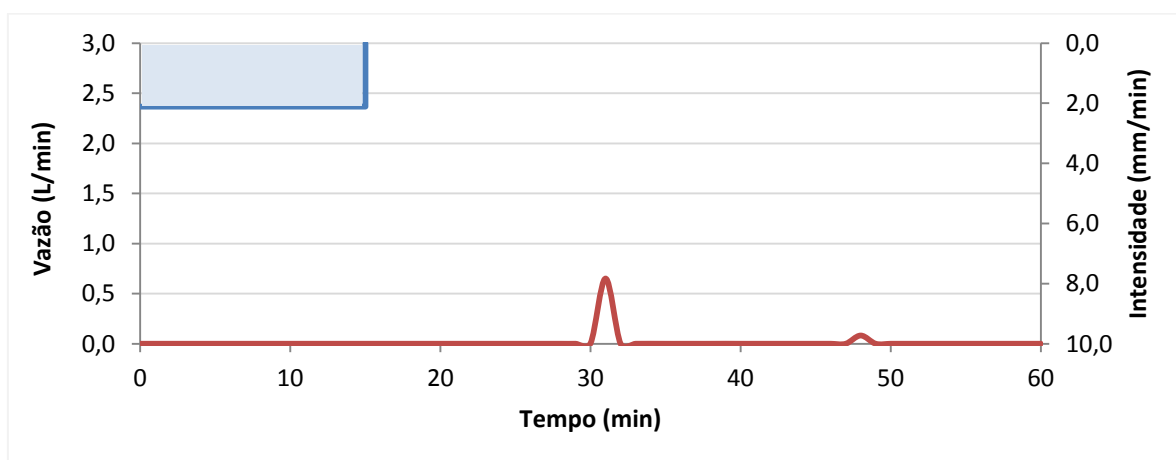


Figura 14. Hidrograma do TV2, para chuva de 15 min e 127 mm/h.

Observa-se que as vazões máximas obtidas, nesta situação, foram de 1,1 L/min e 0,7 L/min para o TV1 e TV2, respectivamente. Visualmente, também são notáveis os tempos de retardo e obtidos: 14 minutos, ou seja, logo após a cessão da chuva, iniciou-se o escoamento subsuperficial (parcela de água percolada), para o TV1; e 30 minutos para o TV2, resultado bastante significativo, possivelmente atribuído à altura de cobertura vegetal e folhas ligeiramente mais largas do que as do TV1, possibilitando, assim, maior interceptação vegetal do sistema. Já o TV3 obteve 100,0% de armazenamento, não havendo quaisquer indícios de escoamento.

4.3.2.2 Balanço de massa

Os resultados do balanço de massa efetuado complementam as informações obtidas nos hidrogramas. A Tabela 2 apresenta os valores percentuais das parcelas de

água percolada e armazenada pelas estruturas. Novamente, não houve qualquer escoamento superficial direto até então.

Tabela 2. Resultados do balanço de massa para os TVs sob chuva de 15 min e 127 mm/h

Telhado	Vazão Entrada (L/min/m ²)	Volume Entrada (L/m ²)	Volume Percolado (L/m ²)	% Percolado por m ²	Volume Armazenado (L/m ²)	% Armazenado por m ²
TV1	2,1	31,4	4,9	15,7	26,5	84,3
TV2	2,1	31,4	1,5	4,7	29,9	95,3
TV3	2,1	31,4	0,0	0,0	31,4	100,0

4.3.3 Ensaio com chuva de 60 minutos e 52 mm/h

No dia 29/04/2016, em vistoria de manutenção dos módulos experimentais, verificou-se que as coberturas vegetais de todos eles haviam sido danificadas por um agente externo (mais tarde, soube-se de um equino que pastava pela área). Certamente, tal fato tenha influenciado nos resultados da segunda bateria de ensaios, em especial, dos de durações mais longas, devido à altura da cobertura vegetal não uniforme e alguns espaços de solo exposto.

A chuva de intensidade média de 52 mm/h e duração de 60 minutos foi simulada no ensaio do dia 06/06/2016 (Figura 15).



Figura 15. Condições iniciais dos protótipos – 06/06/2016.

4.3.3.1 Hidrogramas

Os hidrogramas de saída estão apresentados nas Figuras 16, 17 e 18. Para esta chuva, as vazões máximas obtidas foram de 1,5 L/min, 0,4 L/min e 1,4 L/min para o TV1, TV2 e TV3, respectivamente. Já seus tempos de retardo observados foram 12, 15 e 11 minutos. Nota-se o considerável bom desempenho mantido pelo TV2, advindo de

prévia boa recuperação quando dos replantios. Apesar de uma chuva mais longa, não houve, em nenhum momento, qualquer princípio de escoamento superficial direto.

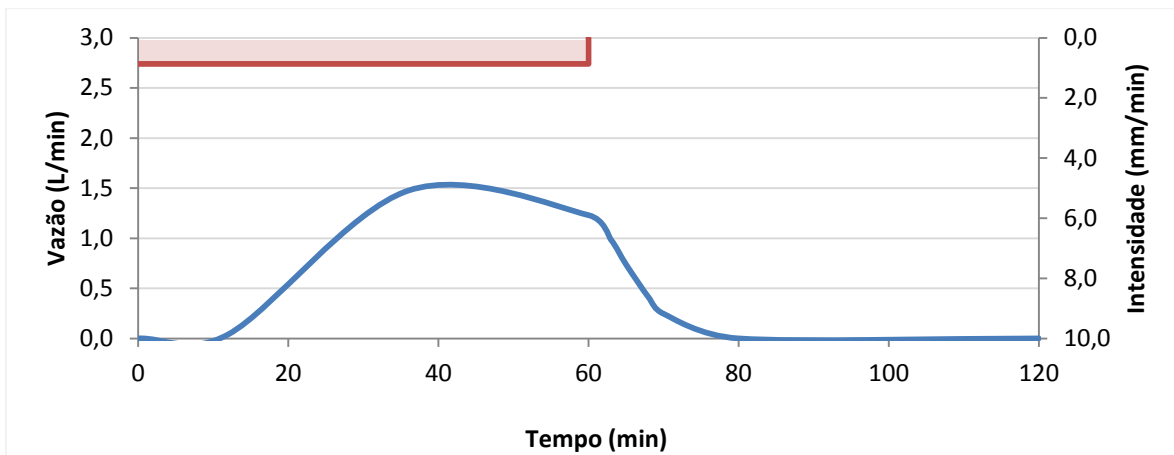


Figura 16. Hidrograma do TV1, para chuva de 60 min e 52 mm/h.

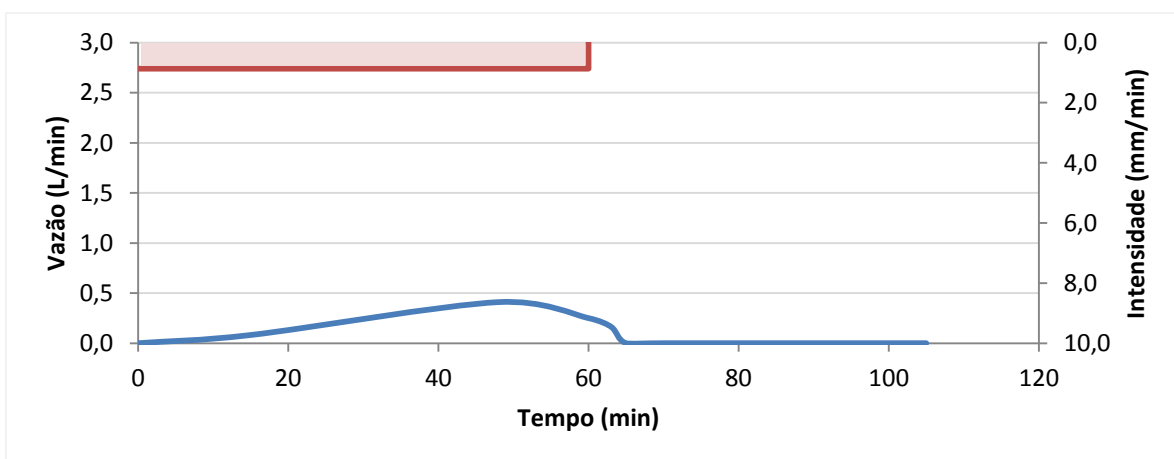


Figura 17. Hidrograma do TV2, para chuva de 60 min e 52 mm/h.

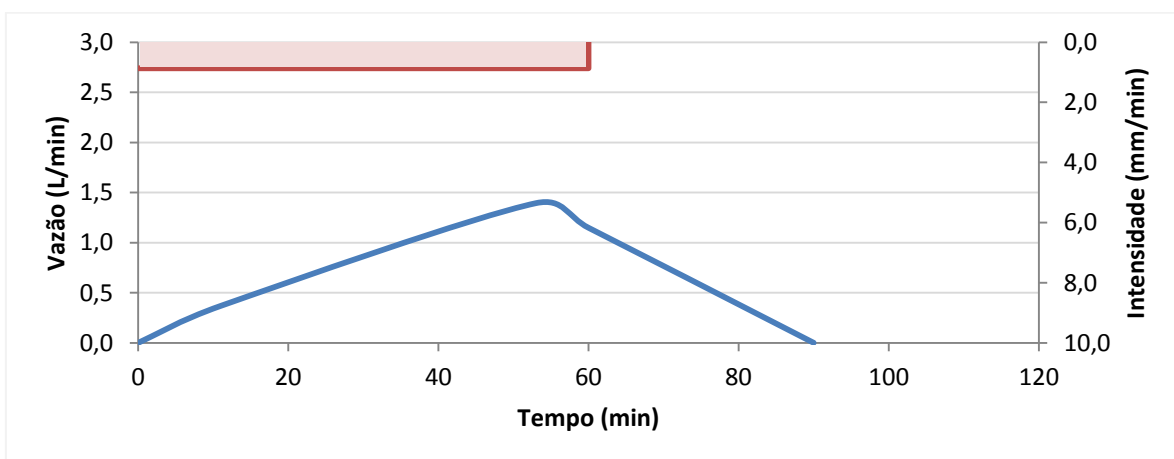


Figura 18. Hidrograma do TV3, para chuva de 60 min e 52 mm/h.

4.3.3.2 Balanço de massa

A partir do balanço de massa (Tabela 3) efetuado para essa chuva, com os dados adquiridos do *levelogger*, tem-se, mais uma vez, o TV3 apresentando maior volume armazenado em suas camadas, seguido do TV2 e, por fim, TV1.

Tabela 3. Resultados do balanço de massa para os TVs sob chuva de 60 min e 52 mm/h

Telhado	Vazão Entrada (L/min/m ²)	Volume Entrada (L/m ²)	Volume Percolado (L/m ²)	% Percolado por m ²	Volume Armazenado (L/m ²)	% Armazenado por m ²
TV1	0,9	51,5	51,1	99,2	0,4	0,8
TV2	0,9	51,5	50,4	97,9	1,1	2,1
TV3	0,9	51,5	45,5	88,4	6,0	11,6

Nitidamente o desempenho do TV1 foi prejudicado devido à sua cobertura vegetal, que não alcançou altura semelhante a dos outros dois. Após os replantios, o TV1 mostrava-se mais resistente a fixar-se no substrato e se desenvolver bem, contrariamente ao encontrado por Silva (2014). Em seu trabalho, era o TV2 que se mostrava mais resistente a fixar-se e adaptar-se ao protótipo.

4.3.4 Comparativo com um telhado convencional

A fim de se estimar o abatimento de máximas para uma das chuvas simuladas, comparou-se o telhado verde com um telhado convencional. Para isso, assumiu-se o Método Racional e, portanto, adotou-se a equação (5):

$$Q = 0,278 * C * I * A \quad \text{Eq. (5),}$$

Em que Q representa a vazão de pico (m³/s); C é o coeficiente adimensional de *runoff*, relacionado com a parcela da chuva total que se transforma em chuva excedente; I é a intensidade média da chuva (mm/h), considerada constante em sua duração; A é a área da bacia (km²).

Assim, calculou-se a vazão de pico para as seguintes variáveis, convertendo-se as unidades:

- C = 0,85 (ASCE, 1969, para a superfície de telhado);
- I = 127 mm/h e d = 15 min;
- A = 1,0 m²

E obteve-se $3,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, ou 1,8 L/min.

A partir daí, chegou-se ao abatimento da máxima representado na Figura 19, em que se compara o TV2, protótipo de melhor desempenho que gerou escoamento subsuperficial, com um “telhado convencional”, T.Conv.

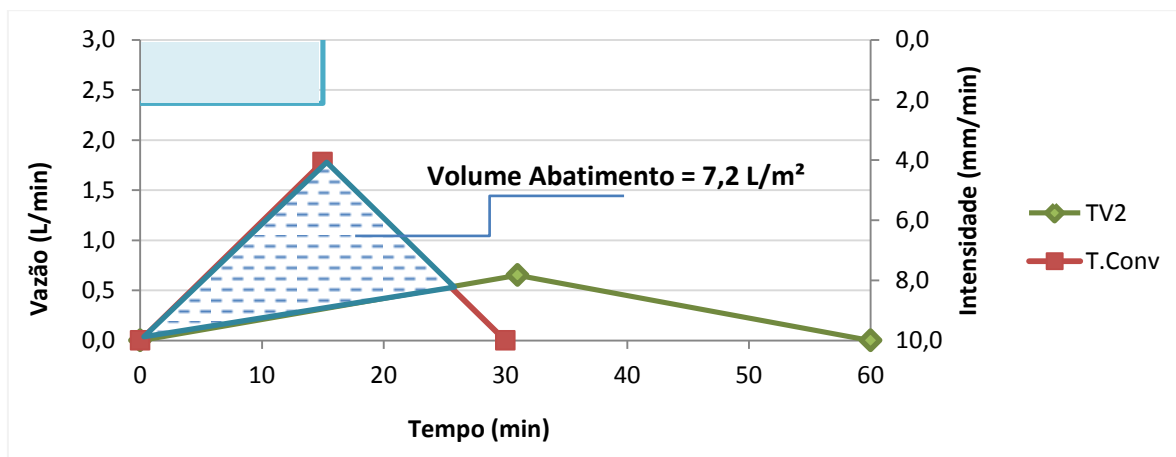


Figura 19. TV2 x Telhado Convencional, para a chuva de 15min e 127mm/h.

5. CONCLUSÕES

Ao final deste trabalho, destacam-se os pontos positivos atingidos:

- Aprimoramento do simulador de chuvas que, por sua vez, adequou as intensidades de chuva, para 52 mm/h e 127 mm/h, ou seja, próximas à faixa de referência adotada para a cidade, entre 60 mm/h e 120 mm/h;
 - Configurações mais satisfatórias obtidas: 12 microaspersores do tipo MA-30, distribuídos por 4 linhas de tubos de PVC ½”, sem acionamento de motobomba (52 mm/h); e 9 microaspersores do tipo MA-30, distribuídos por 3 linhas de tubos de PVC ¾”, com acionamento de bomba a 1,8 bar (127 mm/h).
- Resultados otimistas, com redução total do escoamento superficial direto, para todas as situações, restando apenas o subsuperficial e tempo de retardo considerável;
 - Para uma chuva de 15 minutos e 127 mm/h, obteve-se 100,0% de armazenamento do volume precipitado, pelo TV3;
 - Para a mesma chuva, ao se comparar o TV2 a um telhado convencional, estimou-se um abatimento de 7,2 litros/m²;
 - Já para uma chuva de 60 minutos e 52 mm/h, apesar de grande volume percolado registrado em todos os protótipos, não se iniciou nenhum escoamento superficial;
 - Apesar das dificuldades com a manutenção dos TVs, foi possível avaliar que TV3 destacou-se, devido ao total armazenamento do volume de água precipitada nos dois primeiros ensaios apresentados; e tempo de retardo de 11 minutos para o terceiro, mesmo depois da ação do equino. Além disso, similarmente ao TV2, apresentou boa recuperação quando dos replantios.

A necessidade de manutenção dos protótipos de telhado verde revelou que a escolha da espécie *Callisia repens* tenha sido equivocada, em certo aspecto, principalmente quando se pensa na viabilidade de se aplicar essa técnica no município de Rio Claro. Isso porque se trata de uma espécie melhor adaptada em ambientes de meia-sombra, o que não seria o caso de Rio Claro.

Por fim, considera-se que os objetivos do estudo foram atingidos satisfatoriamente: avaliou-se o desempenho hidrológico de telhado verde extensivo, por meio de três módulos-piloto, além do aprimoramento de um simulador de chuvas. Recomenda-se ainda a continuidade desta linha de pesquisa, buscando viabilizar, de forma cada vez mais consistente, a aplicação do telhado verde nas cidades brasileiras, como técnica compensatória em drenagem urbana, além de usufruir de seus benefícios múltiplos. Por exemplo, que futuras pesquisas busquem basear-se em eventos de chuvas reais e de longo prazo. Ademais, acredita-se que se trata de um incentivo a se pensar também nas outras técnicas que, em conjunto, maximizam o potencial de suas vantagens hidrológicas individuais, contribuindo, para uma gestão de águas urbanas mais adequada ao longo de toda a bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, S. R. As funções dos telhados verdes no meio urbano, na gestão e no planejamento de recursos hídricos. 28f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal). Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - ASCE. Design and Construction of sanitary and storm sewers. Nova York, 1969.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

AUSTRÁLIA. Departamento de Meio Ambiente e Indústrias Primárias do Estado de Victoria. Growing green guide: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia. Victoria, 2014. 142p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. Técnicas compensatórias em drenagem urbana. 2ª edição. Porto Alegre: ABRH, 2011. 318p.

BEECHAM, S.; RAZZAGHMANESH, M.; KAZEMI, F. Introducing green infrastructure into the built environment of Adelaide. In: 6th International Conference and Workshop on the Built Environment in Developing Countries. Austrália, 2012.

BURSZTA-ADAMIAK, E. Analysis of the Retention Capacity of Green Roofs. Journal of Water and Land Development, v. 16, n.1/6, p. 3-9, 2012.

CARTER, T.; BUTLER, C. Ecological impacts of replacing traditional roofs with green roofs in two urban areas. *Cities and the Environment*. Vol. 1, Iss. 2, Art. 9, 2008.

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. Berkley: University of California, 1942. 124p.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION – CIRIA. The SuDS Manual. Disponível em: < http://www.ciria.org/Memberships/The_SuDs_Manual_C753_Chapters.aspx > Reino Unido, 2015. Acesso em: 26 fev 2016.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Precipitações intensas no estado de São Paulo. 2014. Disponível em: < <https://drive.google.com/file/d/0B4t5iKKyDAByeG1zZlgzRE81b28/edit> > Acesso em: 22 jul. 2016.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA/COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE/CETESB. Drenagem Urbana. 2ed. São Paulo, 1980.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B. The role of extensive green roofs in sustainable development. Hortscience, v. 41, n. 5, p. 1276-1285, 2006.

GILL, S. E., HANDLEY, J. F., ENNOS, A. R., PAULEIT, S. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure. Built Environ. 33, p.115-133. 2007.

INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION – IGRA. A quick guide to green roofs. Alemanha, 2014.

JOBIM, A. L. Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial. 75f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2013.

LIMA, G. C. de O. Avaliação do desempenho de telhados verdes: capacidade de retenção hídrica e qualidade da água escoada. 128f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

LOCATELLI, L.; MARK, O.; MIKKELSEN, P. S.; ARNBJERG-NIELSEN, K.; JENSEN, M. B.; BINNING, P. J. Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage applications. Journal of hydrology. 2014.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a part of urban water management. In: Proceedings of the 2nd Water Resources Management, Southampton, 2003.

MINKE, Gernot. Techos verdes: Planificación, ejecución, consejos prácticos. Editorial Fin de Siglo, Montevideo, Uruguay, 2004.

MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F. de; ALVES SOBRINHO, T.; NUNES, A. C. da S.; RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.1, p.1-5, 2001.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. de. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, v.9, n.13. Maio, 2009.

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C. de; BARBASSA, A. P. Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo. Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 59-73, jul./set. 2014.

MOURA, C. C. de. Avaliação quali-quantitativa das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em instalação experimental piloto de telhado verde extensivo com diferentes inclinações. 61f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2012.

NASCIMENTO, M. M. do. Estudo da viabilidade econômica da técnica de telhados verdes em unidades do programa Minha Casa Minha Vida na cidade de Campo Mourão, PR. 50f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

NAÇÕES UNIDAS. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, Divisão de População. World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights. Nova York, 2014.

ONHUMA JÚNIOR, A. A.; NETO, P. de A.; MEDIONDO, E. M. Análise da retenção hídrica em telhados verdes a partir da eficiência do coeficiente de escoamento. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v. 19, n. 2, 2014. p. 41-52.

OSMUNDSON, T. Roof gardens: history, design, and construction. 1st ed. Nova York: W.W. Norton & Company, 1999. 318p.

POLETO, Cristiano et al. Introdução às águas urbanas. In: _____. (Org.). Águas urbanas: volume 1. Porto Alegre: ABRH, 2015. p. 11-22.

PORTOLANO, M. G. A ecologia na arquitetura: teto jardim. 65f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ecologia). Instituto de Biociências. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2007.

RIGHETTO, Antônio Marozzi et al. Manejo de águas pluviais urbanas. In: _____. (Coord.). Manejo de águas pluviais urbanas. 1ª edição. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 19-73.

ROCHA, E. M. de M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. da S.; CASTRO, P. T. de. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.3, n.2, p.154-160, 1999.

SANTOS, P. T. da S. et al. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161 – 174, 2013.

SAVI, A. C. Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura. 127f. Trabalho de conclusão (Especialização em Construções Sustentáveis), Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

SCHUELER, Thomas R. Controlling Urban Runoff: A practical manual for planning and designing urban BMPs. Washington, DC: Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.

SILVA, H. A. da. Avaliação da influência do substrato utilizado na qualidade e quantidade das parcelas de água escoada, percolada e armazenada em três estruturas experimentais de telhado verde extensivo. 69f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2014.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n.1, p. 139 – 154, 2014.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. Revista Estudos Avançados, São Paulo, v.22, n.63, p.97-112, 2008.

VANWOERT, N. et al. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope and media depth. Journal of Environmental Quality, v. 34, n. 3, p. 1036 – 1044, 2005.