



PESQUISA DE GRADUAÇÃO A SERVIÇO DA RESPONSABILIDADE SOCIAL: EDUCAÇÃO AMBIENTAL ATRAVÉS DA INTRODUÇÃO DE TELHADOS VERDES PARA A DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Gustavo Brandão Costa – gustavobcosta@gmail.com

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia

Rua da Consolação, 930

CEP 01302-907, Consolação, São Paulo, SP, Brasil

André Assugeni Tanzillo – andretanzillo@gmail.com

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia

André Luiz de Lima Reda – allreda@uol.com.br

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia e

Centro Universitário do IMT, Escola de Engenharia Mauá

Ana Júlia Ferreira Rocha – anajulia.rocha@mackenzie.br

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia

Ana Lúcia Bragança Pinheiro – analucia.pinheiro@mackenzie.br

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia

Resumo: *Tem-se expandido a construção de telhados verdes para controlar águas pluviais urbanas, usando sua capacidade de armazenamento e amortecendo picos de enchentes – numa prática em direção à urbanização sustentável. O artigo relata os resultados de projeto de graduação numa linha de pesquisa da Escola em Educação Ambiental, que inicia por uma abrangente revisão bibliográfica descrevendo as técnicas mais comuns no projeto de telhados verdes. Um método prático para dimensioná-los é proposto sobre bases matemáticas, com seus principais aspectos resumidos aqui. Para tanto, é adotada uma tormenta de projeto com base na equação de chuva intensa regional. As características físicas do telhado proposto no projeto também são consideradas, finalmente resultando a espessura necessária do substrato poroso do telhado (única característica geométrica inicialmente desconhecida). Uma hipótese fundamental sobre a qual o método é concebido é que toda a chuva infiltrada cabe retida na camada permeável (ou substrato), com a descarga filtrada através do seu fundo poroso começando somente após o término do episódio de chuva. Um estudo de caso realístico, porém baseado em dados hipotéticos descrevendo um evento de chuva (plausíveis e similares aos observados em casos reais), a área de telhado e suas camadas, demonstra a eficiência do telhado verde para atenuar picos de enchente no ponto de descarga do terreno da edificação. Finalmente, é apresentada uma proposta direcionada ao público: um folheto divulgando a possibilidade e as vantagens da adoção de telhados verdes pelos municípios – num exemplo de interação estudante-sociedade para promover educação ambiental.*

Palavras-chave: *telhado verde, revitalização da drenagem, hidrologia urbana, desenvolvimento sustentável.*

Realização:



Organização:





1. INTRODUÇÃO

À medida que a taxa de urbanização se expande nos países em desenvolvimento, a ponto de a população urbana no Brasil já ser maior do que a rural, os centros urbanos passam a não ter mais tempo para crescer de forma organizada. Atualmente, qualquer região do mundo já conta com cidades de milhões de habitantes. Foi inevitável que várias se tornassem megalópoles, com os diversos problemas ambientais oriundos da concentração populacional. Neste ponto, os recursos naturais se tornam relativamente restritos – principalmente a extensão territorial, o que degrada não só a natureza local, como também a própria estrutura urbana e a vida de seus habitantes. Vários desses impactos se devem à impermeabilização demasiada, resultando excesso de escoamento superficial e enxurradas, com crescente velocidade para os corpos receptores, provocando muitas vezes erosão e inundação. O excesso de pavimentação e construção causa, ainda, aumento na temperatura, causando as “ilhas de calor” (ou “canopy effect”). Superfícies porosas, ao contrário disso, absorvem e retêm parte da chuva, reduzindo o escoamento superficial e liberando o volume líquido infiltrado por um período mais longo (COSTA et al., 2011; MOURA, 2008 apud LOUREIRO; FARIAS, [2009-2010]); além de aumentarem a biomassa vegetal e a umidade do solo, bem como a inércia térmica ambiental (e o conforto térmico).

Tudo isto pode ser conseguido pelo planejamento urbano e implantação de benfeitorias ou estruturas de baixo impacto ambiental. Estruturas urbanas de baixo impacto ambiental são aquelas cuja instalação e utilização não aumentam, tendendo até a mitigar, os impactos negativos causados ao meio – por exemplo, a adoção de solos, ruas e calçadas permeáveis. Também funcionam assim as superfícies drenantes com vegetação sobre base permeável, seja em jardins, parques ou lajes e telhados – o que representa o interesse deste trabalho.

Os “telhados verdes”, coberturas verdes, tetos verdes, telhados vivos, eco telhados ou telhados ajardinados – dentre outras denominações encontradas na literatura – são uma técnica da Arquitetura que busca aplicar solo e vegetação sobre estruturas de cobertura impermeável, em diversos tipos dessas coberturas e de edificações. Sabe-se de telhados verdes em regiões as mais diversas, tais como Alemanha, Argentina, Tanzânia e Islândia, e em diversas fases históricas (são famosos os ‘jardins suspensos da Babilônia’). Porém, suas qualidades e benfeitorias foram reconhecidas mais amplamente, no meio técnico, há apenas poucos anos. Com o reconhecimento, vieram os estudos do comportamento hidrológico, térmico e acústico dessas coberturas verdes. De fato, além dos benefícios hidrológicos em foco neste estudo, tem-se notícia de que coberturas verdes sobre contêineres experimentais reduziram pressões sonoras internas de 30 a 50% (LAGSTRÖM, 2004) – vide Figura 1. Quanto à recuperação da umidade nas cidades, telhados verdes podem evaporar alguns milhares de vezes mais água em dia quente do que telhados convencionais, segundo Robinette (1972, apud MINKE, 2005). Além disto, a plantação de vegetais em grande escala sobre uma área urbana pode contribuir para o sequestro de CO₂, coibindo o aumento no efeito estufa. Dentre estes benefícios, são os estudos térmicos e os hidrológicos que mais se destacam.

Relatam-se aqui técnicas e tipos de telhados verdes, além de pesquisas relevantes sobre seu funcionamento e características de interesse para a reforma ambiental. Apresentam-se estudos do comportamento hidrológico e se propõe um método para dimensionamento.

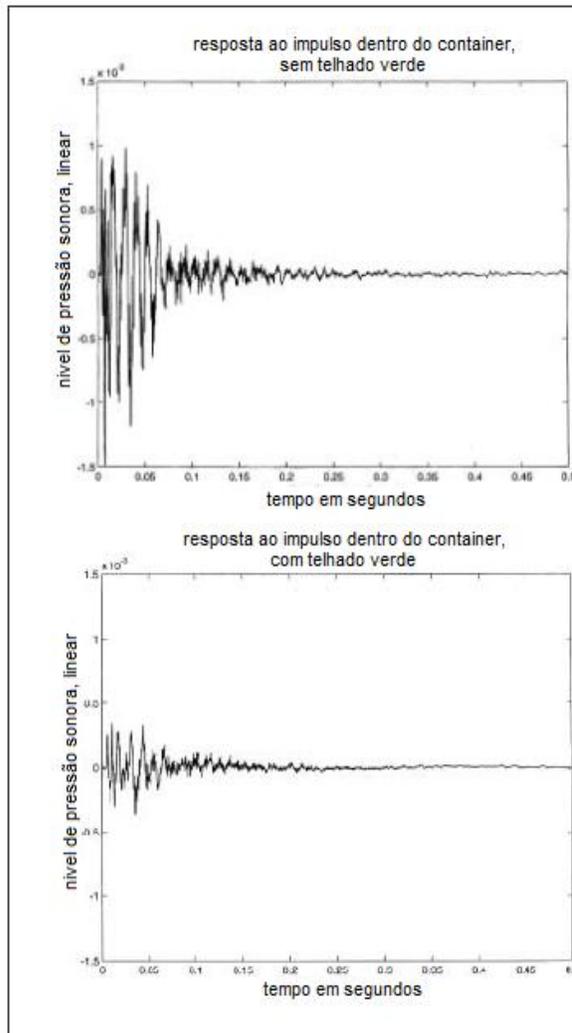


O telhado verde é formado por um conjunto composto, basicamente, por uma camada superior de substrato (solo), a vegetação e uma subcamada drenante inferior, apoiada sobre laje ou outra estrutura de cobertura, com impermeabilização adequada entre ela e tal estrutura (MINKE, 2005).

Telhados verdes podem ser construídos de maneiras diversas, divididas em várias classes. Os métodos construtivos dessas coberturas se distinguem não só pelos vários materiais componentes empregados no substrato, na camada drenante e na impermeabilização (esta, na sua base), mas também por suas características intrínsecas tais como espessura do substrato e declividade das camadas componentes.

2. CLASSIFICAÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS TELHADOS VERDES

Costuma-se classificar os telhados verdes, comumente, em três categorias principais, a saber:



intensivos, semiintensivos e extensivos. Além de essas classes diferirem pela espessura do substrato, principalmente, outras características também as distinguem, tais como tipo de planta, profundidade das raízes e intensidade de manutenção, como detalhado a seguir.

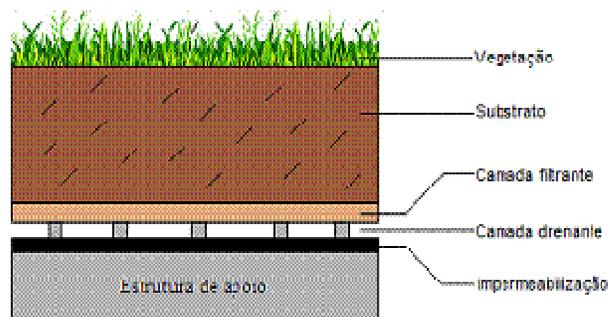
Sistemas intensivos têm substrato mais espesso (espessuras mínimas, na literatura, próximas a 20 cm), permitindo o crescimento de vegetação mais densa e até lenhosa – o que limita a declividade e requer manutenção freqüente e boa irrigação (MINKE, 2005). Tais telhados têm grande liberdade e variabilidade na instalação de componentes, exigindo estruturas de base de alta resistência – daí permitirem uso para convivência e recreação. Oferecem outras vantagens específicas, tais como a possibilidade de plantio e cultivo de alimentos (OLIVEIRA; SILVA, 2009) – característica interessante, dependendo do intuito do projeto. Porém, o fato de o peso dos telhados verdes intensivos ser considerável, faz, por vezes, necessário o reforço estrutural para sua aplicação, junto à necessidade constante de manutenção – tornando-os menos viáveis economicamente.

Fonte: Lagström (2004, p.29), traduzido pelos autores.

Figura 1 - Resposta a impulso sonoro com e sem teto verde.



Os sistemas extensivos são aqueles com substratos menos espessos, de vegetação rasteira, com camadas de 2,5 a 15 cm de espessura – evidentemente, não comportando longas raízes – e podem ser suportados por estruturas leves (mesmo quando saturados), exigindo pouca ou nenhuma manutenção (GETTER; ROWE, 2006; LAGSTRÖM, 2004; MINKE, 2005; OLIVEIRA, SILVA, 2009; TOMAZ, 2005).



Ao contrário dos intensivos, não podem ser cultivados e só suportam trânsito para manutenção, pois são estruturas frágeis (MINKE, 2005). São mais baratos, simples e praticáveis em vasta aplicação, exigindo menos manutenção. O caso prático em estudo aqui é um telhado extensivo, apropriado para regiões urbanas – ver corte na Figura 2 e fotografia na Figura 3..

Figura 2 – Esquema em corte do telhado verde adotado.

Os sistemas semiextensivos são classificados entre intensivos e extensivos. Apresentam, parcialmente, vantagens e desvantagens de ambos, com substrato mais espesso que os extensivos. Por vezes proporcionam o cultivo de arbustos e alimentos, com espessura entre 12 e 25 cm e necessidade de periódica manutenção e irrigação – de acordo com o IGRA (2011).



Fonte: IGRA (2011 n.p.)

Figura 3 - Telhados verdes extensivo (esquerda) e semiextensivo (direita) sobre lajes de edifício

É uma característica importante dos telhados verdes sua capacidade de deter e reter águas pluviais – no que são únicos dentre toda a gama de coberturas existente. Por isso, uma região urbana pode ter seu ciclo hidrológico restaurado adotando-se telhados verdes em boa parcela dela (PALLA et al., 2010). A capacidade de retenção e detenção de água é devida às suas diversas camadas permeáveis, que diminuem a velocidade de escoamento, daí aumentando o tempo de detenção no sistema (BERTHIER et al., 2011). Isto se deve à necessidade de preencher os vazios do solo pela água antes que continue a escoar por gravidade. Adicione-se a ela o fato de o solo oferecer resistência à percolação e o fenômeno de absorção de água pelas plantas – tudo isto reduzindo o escoamento superficial no deságüe final do telhado. Esses fenômenos são discutidos em Cunha (2004), Montalto et al. (2007), Oliveira e Silva (2009),



Palla et al. (2010), Pöe et al. (2011) e Vanwoert et al. (2005), dependendo diretamente da inclinação e espessura das camadas drenantes, sua permeabilidade e capacidade de retenção.

Parte relevante dos estudos sobre capacidade de retenção dos telhados verdes garante que a inclinação a influencia diretamente – e não só a eficiência de drenagem, obviamente. Uma minoria dos estudos, porém, questiona tal posição: Schade (2000 apud PALLA et al., 2010) e Liesecke (1998 apud PALLA et al., 2010). Os estudos de Vanwoert et al. (2005) afirmam que não só a inclinação, mas também a espessura, são fatores a considerar na definição ótima do telhado verde, como citado anteriormente, levando em conta, ainda, a intensidade da chuva de projeto. Outro fator cogitado por Vanwoert et al. (2005), mas não aprofundado, é a ligação do tipo de vegetação com a quantidade de água retida, sendo comprovado por aqueles autores que uma estrutura com vegetação retém uma quantidade maior de água do que se não a tivesse. Assim, a vazão máxima à saída do telhado diminui ao se amortecer o hidrograma efluente, assim caindo a carga dos sistemas de drenagem públicos durante e após a chuva. Isto resultaria também redução da erosão (por diminuição na velocidade da enxurrada) e dos risco de inundações (PALLA et al., 2010; MONTALTO et al., 2007).

Berthier et al. (2011) estão desenvolvendo um método de dimensionamento de telhados verdes e sugerem que, por análise de dados coletados por alguns anos em protótipos, na seca o substrato fica inteiramente insaturado, com pouquíssima água armazenada – até atingindo o ponto de murcha de certas plantas. Isto, pois, proporciona maior potencial de retenção de água precipitada; enquanto, em épocas chuvosas, a quantidade de água armazenada no substrato é maior, nunca chegando ao estado de saturação e reduzindo a retenção de água pluvial.

Costa et al. (2011) não somente testam os efeitos do retardamento do escoamento pelo substrato e vegetação, a exemplo de outros estudos (BACOVIS, 2010; PALLA et al., 2010; VANWOERT et al., 2005), mas também o efeito da rugosidade da superfície onde o telhado verde é implantado, observando resultado satisfatório na retenção apenas com uma superfície rugosa, e ainda melhores com a combinação entre esta e o telhado verde; assim, vê-se ser este um meio de aumentar a eficiência de retenção e redução de escoamento.

Mais um ponto interessante: telhados verdes atenuam com maior eficiência os primeiros picos da tormenta. À medida que ela cai, essa eficiência diminui até se estabilizar. Isto se explica por estar o substrato geralmente seco no início da chuva e, com o tempo, pelo aumento da percentagem de saturação, ver ir diminuindo sua capacidade de retenção – até atingir total saturação. Daí, a precipitação excedente sobre sua superfície passa a escoar praticamente toda de modo superficial.

3. PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE TELHADO VERDE

O método prático, simplificado, para dimensionar telhados verdes aqui proposto se baseia em conceitos e formulações de Física, Hidráulica, Hidrologia e Mecânica dos Solos, visando principalmente determinar a espessura do substrato, por ser ele o principal componente responsável por aumentar a retenção de água. Criou-se uma planilha para agilizar o cálculo, num método que é resumido a seguir e mais bem descrito em Tanzillo e Costa (2012).

O projeto de um telhado verde engloba várias alternativas geométricas, cada uma com seu tempo de concentração, t_c . Para dada alternativa, escolhe-se um ietograma sintético de projeto (ou “chuva de projeto”, com intervalos Δt escolhidos em função de t_c e para boa precisão), criado como descrito mais adiante. Essa criação se baseia numa equação de chuva intensa regional. Aqui, adotou-se a mais recente equação desenvolvida pelo Centro Tecnológico de Hidráulica (MARTINEZ E MAGNI, 1999) para a cidade de São Paulo. É também necessário



descontar a altura pluviométrica infiltrada em cada Δt para obter a altura pluviométrica efetiva a cada Δt – resultando o ietograma efetivo de projeto. As alturas infiltradas foram estimadas pelo método de Horton (usando uma versão adaptada por Tanzillo e Costa, 2012, para o caso de, em dado Δt , chover menos do que poderia infiltrar segundo a capacidade de infiltração dada por Horton).

Se se pretende verificar a eficiência do amortecimento da enchente do telhado verde, deve-se saber como seria o escoamento das águas à saída do telhado convencional – ou seja, estimar o hidrograma efluente deste. Isto é obtido pela convolução da precipitação efetiva de projeto com um hidrograma unitário estimado para o telhado convencional com base nas características fornecidas da bacia. Empregou-se aqui o hidrograma unitário triangular de Oakes (simplificado, com t_c como tempo de pico e tempo de base igual ao $2,5 t_c$). O tempo de concentração é estimado em função das características principais da bacia, a saber: inclinação da cobertura e maior distância nela percorrida pela molécula precipitada no ponto mais longe da saída; inclinação e comprimento da calha; altura da edificação (para estimar tempo de percurso no tubo de queda, em geral bem menor que o tempo de percurso superficial), e distância e inclinação do canal de drenagem do substrato até o ponto de entrada no tubo de queda. Estimado o hidrograma de enchente à saída do telhado convencional, será comparado, oportunamente, ao hidrograma à saída do telhado verde.

A chuva de projeto é determinante para dimensionar a drenagem. Sua duração, segundo diretrizes básicas para projetos de drenagem no município de São Paulo (PMSP, 1999), deve ser igual ao t_c do sistema; assim, garante-se contribuição simultânea de todo o sistema e, por consequência, maximização da vazão de projeto para dado período de retorno. A escolha dessa duração foi efetuada de modo iterativo, partindo de um valor inicial de duração de chuva convenientemente atribuído, calculando-se o tempo de concentração em função das características da bacia e do sistema drenante e usando esse valor como novo tempo de duração de chuva, até que haja convergência entre a duração suposta e o valor t_c resultante – conforme sintetiza a Figura 4.

Tomando por base as alturas pluviométricas infiltradas a cada Δt , calculadas anteriormente, adota-se a hipótese de que toda a água infiltrada pode ficar retida na camada de substrato e daí se estima a espessura de substrato necessária para reter toda essa água simultaneamente pelo menos até o fim da tormenta efetiva. Sabendo a porosidade do substrato, de material homogêneo e isotrópico neste estudo de caso hipotético, ' p ' (quociente do volume de vazios do solo por seu respectivo volume aparente ou total - PIMENTA, 1989), para uma área de captação de chuva coincidente com a área do substrato (que abrange toda a área de telhado) tem-se:

$$e = P_{inf} / p \quad (1)$$

onde:

e : espessura do substrato

P_{inf} : altura pluviométrica infiltrada

p : porosidade do substrato



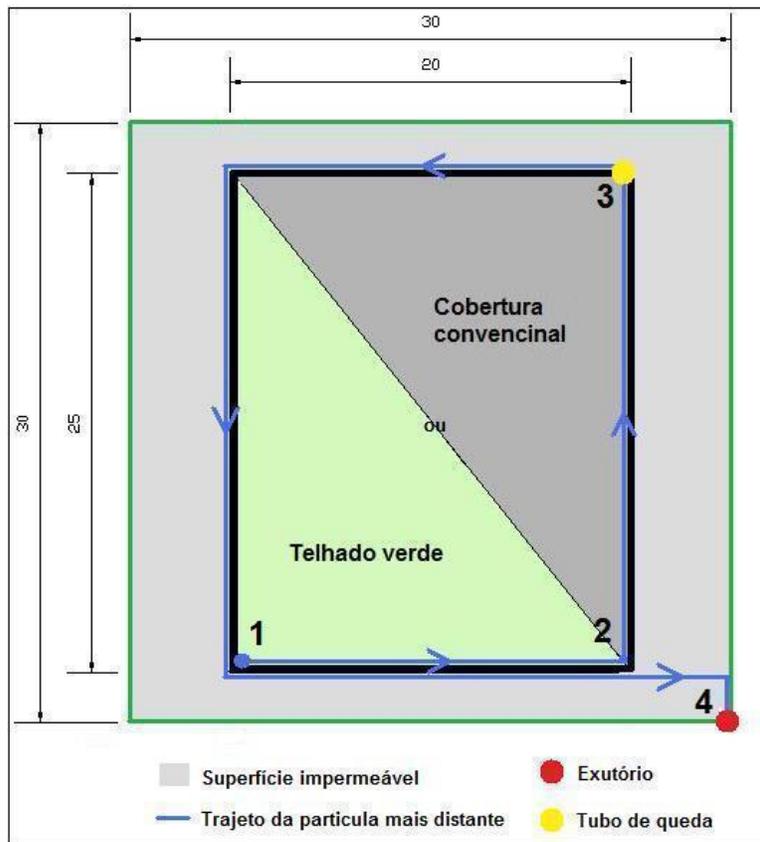
Figura 4 - Esquema para calcular a duração da chuva de projeto

Uma forma de avaliar a eficiência do sistema proposto para amortecer a enxurrada é cotejar o hidrograma à saída do telhado convencional resultante da convolução supra descrita



com um hidrograma estimado à saída do telhado verde. Este último é estimado supondo que a saída das águas detidas no telhado verde ocorre por gravidade pela base do substrato, à velocidade constante estimada pela Lei de Darcy (PIMENTA, 1981), e, daí, pelo sistema hidráulico de captação da água filtrada por essa base e conduzida até o mesmo ponto de saída que no caso do telhado convencional.

A planilha permite que se calcule cada um dos hidrogramas efluentes, bastando preencher as células respectivas na sua área de cálculo com os valores geométricos das áreas (de telhado ou de terreno) envolvidas e as características do substrato, conforme o caso (como



demonstram Tanzillo e Costa, 2012). No caso estudado, a bacia total do terreno tem 900m^2 e a área de telhado é 500m^2 . Para telhado convencional, sem área verde, a planilha calcula um hidrograma efluente à saída do terreno. Se for adotado telhado verde, primeiro são criados três hidrogramas: um para o escoamento superficial pela área verde; outro para o escoamento superficial pela área sem vegetação (área de terreno menos da área do telhado), e o último representando a saída de água sob a camada do substrato (hidrograma de “exfiltração”). Somam-se os três e resulta o hidrograma efluente do terreno com telhado verde.

Figura 5 - Disposição e dimensões do terreno e trajeto da água no caso empregado neste estudo.

A Figura 5 mostra o terreno hipotético, incluindo área de telhado, sobre o qual os cálculos comparativos foram feitos, neste estudo de caso, entre uma situação com a área de telhado coberta por estrutura drenante tradicional e uma alternativa, em que foi implantado um telhado verde sobre a área de telhado.

A Figura 6 compara os hidrogramas efluentes do terreno com telhado convencional e com o verde, no exemplo adotado neste estudo de caso. O aspecto mais importante na figura é o abatimento de cerca de 15% na vazão máxima (ou de pico) que é descarregada na rede pública de drenagem.

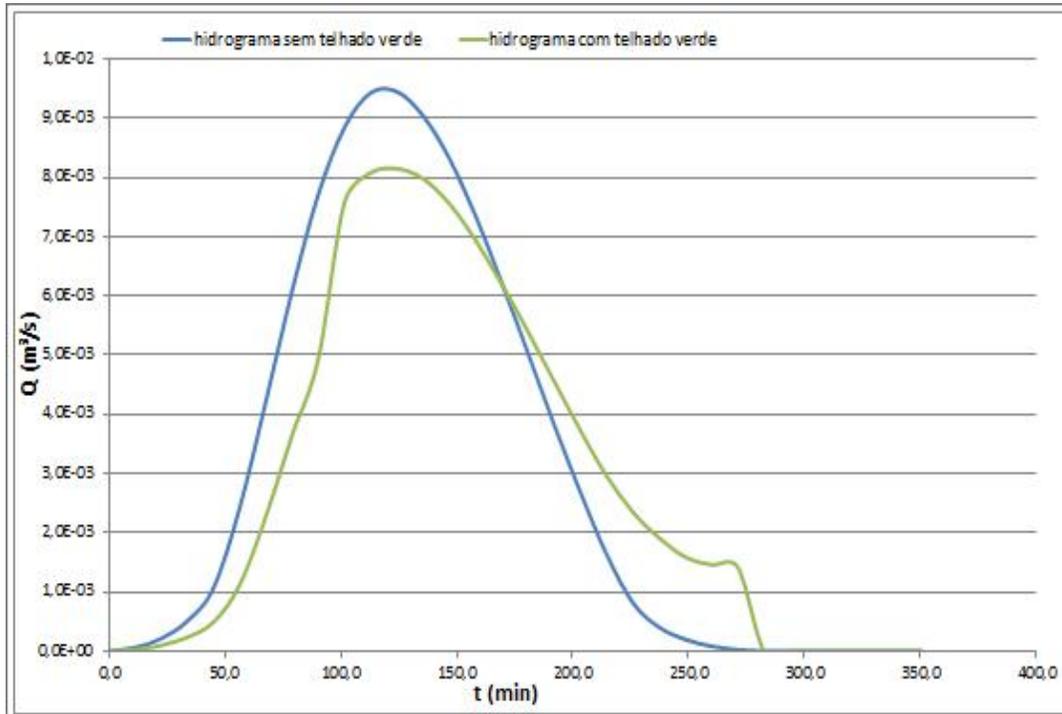


Figura 6 - Hidrogramas efluentes da bacia com e sem telhado verde.

4. PROPOSTA DE CAMPANHA EDUCATIVA PARA DIVULGAR OS TELHADOS VERDES

Num futuro próximo, quando os três níveis de governo (federal, estaduais e municipais) tiverem logrado organizar-se para incentivar o munícipe a lançar mão de diversos meios de preservação dos recursos ambientais, tais como as fontes de energia, matéria prima, água, território em geral e áreas permeáveis, poder-se-á incentivar medidas nesse sentido por meio de leis regulatórias e de concessão de serviços, normas técnicas e incentivos fiscais (descontos no imposto predial e territorial, depósito de bônus em conta corrente, cupons de desconto no uso pago de equipamentos públicos, etc.).

Assim, para incentivar e esclarecer a população sobre as vantagens dos telhados verdes, propõe-se um exemplo de folheto educativo. A Figura 7 mostra essa proposta, com a sua página frontal – podendo no verso conter explicações mais detalhadas, com gráficos relatando vantagens numéricas de cada um dos argumentos citados na página frontal.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS DESENVOLVIMENTOS

O artigo visou apresentar telhados verdes como importantes componentes na solução múltipla que se torna urgente para o problema das inundações urbanas. Foram explorados as características possíveis em telhados e os comportamentos da água neles, de uma forma geral, além de uma proposta prática de dimensionamento criada para viabilizar a adoção dessas estruturas pela população. Na literatura pesquisada, o uso de telhados verdes se mostra capaz



Melhore o seu ambiente interno ... e também o meio ambiente!

Seu edifício ou casa também pode ter um **telhado verde...**



...e desfrute de muitas vantagens:

- Criação de novas áreas verdes, produtivas.
- Redução da poluição ambiental:
 - Promoção do conforto acústico na habitação.
 - Maior conforto térmico.
 - Aumento da umidade relativa do ar nas imediações em tempo seco.
 - Melhora do aspecto visual – contribui com o paisagismo.
- Economia de energia:
 - Redução no consumo para aquecimento (inverno) e resfriamento (verão).

O que é telhado verde?

Uma técnica de arquitetura que aplica solo e vegetação sobre estruturas de cobertura impermeáveis, em diversos tipos de coberturas e edificações.

Como conseguir um?

Procure um arquiteto ou engenheiro da sua preferência ou peça informações à Prefeitura da sua cidade.

Fotos: <http://www.desideratto.com/arquitetura/casa-com-telhado-verde>

de mitigar o impacto do crescimento urbano – fato corroborado pelos argumentos numéricos aqui apresentados.

A revisão bibliográfica mostra os telhados verdes como uma solução deste problema, praticável nos grandes centros urbanos pelos benefícios, facilidade e viabilidade de aplicação, sendo necessários mais estudos para viabilizá-los mais ainda.

Como ainda não há norma específica para tal tipo de cobertura, o método construtivo é muito simples. Assim, o dimensionamento aqui mostrado é uma proposta inicial na direção de uma metodologia específica.

A comunicação à população sobre as vantagens do telhado verde aqui apresentada, de modo prático, visa tanto incentivar o munícipe à adoção de cobertura verde na sua edificação com base na prática da boa Engenharia e da boa Arquitetura, quanto incentivar pesquisas orientadas de forma prática por entidades de desenvolvimento urbano, de caráter público ou privado – assim, fomentando a discussão prática nessa direção. Observa-se, com base na literatura, que a vontade de construir coberturas verdes vem incentivando o surgimento de diferentes formas de impermeabilização que as viabilizem, de modo a coibir um dos maiores problemas potenciais dessa prática: umidade no ambiente interno construído.

Figura 7 - Proposta de folheto para campanha educativa propugnando a implantação de telhados verdes.

Para desenvolver conhecimento adicional no tema, seria interessante pesquisar mais a fundo a possibilidade e viabilidade de implantação em regiões diversas, explorando em cada uma a sua capacidade de mitigar inundações. Os resultados aqui obtidos, bem como eventuais resultados de pesquisas futuras na área, serão base para ampliar conhecimento visando desenvolver, conceber e planejar a aplicação de telhados verdes em áreas urbanas como forma de solução e abordagem rumo à urbanização sustentável.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACOVIS, T. M. Comparação entre o desempenho hidrológico de um protótipo de telhado verde extensivo e um protótipo de telhado convencional. 2010. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso), Pontifícia Universidade Católica-Paraná - PUCPR, Curitiba, 2010. 56p.

BERTHIER, E.; RAMIER, D.; GOVELLO, B. Simulation of green roof hydrological behavior with a reservoir model. **Anais: XII International Confer. of Urban Drainage (ICUD)**. Porto Alegre, 11-16 set. CD. 2011.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. Applied hydrology. Estados Unidos da América: McGraw-Hill, 1988, 572 p.

COSTA, J.; ALEANDRI, G. A.; POLETO, C. Experimental Studies of Green Roof Systems as part of Sustainable Urban Watershed in order to minimize the problems of flooding. **Anais: XII International Confer. of Urban Drainage (ICUD)**. Porto Alegre, 11-16 set. CD. 2011.

CUNHA, A. O. S. R. Experimento Hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves (CVL). Relatório (Pesquisa Científica), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, São Carlos, 2004. 41p.

GETTER, K. L.; ROWE, D. B. The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. *Hortscience*, 41(5), 2006. p.1276–1285.

IGRA: Green Roof Types. Alemanha: INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION: 1995-2012. Disponível em: <http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/index.php>. Acesso em: 20 nov. 2011.

LAGSTRÖM, J. Do Extensive Green Roofs Reduce Noise? Examination project. Malmö, Suécia: University of Malmö - International Green Roof Institute. 40p. 2004. Disponível em: <<http://www.greenroof.se/data/archive/media/forskarrapporter/010--reduce-noice.pdf>> Acesso em: 30 abr. 2011.

LOUREIRO, C. V.; FARIAS, J. F. Impactos Ambientais Resultantes da Impermeabilização do Solo na Cidade de Fortaleza-CE [artigo científico]. Universidade Federal do Ceará, Curso de Geografia. Fortaleza [2009-2010]. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo11/018.pdf> Acesso em: 23 abr. 2011.

MARTINEZ, F.; MAGNI, N. L. G. Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo. Relatório (Pesquisa Científica) - Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, São Paulo, 1999. 141p.

MINKE, G. Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Uruguai: EcoHabitar, 2005, 86p.

MONTALTO, F.; BEHR, C.; ALFREDO, K.; WOLF, M.; ARYE, M.; WALSH, M. Rapid assessment of the cost-effectiveness of low impact development for CSO control. *Landscape and Urban Planning*, v.82, n.3, p.117-131, 2007. Disponível em: <http://www.nyc.gov/html/planyc2030/downloads/pdf/water_quality_bmp_study.pdf>. Acesso em 13 abr. 2011.



OLIVEIRA, E. W. N.; SILVA, L. P. Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico. 2009. Dissertação (Mestrado em Gestão Sustentável de Recursos Hídricos)-Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2009. 87p. Disponível em: <<http://www.peamb.eng.uerj.br/producao.php?id=205>> Acesso em 1 mai. 2011.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L.G Hydrologic Restoration in the Urban Environment Using Green Roofs. *Water*, v.2, n.2, p.140-154, 2010. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4441/2/2/140>>. Acesso em: 14 mar. 2011.

PIMENTA, C. F. Curso de hidráulica geral. 4.ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois S.A., 482 p. 1981.

PMSP: PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo. 1999. Disponível em: <<http://www.fcth.br/public/cursos/canaismares/md.pdf>>

POË, S.; STOVIN, V.; DUNSIGER, Z. The Impact of Green Roof Configuration on Hydrological Performance. **Anais: XII International Confer. of Urban Drainage (ICUD)**. Porto Alegre, 11-16 set. CD. 2011.

TANZILLO, A. A.; COSTA, G. B. Telhados verdes: uma proposta de dimensionamento para a sustentabilidade em urbanização e drenagem. 2012. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012, 123p.

TOMAZ, P. Telhado Verde. In: TOMAZ, P. Org(s). Best Management Practices. [S.l.]: TOMAZ, P., 2005.

VANWOERT, N.D.D.; ROWE, B., ANDRESEN, J.A., RUGH, C.L.; FERNANDEZ, T.; XIAO, L.. Green Roof Stormwater Retention: Effects of Roof Surface, Slope and Media Depth. *Jour. of Environmental Quality*, n.34, p.1036-1044, 2005. Disponível em: <<http://www.epa.gov/region8/greenroof/pdf/green%20roof.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2011



UNDERGRADUATE RESEARCH FOR SOCIAL RESPONSIBILITY: ENVIRONMENTAL EDUCATION THROUGH THE INTRODUCTION OF GREEN ROOFS FOR SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE

Abstract: *On the current days, there is a increasing adoption of green roofs such as to promote more sustainable urban rainwater control, aiming at flood peak dampening through runoff storage. The paper reports results from a graduate research project embedded on the School's research line on Environmental Education, and provides an initial, comprehensive literature review such as to report the most common green roof design techniques. A practical method is proposed for green roof sizing, on a mathematical basis, and its main aspects are summarized here. It adopts a design storm supported by the local storm equation, and the physical characteristics projected for the future roof, and it finally yields the thickness of the permeable layer needed for the required design storage (only geometric characteristic initially unknown). A fundamental hypothesis upon which the method is conceived is that all the infiltrated rain may be entirely retained within this permeable layer, and the discharge of stored water starts only when that stops. A realistic case study based on hypothetical data describing a storm event, the roof area and its layers, demonstrates the roof efficiency such as to attenuate flow peak at its outlet. Finally, a tentative, public-directed leaflet is proposed to encourage citizens to install a green roof, highlighting its advantages – representing an example of student-society interaction to promote environmental education.*

Key-words: *drainage revitalization, green roof, urban hydrology, sustainable urban development*