



ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM PROTÓTIPO DE TELhado VERDE EXTENSIVO

Luane de Almeida Pinto^{1}; Joecila Santos da Silva², Stéphane Calmant³*

Resumo – O aumento da densidade habitacional de Manaus nos últimos anos, aliado à ausência de um plano de manejo eficaz de águas pluviais, tem gerado volumes de escoamento cada vez maiores. Diante da necessidade de sistemas de retenção na fonte para minimizar os volumes escoados, o telhado verde tem sido usado como possível técnica de controle quantitativo de águas pluviais. Este artigo objetiva demonstrar experimentalmente o comportamento de um protótipo de telhado verde em relação à retenção de água pluviais em eventos reais de chuva na região Centro-Oeste de Manaus. De março a maio de 2015, 34 eventos de chuva foram estudados e o protótipo de telhado verde reduziu em 20% o volume escoado no período, em relação ao protótipo de laje convencional. Concomitantemente ao experimento, os eventos foram simulados através do software GreenRoof, chegando a valores de eficiência de 22%. Tanto os resultados de medição diária, quanto os resultados da simulação no software, indicaram que a umidade antecedente do solo é fator preponderante na eficiência do sistema.

Palavras-chave – Telhado verde. Drenagem urbana. Gestão de recursos hídricos.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF WATER RETENTION PLUVIAL EXTENSIVE GREEN ROOF OF PROTOTYPE

Abstract – Population has increased rapidly in recent decades of Manaus and the lack of an effective stormwater management plan has generated increasing volumes of flow. Given the need for restraints at source to minimize the volumes disposed, the green roof has been used as possible quantitative control technique of rainwater. The aim of the present experimental study was to demonstrate the behavior of a green roof prototype in relation to the retention of stormwater into actual rain events in the Midwest region of Manaus. From March to May 2015, 34 rainfall events were studied and the green roof prototype reduced by 20% the volume disposed of during the period, compared to conventional slab prototype. Concurrent with the experiment, the events were simulated by software GreenRoof reaching 22% efficiency values. Both the results of daily measurement and the simulation results in the software indicated that the antecedent soil moisture is a important factor in system efficiency.

Keywords – Green roof, Urban drainage, Stormwater management.

INTRODUÇÃO

Segundo dados do IBGE (2010), enquanto o Brasil teve aumento populacional de aproximadamente 30% entre 1991 e 2010, Manaus quase duplicou sua população. Para Nogueira *et al* (2007), a trajetória de evolução da urbanização da cidade nos últimos 20 anos tem sido o grande desafio no processo de crescimento x preservação ambiental. O avanço desordenado da cidade provocou danos ao meio ambiente sem precedentes, como a destruição de nascentes, maior

¹ Universidade do Estado do Amazonas, luane.ap@live.com

² Universidade do Estado do Amazonas, jsdsilva@uea.edu.br

³ Institut de Recherche pour le Développement, stephane.calmant@ird.fr



vulnerabilidade a problemas de erosão, alagamentos e aumento de temperatura ocasionado pelo desaparecimento de espécies vegetais que têm como função proteger o solo das agressões do sol e da chuva.

Áreas que antes possuíam vasta vegetação, recebendo e drenando parte da carga pluvial que coletavam, estão agora impermeabilizadas. Botelho (2011) afirma que esses fenômenos são agravados com a impermeabilização da área. As vazões pluviais que ocorrerão a partir da retirada da vegetação, ganharão mais volume, pois antes parte dela infiltrava no solo e agora, com a impermeabilização, a maior parte das águas corre pela superfície.

Para Pompêo (2000), as enchentes são fenômenos naturais que acontecem periodicamente nos cursos d'água em decorrência de chuvas de magnitude elevada. Em áreas urbanas, podem ser decorrentes destas chuvas intensas de longo período de retorno; ou devidas a transbordamentos de cursos d'água provocados por modificações no equilíbrio no ciclo hidrológico em regiões a montante das áreas urbanas; ou ainda, devidas à própria urbanização. Segundo dados do IBGE (2013), entre 2008 e 2012, as enchentes atingiram cerca de 1.543 municípios no Brasil. Isso equivale a 27,7% das cidades do país, o que resultou em registros de 8.942 ocorrências, que deixaram 1,4 milhão de pessoas desabrigadas ou desalojadas.

Segundo Canholi (2005), tanto no Brasil como em outros países, a drenagem urbana das grandes metrópoles foi abordada de maneira acessória, no contexto do parcelamento do solo para usos urbanos. Na maior parte dessas grandes metrópoles, o crescimento das áreas urbanizadas processou-se de forma acelerada e somente em algumas a drenagem urbana foi considerada fator preponderante no planejamento da sua expansão.

Objetivando mitigar os impactos negativos da impermeabilização das superfícies nas áreas urbanas, pode-se aplicar algumas estratégias, como o uso de estruturas conhecidas internacionalmente como Melhores Práticas de Gestão (BMP - *Best Management Practices*) ou Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID - *Low Impact Development*). Nessas estruturas, são introduzidas técnicas alternativas para o controle do escoamento pluvial junto à fonte onde é gerado, buscando a minimização (ou mesmo a eliminação) dos volumes e vazões que escoam superficialmente a valores próximos àqueles que ocorriam no estágio anterior à impermeabilização do solo (EPA, 2003).

A ideia de reter a água da chuva por mais tempo nas residências e edificações comerciais já está sendo implantada com medidas de armazenamento de águas pluviais conforme legislação específica de algumas cidades. O Município de Manaus, através do artigo nº 17 da Lei 9.192 (2007) tornou obrigatória a implantação de reservatórios que retardem o escoamento de águas pluviais para rede de drenagem para novos empreendimentos com área impermeabilizada superior a quinhentos metros quadrados. O Manual de Drenagem de Porto Alegre (2005) propõe o controle na fonte do escoamento pluvial, através do uso de dispositivos que amortecem a velocidade do escoamento das áreas impermeabilizadas e/ou recupere a capacidade de infiltração, por meio de dispositivos permeáveis ou pela drenagem em áreas de infiltração.

Nesse contexto, Minke (2004) afirma que a utilização do sistema de coberturas verdes sobre edificações pode ser eficiente para retardo no escoamento de águas da chuva. Para Ohnuma Júnior (2008), os telhados verdes, ecotelhados, ou ainda biocoberturas, compreendem estruturas de laje, geralmente em concreto armado, capazes de suportar, além do seu peso próprio, uma determinada camada de substrato com vegetação e uma parcela da água de chuva que cai e escoar por ele. Segundo Lopes (2007), as coberturas verdes são diferenciadas, principalmente, pela espessura total do seu sistema construtivo. Assim, as coberturas verdes extensivas caracterizam-se por uma estreita espessura de substrato, plantio de vegetações rasteiras (pequeno porte) e baixa manutenção periódica.

Já as coberturas verdes intensivas têm uma maior espessura do substrato, possibilitam a sustentação de espécies de plantas que vão de gramíneas a árvores e necessitam de um sistema de irrigação e manutenções periódicas.

Nesse contexto, o presente estudo objetiva demonstrar experimentalmente o comportamento de um protótipo de telhado verde em relação à retenção de água pluviais em eventos reais de chuva na região Centro-Oeste da cidade de Manaus, parte integrante do Trabalho de Conclusão de Curso do primeiro autor.

MATERIAL E MÉTODO

O estudo iniciou com pesquisa em literatura específica do tema escolhido, incluindo pesquisa de teses, dissertações, livros e artigos científicos voltados para o tema da gestão de recursos hídricos, drenagem urbana e telhado verde. A pesquisa se desenvolveu na região Centro-Oeste do município de Manaus, no estado do Amazonas.

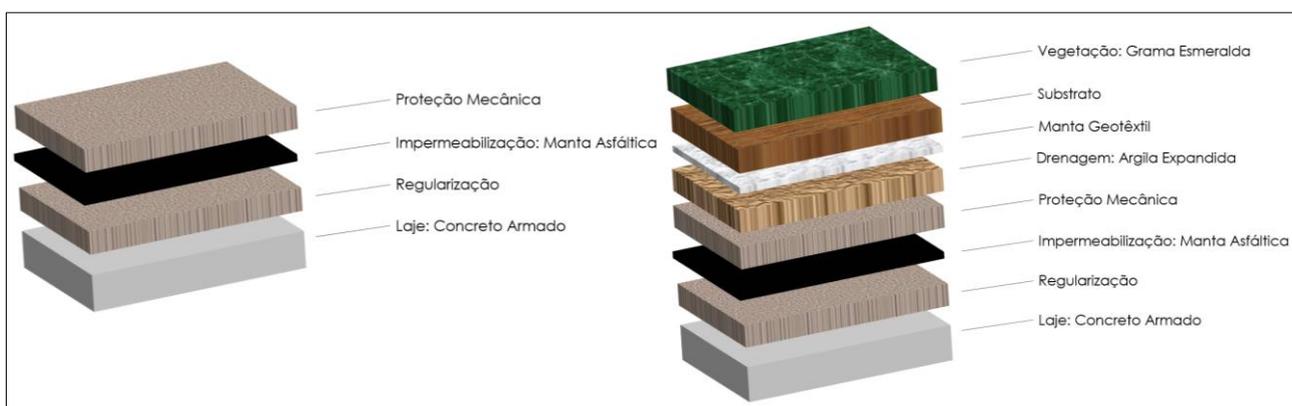


Figura 1: Desenho esquemático dos protótipos

Com o intuito de demonstrar experimentalmente o comportamento de um telhado verde em relação à retenção de águas pluviais, foram criados dois protótipos (Figura 1) com 1 m² em planta. Os protótipos foram edificados em laje com vigotas pré-fabricadas de concreto armado, receberam impermeabilização com manta asfáltica de 4 mm e proteção mecânica em argamassa com traço 1:4 (cimento e areia). Para facilitar a disposição dos dados, o protótipo de laje convencional impermeabilizada foi chamado de Protótipo 01, enquanto o que recebeu o sistema de telhado verde foi chamado de Protótipo 02. Este último recebeu, sobre a proteção mecânica, uma camada de drenagem composta por 4 cm de argila expandida, coberta por manta geotêxtil RT-10. A seguir, 4 cm de substrato foram inseridos e, sobre o mesmo, grama esmeralda em placas. Ambos foram revestidos por uma pele de vidro de 4 mm de espessura para melhor visualização do sistema.

Dois reservatórios com capacidade para 100 L e seus respectivos registros para saída de água foram instalados abaixo dos protótipos. Para definição do volume do reservatório, analisou-se o histórico de chuvas intensas da cidade de Manaus (BDMEP, 2015) dos últimos 20 anos, levando em consideração a precipitação máxima acumulada em 12 h, uma vez que esse foi o intervalo máximo entre coletas.

Um pluviômetro convencional de baixo custo confeccionado conforme proposto por Assunção e Assis (1997) foi disposto entre os protótipos para validação de dados pluviométricos. O modelo conta com área de captação de 176,7 cm² e capacidade de armazenamento de precipitação de até 100,16 mm (Figura 2).



Figura 2 – Da esquerda para direita: Protótipo 01, pluviômetro convencional e Protótipo 02.

A água armazenada nos reservatórios e no pluviômetro foi coletada e medida nos horários de 12:00h, 18:00h e 00:00h UTC³ (equivalentes aos horários de 8:00h, 14:00h e 20:00h na hora local de Manaus), totalizando três coletas diárias, conforme coletas manuais do INMET⁴. De março a maio, 34 eventos de chuva foram estudados.

Com base nos volumes armazenados em cada reservatório, foi possível avaliar a eficiência (E) na retenção de águas pluviais do Protótipo 02 em relação ao Protótipo 01 ante as precipitações observadas (Equação 1).

$$E = 1 - \frac{\text{Volume Escorado no Protótipo 02}}{\text{Volume Escorado no Protótipo 01}} \quad (1)$$

Sendo E adimensional e expresso em porcentagem.

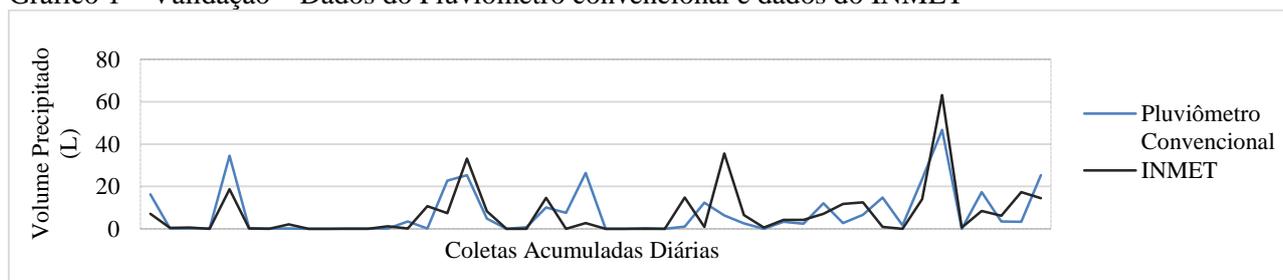
Os volumes coletados no pluviômetro convencional foram comparados aos volumes coletados pelo INMET para validação de dados. Os valores de precipitação e evaporação fornecidos pela estação meteorológica do órgão supracitado foram inseridos no software GreenRoof para simulação do comportamento do sistema na retenção de águas pluviais.

RESULTADOS

Validação de Dados

Os dados coletados através do pluviômetro convencional foram comparados aos dados de precipitação acumulada diária coletados de forma manual pelo INMET para validação de dados.

Gráfico 1 – Validação – Dados do Pluviômetro convencional e dados do INMET



³ UTC - Universal Time Coordinated ou TUC - Tempo Universal Coordenado (português).

⁴ INMET - Instituto Nacional de Meteorologia - 1º DISME/AM 1º Distrito de Meteorologia/AM.



A distância entre o local do experimento e o posto de coleta do INMET é de aproximadamente 9 quilômetros, ocasionando uma certa variação entre os dados analisados. A variação acumulada no período foi de aproximadamente 8mm. Diante da intensa variabilidade espacial da cidade de Manaus estudada por Barbosa e Oliveira (2012), os dados foram considerados válidos.

Eficiência dos protótipos

Proposta por Tassi *et al* (2014), uma das hipóteses acerca da eficiência observada no telhado verde está relacionada à umidade presente no substrato resultante de eventos anteriores de chuva. A umidade antecedente do solo pode ser analisada por meio do parâmetro Umidade Antecedente do Solo (ARC – *Antecedent Rainfall Condition*) que varia de I a III de acordo com a Precipitação Antecedente Total (TAR – *Total Antecedent Rainfall*) que corresponde ao volume precipitado acumulado nos 5 dias anteriores. Sendo ARC I para umidade antecedente de 0 a 18 mm; ARC II para valores de 18 a 28 mm e ARC III para valores superiores a 28 mm, conforme SCS (1997).

Os eventos de chuva observados durante o período estudado foram dispostos em ordem cronológica (Tabela 1) e seus respectivos parâmetros ARC e valores TAR foram identificados.

Tabela 1 – Eventos de chuva, a relação entre ARC e eficiência calculada.

Evento	ARC	TAR (mm)	Data	Protótipo 01 (mm)	Protótipo 02 (mm)	Eficiência
1	III	>28*	28/03/2015	16,270	15,450	5%
2	III	>28*	31/03/2015	34,570	28,330	18%
3	I	0,3	09/04/2015	3,390	0,290	91%
4	I	3,7	12/04/2015	22,100	19,150	13%
5	II	25,8	12/04/2015	23,710	22,910	3%
6	III	49,4	13/04/2015	4,440	3,950	11%
7	III	50,4	15/04/2015	1,635	0,050	97%
8	III	51,9	16/04/2015	7,820	4,070	48%
9	III	59,7	17/04/2015	5,990	4,640	23%
10	II	19,9	18/04/2015	27,500	24,460	11%
11	I	0,1	24/04/2015	9,820	3,860	61%
12	I	9,9	25/04/2015	9,705	5,830	40%
13	II	19,6	26/04/2015	1,175	0,070	94%
14	II	20,9	29/04/2015	8,950	2,990	67%
15	II	19,9	29/04/2015	0,465	0,170	63%
16	I	10,6	01/05/2015	15,130	12,070	20%
17	II	24,6	02/05/2015	4,675	2,160	54%
18	III	29,2	03/05/2015	15,280	13,720	10%
19	III	35,1	04/05/2015	1,300	0,500	62%
20	III	36,4	05/05/2015	1,500	0,560	63%
21	III	37,9	06/05/2015	70,050	68,170	3%
22	III	88,2	08/05/2015	6,280	2,400	62%
23	III	79,3	09/05/2015	13,350	11,020	17%
24	III	91,3	10/05/2015	3,950	3,680	7%
25	III	93,8	11/05/2015	24,710	24,610	0%
26	III	28,7	14/05/2015	0,950	0,000	100%



Evento	Faixa ARC	Umidade (%)	Data	Volume Precipitado (mm)	Volume Retido (mm)	Eficiência (%)
27	II	27,4	16/05/2015	0,810	0,000	100%
28	I	3,5	19/05/2015	41,250	29,830	28%
29	III	42,1	20/05/2015	12,500	10,350	17%
30	III	53,8	22/05/2015	9,030	1,500	83%
31	III	62,8	23/05/2015	16,960	15,460	9%
32	III	38,5	24/05/2015	2,360	0,440	81%
33	III	28,4	26/05/2015	12,110	9,160	24%
34	III	39,8	27/05/2015	11,450	9,900	14%

*Solo foi umedecido até saturação no dia 27/03/2015.

Observa-se que os 34 eventos acima elencados denotam uma variação de eficiência expressiva. Houve uma tendência à redução da eficiência em eventos de chuva de grande volume precipitado e nas maiores faixas ARC (II e III), onde a umidade do solo é maior, a exemplo dos eventos 1, 5, 21 e 25. Enquanto a menor faixa ARC (I), caracterizada pela umidade do solo reduzida, teve uma maior frequência de altas eficiências, especialmente quando associada a eventos de chuva de menor porte.

Os valores de eficiência foram avaliados de acordo com sua faixa de ARC, os respectivos valores acumulados de eficiência, máximos e mínimos foram identificados (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de eficiência.

ARC	III	II	I
Menor Valor	0%	3%	13%
Eficiência Acumulada no período	16%	21%	30%
Maior Valor	100%	100%	100%

A partir da análise dos dados dispostos da Tabela 2, observa-se uma relação inversamente proporcional entre a eficiência acumulada no período e os valores ARC. Depreende-se, a partir daí, que a eficiência do sistema na retenção de águas pluviais está relacionada à umidade antecedente do solo, através da identificação do parâmetro ARC.

A ausência de um *datalogger* instalado junto ao experimento impossibilitou uma análise mais profunda acerca da eficiência no retardo do escoamento. Entretanto, os dados relacionados aos eventos de número 12, 16 e 30 foram coletados com um intervalo inferior ao padrão, possibilitando a avaliação do desempenho do sistema em relação ao retardo do escoamento e diminuição do pico de vazão.

Gráfico 2: Evento nº 12.

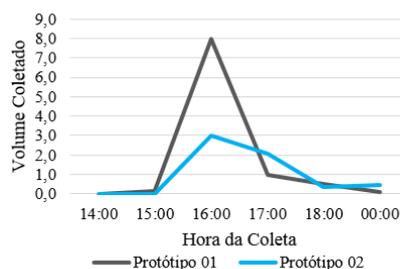


Gráfico 3: Evento nº 16.

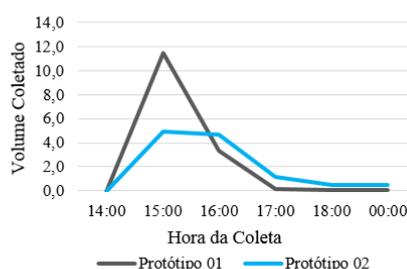
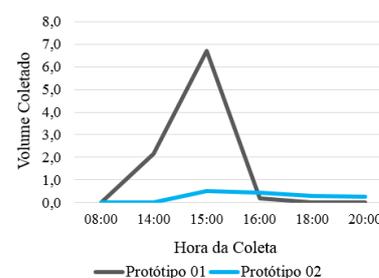


Gráfico 4: Evento nº 30.





Software GreenRoof

O software GreenRoof mensura o balanço hídrico de dois telhados submetidos aos mesmo eventos climáticos. A quantidade de água retida (absorvida e evaporada) e escoada pelos telhados é calculada em uma base de dados diária para um período de simulação dada pelo usuário. A água da chuva retida no telhado é considerada removida por evapotranspiração quando as condições meteorológicas são favoráveis. Os dados de entrada consistem em arquivos contendo as condições climáticas (evaporação e precipitação) para a localização e as características para o telhado estudado além de especificações a respeito dos materiais e espessuras que compõem cada telhado a ser comparado.

A composição de cada protótipo foi descrita e após entrada de dados meteorológicos fornecidos pelo INMET, a eficiência calculada através da simulação do telhado verde foi de 22% enquanto o de telhado impermeabilizado convencional foi de 2%. Sendo a evapotranspiração e a umidade antecedente do solo, fatores preponderantes na eficiência do sistema de telhado verde.

DISCUSSÃO

Estudos prévios indicam que o sistema de telhado verde pode reduzir o volume escoado em eventos de chuva. Bliss *et al.* (2009) monitoraram o escoamento em dois protótipos – sendo um de laje convencional e outro de telhado verde extensivo – em Pittsburgh, Pensilvânia, onde o protótipo de telhado verde obteve redução no volume escoado de até 70%. Vijayaraghavan e Raja (2015) através do uso de protótipos submetidos a eventos de chuva simulados concluíram que houve uma diminuição média de 58,5% no volume escoado. No Brasil, Baldessar (2012) verificou uma diminuição no escoamento na ordem de 31% em protótipos de 1 metro quadrado e 5 centímetros de substrato instalados na cidade de Curitiba. Tassi *et al.* (2014) após monitoramento de protótipos com 8 centímetros de substrato em Porto Alegre, verificaram uma redução, em média, de 62%. Considerando a espessura de apenas 4 centímetros do protótipo analisado no presente trabalho e o período de alto índice pluviométrico estudado, a eficiência acumulada de 20% pode ser considerada significativa.

CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou os resultados de um experimento com o uso de protótipos para estudo do comportamento de um telhado verde submetido a eventos de chuvas na região Centro-Oeste de Manaus de 28 de março a 28 de maio de 2015. No período, o protótipo de telhado verde deixou de escoar 20% do volume precipitado em relação a um protótipo de laje impermeabilizada. Aplicando-se o valor calculado a uma residência com 70 m² de cobertura impermeável, o sistema de telhado verde seria capaz de reter pouco menos de 6 mil litros de água em apenas dois meses.

Através da coleta de dados e análise dos resultados, comprovou-se que o telhado verde, reduz a água de chuva direcionada à rede de drenagem em função do armazenamento e evapotranspiração. A utilização do software mostrou-se válida após confronto com dados coletados e pode ser uma ferramenta útil para estudos futuros na cidade de Manaus.

A necessidade de sistemas que reduzam os efeitos nocivos da ocupação desordenada dos centros urbanos é real, necessitando de investigação e vasta pesquisa. O presente trabalho servirá de referência para a difusão das vantagens do sistema construtivo conhecido como telhado verde na cidade de Manaus.



REFERÊNCIAS

- BALDESSAR, S. M. N. (2012). Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. PPGECC/UFPR – Curitiba – PR. 124p.
- BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA. (2015). Histórico de precipitações intensas – Manaus/AM. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 01/03/2015.
- BARBOSA, R. G.; OLIVEIRA, M. B. L. (2012). Variabilidade Espacial da Precipitação em Manaus. In *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Gramado, Set. 2012.
- BOTELHO, M. H. C. (2011). Águas de Chuva. Engenharia das águas pluviais nas cidades. Editora Blucher. São Paulo, 300 p.
- BLISS, D. J.; NEUFELD, R. D.; RIES, R. J. (2009). Storm Water Runoff Mitigation Using a Green Roof. *Environmental Engineering Science*. Volume 26, pp. 407-417.
- CANHOLI, A. P. (2005). Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo - Oficina de textos, 302 p.
- DIÁRIO OFICIAL DO MUNICÍPIO DE MANAUS. (2007). Lei nº 1.192, de 31 de dezembro de 2007. Cria o Programa de tratamento e uso racional de águas nas edificações, pp. 6-8.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2009). Green Roofs for Stormwater Runoff Control. 81p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010). Censo Demográfico 2010. Disponível em:< <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02/02/2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2013). Perfil dos Municípios Brasileiros. Disponível em:< <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02/02/2015.
- INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS. (2005). Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Volume VI.
- LOPES, D. A. R. Análise do comportamento térmico de uma cobertura leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura. EESC/USP. São Carlos – SP. 145 p.
- MINKE, G. (2004). Techos Verdes - Planificación, ejecución, consejos prácticos. Editora Fin del Siglo: Montevideo, Uruguay. 86 p.
- NOGUEIRA, A. C. F.; SANSON, F.; PESSOA K. (2007). A expansão urbana e demográfica da cidade de Manaus e seus impactos ambientais. Florianópolis. In *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5427-5434.
- OHNUMA JÚNIOR, A. A. (2008). Medidas não-convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares. EESC/USP. São Carlos – SP. 331p.
- POMPÊO, C. A. (2000). Drenagem Urbana Sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos / Associação Brasileira de Recursos Hídricos*, volume 5, no. 1, pp. 15 – 23.
- RAES, D.; TIMMERMAN, A.; HERMY, M.; MENTENS, J. (2006). GreenRoof – water balance model. K.U. Leuven University, Faculty of Bioscience Engineering, Division of Soil and Water Management, Leuven, Belgium.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. (1997). Hydrology Tools for Wetland Determination. *Engineering Field handbook*. Chapter 19. 63p.
- TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. (2014). Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão de águas pluviais. *Ambiente Construído* v. 14, n.1, p. 139-154.
- VIJAYARAGHAVAN, K.; RAJA, F. D. (2015). Pilot-scale evaluation of green roofs with Sargassum biomass as an additive to improve runoff quality. *Ecological Engineering* 75, pp.70 – 78.