

## IX-021 - APLICAÇÃO DE TETO JARDIM RESIDENCIAL NA REDUÇÃO DE ALAGAMENTO URBANO

### **Raquel da Silva Pinto<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade São Francisco (USF).

### **Camila de Fátima Lustosa<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade São Francisco (USF).

### **Gabriele Sabbadine<sup>(3)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade São Francisco (USF).

### **André Augusto Gutierrez Fernandes Beati<sup>(4)</sup>**

Químico pela Universidade São Francisco, Mestre e Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Pós-Doutoramento pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQSC-USP).

### **Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena<sup>(5)</sup>**

Geógrafo pela Fundação Municipal de Ensino Superior de Bragança Paulista (FESB), Pós-Graduado em Metodologia e Didática do Ensino Superior pela Universidade Adventista de São Paulo, Pós-Graduado em Psicopedagogia pela Universidade Metropolitana de Santos e Mestrando em Educação pela Universidade São Francisco (USF).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Estrada Municipal João Buoso, Sítio São José, s/n – Bragança Paulista – SP – CEP: 12915:502 Brasil – Tel: (11) 4035-6732 – e-mail: [raquelsilp@hotmail.com](mailto:raquelsilp@hotmail.com).

### **RESUMO**

Em decorrência da urbanização desenfreada, impermeabilização do solo e sistema inadequado e/ou ineficiente de drenagem urbana os alagamentos tornaram-se comuns em meios urbanos, causando prejuízos materiais, transtornos emocionais e doenças relacionadas à falta de saneamento básico. Na busca pela minimização ou eliminação deste tipo de ocorrência, este trabalho apresenta a técnica de teto jardim como alternativa em prol da diminuição das vazões de águas pluviais em via urbana, minimizando a ocorrência de alagamentos. Foi realizada a construção de dois módulos experimentais, um de teto jardim e outro de telhado tradicional, ambos com 9,881m<sup>2</sup>, localizados em área não afetada por alagamento para coleta de dados bem como foram realizados ensaios em laboratório com o solo utilizado para verificação do seu grau de absorção e de escoamento, verificando sua eficiência no teto. Através destes estudos, foi possível analisar o comportamento do teto jardim quando submetido a índices pluviométricos de fraca e média intensidade. Realizou-se, ademais, a transferência dos dados reais obtidos através da comparação entre os dois módulos experimentais, juntamente com os ensaios em laboratório, a um estudo de caso dirigido em uma área de 39.420,50 m<sup>2</sup>, onde 4.353,41 m<sup>2</sup> foram atingidos por alagamento no município de Bragança Paulista. Analisando a eficiência constatada no módulo experimental e aplicando ao estudo de caso, conclui-se que a eficiência do teto jardim na redução da vazão de águas pluviais na área de estudo seria de 37%, ou seja, o teto jardim mostra-se como uma alternativa para esta problemática que pode ser minimizada através desta prática considerada simples se comparada a obras de drenagem urbana.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teto Jardim, Alagamento, Água Pluvial, Urbano.

### **INTRODUÇÃO**

As precipitações pluviométricas de grande intensidade ocorridas em áreas urbanas com impermeabilização irregular do solo auxiliam na ocorrência de alagamentos. Segundo informação do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (2013), entre 1991 a 2001 a média de ocorrências de alagamento era de 4,5 eventos/ano. De 2002 a 2012, essa média passou a ser de 42 eventos/ano. Tal aumento deve-se, possivelmente, aos sistemas de drenagem urbano ineficientes frente ao crescimento populacional.

A cada situação de alagamento pessoas são atingidas direta e/ou indiretamente. Diretamente por conta de perda de bens materiais e, em alguns casos, infelizmente, perda humana. Indiretamente devido à obstrução de ruas, tráfego lento, escolas fechadas, entre outros.

Em função desses acontecimentos faz-se necessária a aplicação de técnicas alternativas a fim de minimizar os impactos ambientais e, principalmente, sociais causados pelo alagamento. Espera-se que as técnicas alternativas sejam viáveis economicamente e que apresentem resultados rápidos. Desta forma a técnica de aplicação de teto jardim apresenta-se como uma solução.

O Teto Jardim é uma técnica que envolve a aplicação de uma cobertura composta por: vegetação; camada de solo, onde a água é retida e escorada; camada de drenagem; camada impermeabilizante, voltada à mitigação de infiltrações; e camada estrutural sobre a residência, substituindo o telhado convencional.

Essa técnica busca minimizar os efeitos da urbanização antes que a água atinja a rede de drenagem.

Com isso, este trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade de implantação do teto jardim, analisando o desempenho da técnica, contribuindo para a minimização de alagamento.

## **METODOLOGIA**

Com base nas notícias divulgadas pelos jornais do município de Bragança Paulista foram identificadas e analisadas as áreas com registro de alagamento.

Após esta análise e confirmação da necessidade de se intervir na problemática de alagamento no município, passamos a realizar pesquisas bibliográficas recentes e antigas no que diz respeito à instalação de teto jardim, bem como seus benefícios.

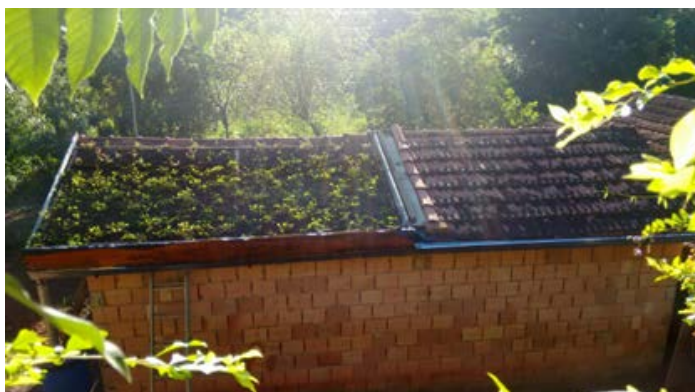
Para analisar efetivamente a contribuição do teto jardim em prol da mitigação de alagamentos, realizamos a construção de dois módulos experimentais: um módulo de teto jardim e um módulo de telhado tradicional. Estes módulos foram aplicados em uma residência desabitada.

Com os módulos montados e prontos para análise, iniciamos a coleta de dados após cada precipitação pluviométrica. Esta coleta de dados se estendeu por cinco meses.

Como os módulos experimentais não foram aplicados em área de alagamento realizamos um estudo de caso migrando as informações obtidas dos módulos para uma área de alagamento realizando adequações para chegarmos à situação mais real possível.

## **APLICAÇÃO DOS MÓDULOS EXPERIMENTAIS**

Para obtenção de dados, aplicamos como metodologia de pesquisa a instalação de dois dispositivos experimentais de controle de águas pluviais no telhado de uma residência não habitada com ângulo de 28°, utilizando dois cômodos com uma área de 9.881m<sup>2</sup> (Figura 1)



**Figura 1: Módulos experimentais**

Destacamos a aplicação do teto jardim em um telhado de 28° a fim de demonstrar sua eficiência em telhados de residências populares já construídas onde, em geral, a angulação do telhado se imita 28°, sem a necessidade de reforma para receberem a cobertura vegetal.

Esta residência está localizada no bairro Boa Vista dos Silva, coordenadas 23°00'00.8"S 46°29'17.1"W, área rural do município de Bragança Paulista.

Nos dois módulos foram instaladas calhas que levavam a água precipitada até uma caixa d'água instalada logo abaixo dos módulos.

Um pluviômetro manual também foi instalado no local a fim de verificarmos o índice pluviométrico após cada precipitação.

## RESULTADOS

Para constatar a eficiência do teto jardim comparado com um teto tradicional, foram realizadas medições de vazão manuais após cada precipitação pluviométrica contabilizando sua duração, intensidade e situação do teto jardim: seco ou molhado.

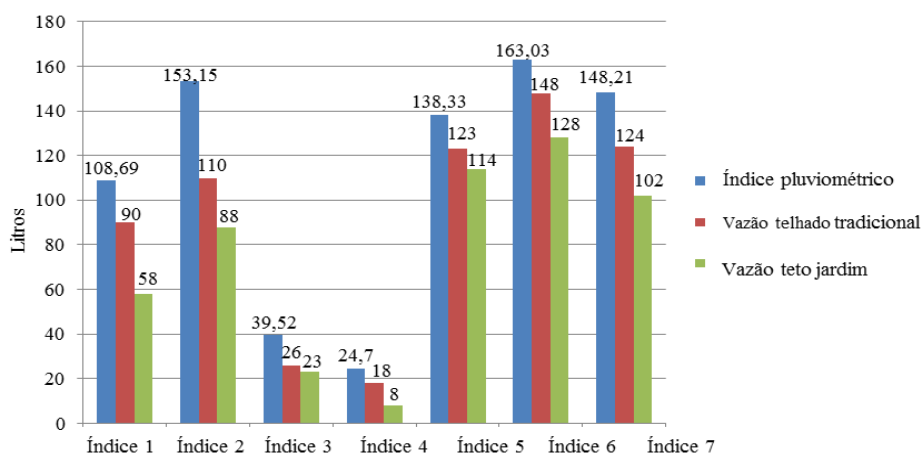
Ao final de cada precipitação mediamos o volume armazenado nas caixas d'água do teto jardim e do teto tradicional, bem como o volume contabilizado no pluviômetro manual.

Após cada precipitação pluviométrica, os dados eram inseridos na planilha de coleta de dados para comparações (Tabela 1)

**Tabela 1: Coleta de dados após cada precipitação pluviométrica**

Data	Índice pluviométrico (L)	Tempo de precipitação (h)	Intensidade	Situação do teto jardim	Vazão telhado tradicional (L)	Vazão teto jardim (L)	Acumulado teto jardim (L)
25/03/2016	108,69	00:20	Média	Molhado	90	58	50,69
18/05/2016	153,15	00:31	Média	Seco	110	88	65,15
31/05/2016	39,52	07:00	Fraca	Seco	26	23	16,52
01/06/2016	24,7	10:00	Fraca	Molhado	18	8	16,7
03/06/2016	138,33	10:00	Média	Molhado	123	114	24,33
04/06/2016	163,03	01:00	Média	Molhado	148	128	35,03
31/08/2016	148,21	07:45	Fraca	Seco	124	102	46,21
Média	110,8	05:13	Média	Molhado	91,28	74,42	36,37

É possível verificar a eficiência do teto jardim quando comparado ao índice pluviométrico da vazão obtida no telhado tradicional, conforme o Figura 2:



**Figura 2: Dados obtidos após cada índice pluviométrico**

Com isso, é possível comprovar a eficiência de retenção de água do teto jardim. Em todas as coletas de dados, ele atendeu às expectativas de minimização do volume de água escoada, ou seja, se o mesmo estivesse instalado em área urbana, o volume de água que seria direcionado para via pública ou para drenagem de água pluvial seria minimizado significativamente.

Em porcentagem, pode-se dizer que, neste estudo, o teto jardim reteve a média de 37% da água pluvial que nele se depositou, e sua vazão foi 15% menor se comparado ao telhado tradicional.

Foi possível verificar uma diferença de absorção entre o teto jardim seco e o teto jardim molhado. Utilizando os valores obtidos em 18/05/2016 e 04/06/2016, onde os índices pluviométricos foram correlativos, é possível perceber essa diferença (Tabela 2).

**Tabela 2: Comparação teto jardim seco e teto jardim molhado**

Data	Índice pluviométrico (L)	Situação do Telhado	Intensidade da chuva	Vazão teto tradicional	Vazão teto jardim	Retenção teto jardim
18/05/2016	153,16	seco	média	71%	57%	42%
04/06/2016	163,04	molhado	média	90%	78%	21%

Nestes dois casos, evidencia-se a eficiência de absorção quando o teto jardim está seco e quando ele está molhado.

Com isso realizamos ensaio de escoamento no solo utilizado para verificar sua eficiência quanto ao tempo de escoamento de água.

## **ENSAIO DE ESCOAMENTO**

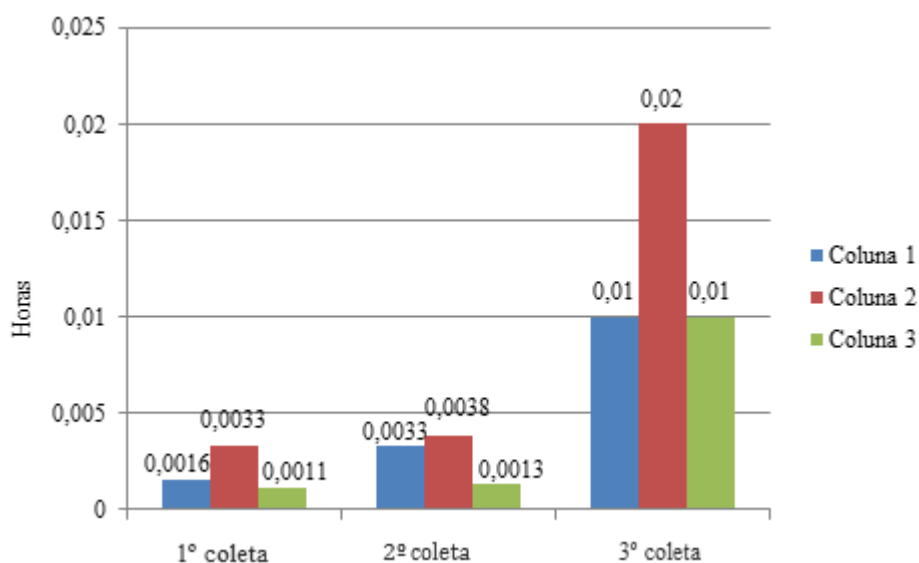
Para aplicação do teto jardim utilizamos solo composto retirados de uma mata. Junto ao solo tinham: raízes, folhas e galhos que se degradaram junto ao solo. Foram ainda acrescentando esterco de cavalo.

O ensaio de escoamento foi realizado expondo o solo utilizado a duas secagens forçadas: uma secagem a uma temperatura de 120°C a fim de verificar sua eficiência quando exposto ao extremo e uma secagem a 30°C que é a média de temperatura máxima existente no município na estação verão.

Com isso obtivemos 3 amostras de solo para analisar: Coluna 1: solo in natura; Coluna 2: solo com secagem forçada a 30°C; Coluna 3: solo com secagem forçada a 120°C.

Este ensaio foi realizado em dois dias com a finalidade de verificar a eficiência do solo simulando dias seguidos de precipitação pluviométrica.

No primeiro dia submetemos as amostras em dois ensaios. Os resultados obtidos no primeiro ensaio do primeiro dia podem ser apreciados na Figura 3 .



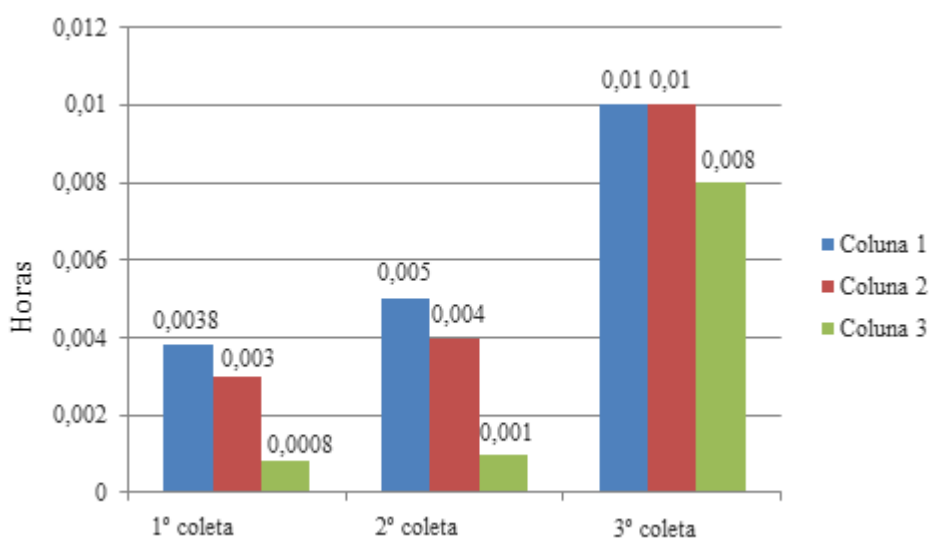
**Figura 3: Resultado do ensaio de tempo de escoamento 1**

Observando o comportamento do solo da coluna 1, sem passar por secagem forçada, percebemos que a absorção da água foi lenta. É possível, entretanto, verificar através do gráfico que seu escoamento foi rápido na primeira coleta de água sem compactação do solo. Já na segunda coleta de água, o escoamento ficou lento, o que nos faz entender que isso se deu devido ao empacotamento do solo existente após a primeira coleta de água.

No solo da coluna 2, com secagem forçada em 30°C por 24 h, a absorção foi mais rápida comparada ao solo da coluna 1, e seu escoamento um pouco mais lento principalmente na coleta dos últimos 30 mL.

O solo depositado na coluna 3, com secagem forçada a 120°C por 3 h, reagiu com uma absorção instantânea e com escoamento mais rápido que as demais colunas.

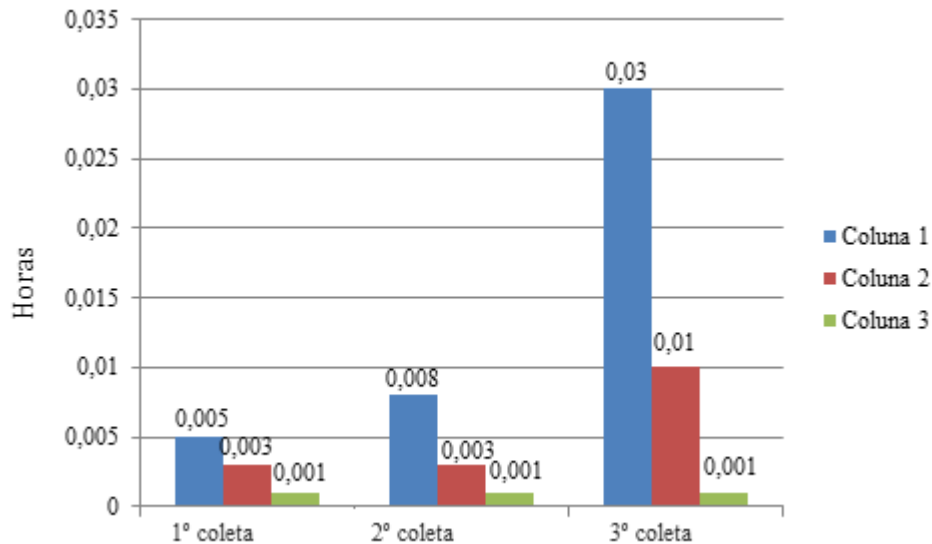
No segundo ensaio do primeiro dia observa-se que o solo das três colunas já estava mais compactado e, conseqüentemente, com um maior volume de água absorvido. Sendo assim, o resultado foi um pouco diferente do primeiro ensaio, conforme demonstrado na Figura 4.



**Figura 4: Resultado do ensaio de tempo de escoamento 2**

Fica visível o aumento no tempo de escoamento ao compararmos com o tempo do escoamento 1, reforçando a hipótese de compactação do solo.

Após um descanso de 24 h sem acrescentar água nas colunas realizamos mais um ensaio conforme Figura 5.



**Figura 5: Resultado do ensaio de tempo de escoamento 3**

Verificamos que após as 24 h de descanso o solo das colunas compactou. Com isso o escoamento da coluna 1 foi mais lento do que os demais, ao contrário dos primeiros testes. Já o solo da coluna 2 teve um escoamento mais rápido, diferente do resultado do primeiro teste. Tal variação demonstra a influência da compactação do solo no escoamento.

Comparando os 3 testes realizados, é possível afirmar que a coluna 1, com solo sem secagem forçada, comportou-se de forma a escoar rapidamente a água nele depositado, o que nos leva a afirmar que o solo utilizado na implantação de um teto jardim deverá ser acomodado úmido, sem estar muito seco.

Após os ensaios de escoamento realizamos o estudo de caso.

## ESTUDO DE CASO

Como não foi possível realizar a implantação do módulo experimental na área de alagamento migramos os valores encontrados para a área em estudo.

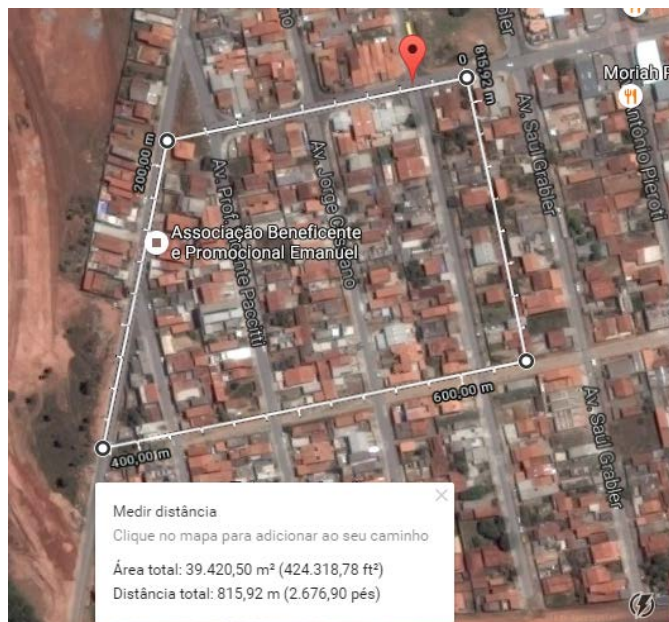
A área escolhida está localizada no bairro Jardim Águas Claras, coordenadas 22°55'20.5"S 46°31'38.0"W localizada a 28,4 km do local onde fora confeccionado o modelo experimental.

As residências do bairro Jardim Águas Claras, mais precisamente as localizadas na Avenida João Alberto Anheret, possuem telhado de, aproximadamente, 70 m<sup>2</sup>. Os terrenos, por sua vez, possuem, em média, 120 m<sup>2</sup>. Para realizarmos comparações de dados, utilizamos a notícia publicada em 30 de dezembro de 2015, no site da Prefeitura de Bragança Paulista: “Na terça, em um período de 24 h, foi registrado um volume de 98 milímetros de chuva, através de um dos pluviômetros existentes no município”. Esta informação refere-se ao dia 23 de dezembro de 2015, terça-feira. Nesta data, o Jardim Águas Claras foi atingido por alagamento, conforme a notícia: “Já no bairro Jardim Águas Claras, a equipe foi acionada, pois algumas casas haviam sido alagadas”.

Sabe-se que o alagamento nesta área ocorreu após pouco mais de 30 min de precipitação pluviométrica de alta intensidade, com um índice pluviométrico de 40 mm, aproximadamente, atingindo nove residências distribuídas em uma área de 4.353,41 m<sup>2</sup>.

O alagamento em questão fez com que o nível da água no interior das residências atingidas ascendesse, aproximadamente, 90 cm de altura.

Para cálculo de vazão, iremos utilizar não apenas a área alagada, mas a área com declive, auxiliando o escoamento da água pluvial para a área alagada, o que representa 39.420,50 m<sup>2</sup>, conforme representado na Figura 6, o que representa um índice pluviométrico de 1.576.820 L.



**Figura 6: Área utilizada para cálculos**

Uma residência padrão no bairro estudado possui, aproximadamente, 12 m de largura, 25 m de comprimento e 2,8 m de altura. Como o alagamento foi de 90 cm, utilizaremos para cálculo a altura de 0,9 m.

Pressupõe-se que para alagar uma residência são necessários 270.000 L de água. Convertendo para as 9 casas alagadas, temos 2.430.000 L de água.

Considerando que o módulo experimental do teto jardim possui 9,881 m<sup>2</sup>, são necessários 7 módulos experimentais para equivaler ao telhado de uma casa padrão. Com isso, se um módulo do teto jardim retém 36,37 L de água, um teto jardim de 70 m<sup>2</sup> irá reter 252 L.

Sendo assim, se a área considerada possui 39.420,50 m<sup>2</sup>, obtemos um total de 328 residências construídas nesta área.

Foram realizados dois cálculos: um representando apenas a área alagada e outro representando a área total de estudo.

Para calcularmos a área alagada com 36 residências que possuem um telhado de 70 m<sup>2</sup>, obtêm-se uma área total equivalente de telhado de 2.520 m<sup>2</sup>. Com isso, a área de terreno, sem telhado, será de 1.833,41 m<sup>2</sup>.

Como o índice pluviométrico foi de 40 mm, em 30 min, consideramos 100,800 L de precipitação pluviométrica apenas na área de telhado. Utilizando o mesmo índice pluviométrico, teremos, na área do terreno, uma precipitação pluviométrica de 73.336,4 L.

Conforme mencionado a média, em porcentagem, de retenção no teto jardim é de 37%; com isso, se todas as residências localizadas na área de alagamento do estudo implantassem tetos jardins, os mesmos reteriam 38.304 L na data em estudo. Considerando essa retenção, seria obtido um escoamento de 62.496 L.

A partir desses resultados, consideramos que a vazão total foi de 135.832,4 L. Considerando o escoamento no telhado, dividido pela área alagada, obtemos valor de 31,2 cm.

Ou seja, de um alagamento de 90 cm de altura, a utilização do teto jardim em todas as residências localizadas na área total iria reduzir 34,6% desse volume.

Já para cálculo da área total com 328 residências obtêm-se uma área total equivalente de telhado de 22.960 m<sup>2</sup>. Com isso, a área de terreno, sem telhado, será de 39.397.540 m<sup>2</sup>.

Como o índice pluviométrico foi de 40 mm, consideramos 1.575.901.600 L de precipitação pluviométrica apenas na área de terreno. Utilizando o mesmo índice pluviométrico, teremos, na área do telhado, uma precipitação pluviométrica de 918.400 L.

Conforme mencionado a média, em porcentagem, de retenção no teto jardim é de 37%; com isso, se todas as residências localizadas na área total do estudo implantassem tetos jardins, os mesmos reteriam 348.992 L na data em estudo. Considerando essa retenção, seria obtido um escoamento de 569.408 L.

A partir desses resultados, consideramos que a vazão total, desconsiderando a retenção no telhado, foi de 1.576.471.008 L. Acumulou-se, portanto, na área alagada o equivalente a 362.123 L.

A partir desses resultados, consideramos que a vazão total foi de 1.576.471.008 L, considerando o escoamento no telhado, dividido pela área alagada, obtendo-se o valor de 40 cm.

Ou seja, de um alagamento de 90 cm de altura, a utilização do teto jardim em todas as residências localizadas na área total iria reduzir 44,45% desse volume.

## **CONCLUSÕES**

Ao verificarmos os efeitos causados por alagamento, suas consequências ambientais, sociais e econômicas, entendemos a necessidade de buscar uma proposta no mínimo mitigadora para a situação. Analisando as possibilidades, identificamos que o teto jardim poderia auxiliar nesta situação.

Tendo definido a proposta de solução, iniciou-se a construção de módulos experimentais. Nesta etapa, concluímos que a montagem de um teto jardim não é tão complexa a ponto de não ser viável devido à mão de obra.

As coletas de dados pluviométricos ocorreram em duas estações do ano: primavera e inverno. Durante a primavera, de 1 de março até 31 de maio, os índices pluviométricos foram considerados normais quando comparados aos outros anos. No mês de junho, entretanto, no qual se predomina o inverno, o índice foi superior aos registrados desde 2010, ficando próximo apenas dos registros de 2012. Mesmo com este alto índice, não ocorreram problemas na estrutura dos módulos experimentais, principalmente no teto jardim, apenas na questão do extravasamento dos coletores de água, conforme descrito anteriormente.

Mesmo analisando o comportamento do módulo experimental e os resultados obtidos no local aplicado, foi realizado ensaio em laboratório a fim de verificar a eficiência do solo utilizado no teto jardim. Ambas as análises comprovaram que o solo utilizado, compostado com esterco de cavalo, comportou-se como esperado: solo leve com nutrientes capazes de suprir a necessidade das plantas, com absorção relativamente alta com escoamento rápido. O ensaio em laboratório contribuiu para obter credibilidade na escolha no solo.

Transferindo os dados obtidos para o local do estudo de caso, verificamos a eficiência do teto jardim em uma situação de alagamento com índice pluviométrico de alta intensidade. Os resultados obtidos com a análise reforçaram o trabalho realizado, mostrando a necessidade de intervenção na situação de alagamento, bem como sendo o teto jardim uma proposta eficaz e sustentável por amenizar os efeitos causados pela urbanização, podendo contribuir com áreas verdes, além de amenizar a problemática da impermeabilização do solo.

O teto jardim é uma proposta sustentável voltada à mitigação dos efeitos causados pela urbanização, podendo contribuir com áreas verdes e minimizar áreas urbanas impermeáveis.



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ARCHDAILY - Site de arquitetura. Clássicos da Arquitetura: VilleRadieuse / Le Corbusier. Disponível em:<http://www.archdaily.com.br/br/787030/classicos-da-arquitetura-ville-radieuse-le-corbusier>. Acesso em 17 jun. 2016
2. CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. São Paulo – SP, 2005.
3. CASTRO, Andréa Souza; GOLDENFUM, Joel Avruch. Uso de telhados verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano. 2008. 6 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (iph/ufrgs), Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2015/03/ESCOAMENTO-SUPERFICIAL-URBANO.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2016.
4. CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ENGENHARIA E DEFESA CIVIL (Florianópolis) (Org.). Atlas Brasileiro de desastres Naturais 1991 a 2012. 2. ed. Florianópolis: Volume Brasil, 2013. 126 p. Disponível em: <[http://150.162.127.14:8080/atlas/Brasil Rev2.pdf](http://150.162.127.14:8080/atlas/Brasil%20Rev2.pdf)>. Acesso em: 02 mar. 2016.
5. MINKE, Gernot. Techos Verdes: planificación, ejecución, consejosprácticos. 2. ed.. Colombia: Merlin, 2010. 87 p.
6. OCORRÊNCIAS NO PERÍODO DE CHUVA. Bragança Paulista, 30 dez. 2016. Disponível em: <<http://braganca.sp.gov.br/v2/nota-oficial-ocorrencias-no-periodo-de-chuvas/>>. Acesso em: 25 set. 2016.