

XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

EFEITOS DO REDIRECIONAMENTO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA UM JARDIM – ESTUDO DE CASO EM UM LOTE URBANO.

Rodrigo Perdigão Gomes Bezerra¹; Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves² & Gustavo César Santiago Ribeiro³

RESUMO – A rápida ocupação dos centros urbanos provoca um aumento da impermeabilização do solo e do volume escoado devido à precipitação, tornando frequente a ocorrência de alagamentos. Para minimizar os problemas relativos as inundações urbanas surgem diversos estudos de soluções o mais próximo possível da origem. No Brasil, diversos mecanismos desse tipo já são aplicados tais como trincheiras de infiltração, telhados verdes e técnicas de biorretenção. Eles são um contraponto às técnicas tradicionais de construção de redes que transferem o problema para jusante. O objetivo desse trabalho é considerar soluções entre as técnicas tradicionais de manejo de águas pluviais e os dispositivos citados anteriormente com alternativas mais próximas da realidade da população. Para isso, é feita uma análise das vazões máximas de um lote com três diferentes configurações de redirecionamento do escoamento. Inicialmente, os dados foram comparados por meio da estatística descritiva de cada etapa, em seguida são elaborados intervalos de confiança e testes de hipótese para verificar os indícios encontrados. Os resultados se mostram promissores, haja vista que há uma queda na vazão máxima significativa.

ABSTRACT– The fast way that the cities were occupied increases the soil sealing and the stormwater runoff volume and generates a lot of floods. Some techniques were created to minimize flood problems by managing water at its source. In Brazil, a lot of these techniques have been applied like infiltration trenches, roof gardens and bioretention. They are different from traditional techniques that build new drainage network to transfer the problem forward. This study objective is to find an alternative technique that can be easily applied by the population. For this purpose, one lot was analyzed by observing the runoff generated in three different conditions. Firstly, the study made a comparison between the data of each condition by descriptive statistics, then confidence interval estimates and testing hypotheses are made to verify the evidence. The results show that less runoff will be generated, if we send stormwater to a garden.

Palavras-Chave – Inundações; redirecionamento do escoamento; vazão de saída.

1) Discente – Eng. Civil, UFAL; Av. Lourival Melo Mota; 57072-970; Maceió; Alagoas; Brasil, (82)996461375, rodrigo.pgb@gmail.com

2) Docente – Centro de Tecnologia; UFAL; Av. Lourival Melo Mota; 57072-970; Maceió; Alagoas; Brasil, (82) 3214 -1301, marllus.neves@gmail.com.

3) Discente – Eng. Civil, UFAL; Av. Lourival Melo Mota; 57072-970; Maceió; Alagoas; Brasil, (82)999360816, gcsr1992@gmail.com

1 – INTRODUÇÃO

Os diversos casos de inundações nas cidades estão relacionados diretamente com a intensificação da impermeabilização do solo e, como dito em Mendonça (2009), a alteração no ciclo hidrológico compromete as soluções via sistemas tradicionais de drenagem voltados ao rápido escoamento de volumes drenados. Surgem então alternativas que atuam o mais próximo possível da fonte com melhorias nas condições de infiltração e de armazenamento.

Dentre tais medidas, pode-se citar o uso de pavimentos permeáveis, as trincheiras de infiltração, biorretenção, entre outros com diversos estudos no Brasil. No entanto, as propostas aqui descritas consideram soluções entre as técnicas tradicionais e as acima citadas para minimizar os impactos da urbanização com menores custos e facilidade de implantação.

O presente trabalho é fruto de uma pesquisa, cujo título é “Lote urbano real: concepção, implantação e avaliação de medidas simplificadas de controle na geração do escoamento superficial”, Edital Universal 14/2013 - Faixa A que se iniciou em 2013 e terminou recentemente. O estudo de caso ocorreu em uma parcela de lote localizada no bairro do Feitosa, na bacia hidrográfica do rio Reginaldo, na cidade de Maceió - AL.

A parcela do lote monitorada possui 65,60 m² e o telhado representa quase metade da cobertura da parcela do lote estudada, conforme informações contidas na figura 1. Nesta figura também podem ser vistos os dispositivos de monitoramento.

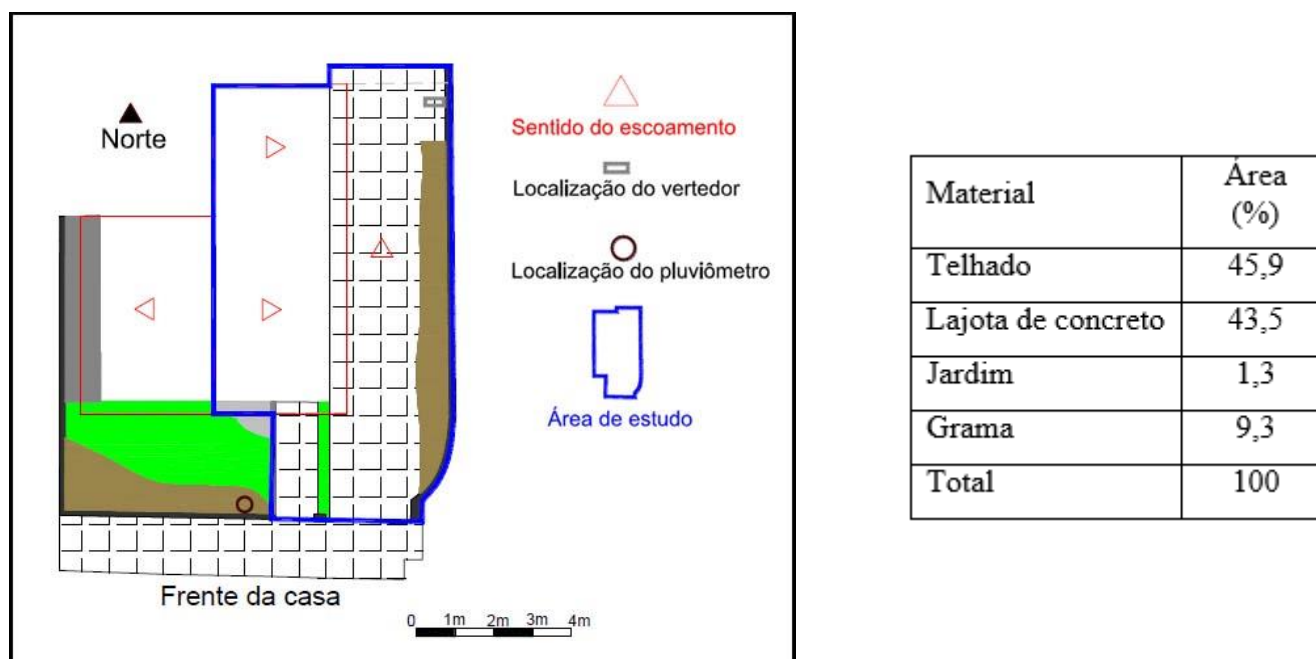


Figura 1 – Caracterização do local de estudo, adaptada de Gomes(2017).

O monitoramento ocorreu em 3 etapas com diferentes configurações de encaminhamento das águas pluviais:

Etapa 1 (12/07/2014 - 26/06/2015) –sem intervenção;

Etapa 2 (27/06/2015 - 31/07/2016) – com uma calha na coberta, direcionando o escoamento para uma região próxima ao vertedor de forma a simular a descarga direta para o sistema de drenagem pluvial;

Etapa 3 (01/08/2016 - 26/08/2017) – novamente com uma calha na coberta, porém encaminhando todo o escoamento de água para o jardim.

Diante disso, o objetivo desse trabalho é analisar o efeito destes encaminhamentos na vazão máxima de saída do lote, sabendo que esse parâmetro está diretamente relacionado com o dimensionamento e, em alguns casos, sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana, diminuindo a capacidade destes.

2 – METODOLOGIA

Para a realização do trabalho, foram tomadas medidas que antecederam o monitoramento de chuva e vazão. Em seguida, os procedimentos foram voltados à coleta e análise de dados e elaboração de testes de hipótese sobre as mudanças na vazão máxima.

I) Procedimentos Preliminares

Como descrito em Neves (2017), os seguintes procedimentos foram tomados para o início do monitoramento: visitas ao lote, levantamento topográfico, instalação de pluviômetro de balsa com registrador automático da marca Hydrological Services Pty Ltd (modelo TB6), fabricação e calibração do vertedor no laboratório de hidráulica do CTEC – UFAL, adaptação do lote (corte de parte do piso, abertura para saída de água e rebaixamento de cotas para instalação do vertedor), instalação do vertedor junto a um sensor de nível (modelo Levelogger Junior Edge) e um sensor de pressão atmosférica (barologger), ambos da marca Solinst.

II) Coleta de dados

Para a precipitação, o pluviômetro forneceu dados por basculada que foram discretizados ora em intervalos de 1 minuto, ora em intervalos de 30 segundos para melhor detalhamento do evento analisado. Para a vazão de saída do lote, a calibração do vertedor gerou a equação 1. Com ela, pôde-

se calcular as vazões de saída dos eventos chuvosos usando os dados coletados de altura da coluna d'água.

$$Q = 13,153 \times H^{2,5292} \quad (1)$$

onde Q é a vazão (mL/s) e H é a carga hidráulica acima da crista do vertedor (cm). A figura 2 mostra o vertedor e o pluviômetro de balsa instalados no lote.



Figura 2 – Vertedor e pluviômetro instalados no lote.

De posse dos dados de chuva e vazão, foi realizada a separação de eventos, resultando em 81 eventos para a primeira configuração (etapa 1), 216 eventos para a segunda configuração (etapa 2) e 140 eventos para a terceira configuração (etapa 3).

III) Análise de dados

Para cada etapa, tomaram-se os valores de vazão máxima dos eventos para calcular a média, elaborar diagramas de caixa e realizar a análise comparativa de duas formas:

- Utilizando as vazões máximas de todos os eventos monitorados;
- Restringindo apenas as maiores vazões máximas: as maiores vazões máximas em cada etapa são aquelas, cujos valores superam o valor do 3º quartil de cada etapa..

A ideia de se restringir a amostra com os maiores eventos (forma b acima) veio do fato de que, em sistemas de drenagem, a fase de dimensionamento e até de planejamento se preocupa com eventos mais intensos, que geram vazões maiores. O uso do 3º quartil foi uma forma objetiva, mas não exclusiva de se realizar tal tarefa.

IV) Testes de hipótese

Além da estatística descritiva via diagramas de caixa, foram realizados testes de hipótese e intervalos de confiança para diferenças de médias, de modo a buscar evidências de mudanças na

vazão máxima. Considerou-se desvio padrão populacional desconhecido, número de eventos (amostra) maior que 30, amostras independentes tomadas de forma aleatória e nível de significância (α) de 5%. Além disso, considerou-se a seguinte nomenclatura nos cálculos: \bar{x} = média amostral, μ = Média populacional, n = Número de eventos (amostra), σ = Desvio padrão populacional, s = Desvio padrão amostral. O roteiro utilizado foi adaptado de Triola (2015) e possui os seguintes passos:

1. Determinação da Hipótese Nula e Hipótese Alternativa:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad (2)$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2 \quad (3)$$

2. Cálculo da estatística de teste:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{A+B}} \quad (4)$$

Onde, $A = \frac{s_1^2}{n_1}$; $B = \frac{s_2^2}{n_2}$ e $(\mu_1 - \mu_2)$ é considerado 0.

3. Cálculo dos graus de liberdade:

$$gl = \frac{(A+B)^2}{\frac{A^2}{n_1-1} + \frac{B^2}{n_2-1}} \quad (5)$$

4. Determinação do valor crítico (t_c): este é obtido com base no número de graus de liberdade calculado e no nível de significância adotado (α).

5. Comparação entre a estatística de teste e o valor crítico:

Se $t > t_c$, a estatística de teste está na região crítica e há evidências para rejeitar a hipótese nula.

Se $t < t_c$, a estatística de teste não está na região crítica e não há evidências para rejeitar a hipótese nula.

6. Conclusão baseada na aceitação ou rejeição da hipótese nula.

O roteiro utilizado para os Intervalos de confiança também foi adaptado de Triola (2015) e possui os seguintes passos:

1. Determinação do valor crítico (t_c): este valor é determinado na curva da distribuição t de Student para o número de graus de liberdade e o nível de significância adotado (α).

2. Determinação da margem de Erro (E): Ela é calculada pela equação 6.

$$E = tc \cdot \sqrt{A + B} \quad (6)$$

3. Determinação do intervalo de confiança: Para a média, Foi usada a equação 7.

$$(x1 - x2) - E < (\mu1 - \mu2) < (x1 - x2) + E \quad (7)$$

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 – Resultados

A seguir os resultados para as duas formas de análise.

a) Utilizando as vazões máximas de todos os eventos monitorados

Os resultados estão sintetizados na tabela 1. Vê-se que, encaminhando o escoamento para o jardim (etapa 3) foi encontrada uma média das vazões de pico 1,92 vezes menor do que na etapa 2 e 3,06 vezes menor do que da etapa 1.

A figura 3 apresenta os diagramas de caixa das 3 etapas monitoradas. Nota-se novamente uma redução dos valores da etapa 3 em relação aos demais. Analisando o valor do 1º quartil da etapa 3, nota-se uma redução de 39% com relação a etapa 2, e de 52% com relação a etapa 1.

Tabela 1 – Resumo dos resultados.

Etapas	1	2	3
Média das vazões máximas (mL/s)	206,2	129,4	67,5
Desvio Padrão Amostral (mL/s)	227,0	131,2	70,8
Número de eventos	81	216	140

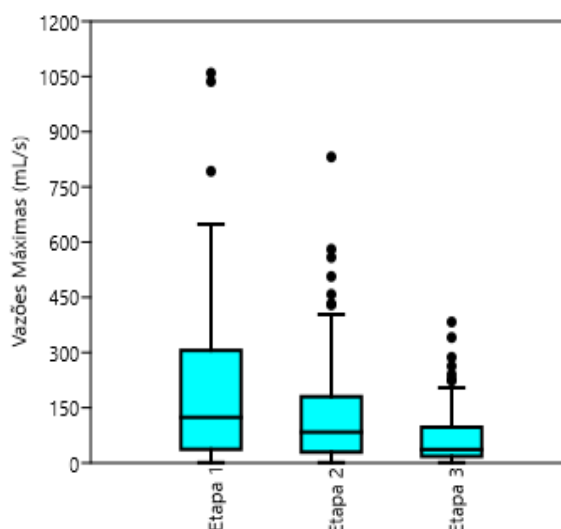


Figura 3 – Diagrama de caixa das 3 etapas com todos os eventos.

Os resultados dos testes de hipótese e dos intervalos de confiança estão na tabela 2. Há evidências de que as vazões máximas de fato decrescem da etapa 1 para a etapa 2 e da etapa 2 para a etapa 3.

Tabela 2 – Testes de hipótese e intervalos de confiança.

	Etapa 1 - Etapa 2	Etapa 1 - Etapa 3	Etapa 2 - Etapa 3
Hipótese Nula (H₀)	$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 = \mu_3$	$\mu_2 = \mu_3$
Hipótese Alternativa (H₁)	$\mu_1 > \mu_2$	$\mu_1 > \mu_3$	$\mu_2 > \mu_3$
Estatística de Teste (t)	2,9	5,4	5,8
Graus de Liberdade	100,7	89,1	344,2
Valor crítico (t_c)	1,7	1,7	1,7
Julgamento da Hipótese	Rejeição de H ₀	Rejeição de H ₀	Rejeição de H ₀
Intervalos de confiança	23,2 < ($\mu_1 - \mu_2$) < 129,3	87,2 < ($\mu_1 - \mu_3$) < 190,2	41,4 < ($\mu_2 - \mu_3$) < 83,6

b) Considerando apenas as maiores vazões máximas segundo critério adotado:

A tabela 3 apresenta a análise pelos valores médios obtidos em cada etapa, e de forma análoga foi traçado o diagrama de caixa de cada etapa monitorada, como mostra a figura 4. Novamente foram obtidos valores de vazão máxima inferiores na etapa 3 diante das demais. Nela, o valor médio das vazões de pico foi 1,89 vezes menor do que na etapa 2 e 3,10 vezes menor do que na etapa 1. O valor do 1º quartil reduziu 48% em relação a etapa 2 e 67% se comparado com a etapa 1.

Tabela 3 – Resumo dos resultados.

Etapas	1	2	3
Média das vazões máximas (mL/s)	518,0	316,2	167,1
Desvio Padrão Amostral (mL/s)	216,6	117,4	41,7
Número de eventos	21*	55	35

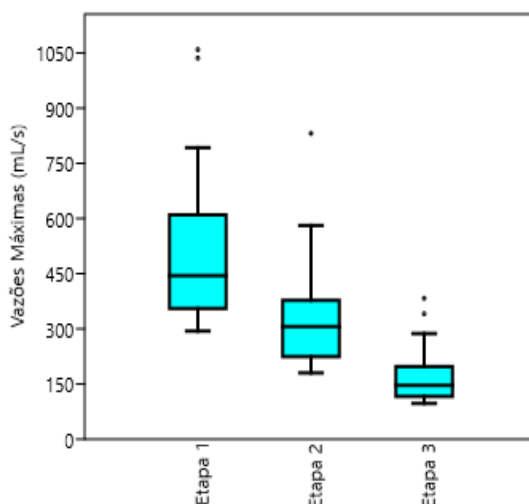


Figura 4 – Diagrama de caixa das 3 etapas com maiores eventos.

Como se fez inicialmente a opção pelos testes paramétrico, foi necessário analisar se as vazões máximas da etapa 1 se caracterizavam tal qual uma distribuição normal pelo fato de o número de eventos selecionados (amostra) ser menor do que 30. Para isso, foi realizado um teste de aderência (Kolmogorov-Smirnov) que apontou evidências para tal. Após isso, novos testes de hipótese foram feitos gerando os seguintes resultados (tabela 4):

Tabela 4 – Testes de hipótese e intervalos de confiança.

	Etapa 1 - Etapa 2	Etapa 1 - Etapa 3	Etapa 2 - Etapa 3
Hipótese Nula (H₀)	$\mu_1 = \mu_2$	$\mu_1 = \mu_3$	$\mu_2 = \mu_3$
Hipótese Alternativa (H₁)	$\mu_1 > \mu_2$	$\mu_1 > \mu_3$	$\mu_2 > \mu_3$
Estatística de Teste (t)	4,1	7,2	7,6
Graus de Liberdade	25,0	22,0	88,0
Valor crítico (tc)	1,7	1,7	1,7
Julgamento da Hipótese	Rejeição de H ₀	Rejeição de H ₀	Rejeição de H ₀
Intervalos de confiança	$99,1 < (\mu_1 - \mu_2) < 304,4$	$249,8 < (\mu_1 - \mu_3) < 451,9$	$109,9 < (\mu_2 - \mu_3) < 188,3$

Da mesma forma que no caso anterior, há evidências para afirmar que as vazões máximas decrescem da etapa 1 para a etapa 2 e da etapa 2 para a etapa 3, apesar da dispersão no processo de monitoramento.

3.2 – Discussões

Nos dois casos anteriormente analisados (todas os eventos e eventos com maiores vazões de pico), houve uma diminuição dos valores de vazão máxima. Surge a questão de até que ponto o redirecionamento do jardim foi a causa preponderante pela diminuição na etapa 3, haja vista que houve diminuição na etapa 2 também.

Para auxiliar nessa análise, tem-se a figura 5 com os diagramas de caixa das intensidades médias de cada evento, calculadas neste trabalho pela equação 8.

$$i = \frac{P}{d} \quad (8)$$

onde P é a precipitação total do evento monitorado (mm) e d é a duração total da chuva (h).

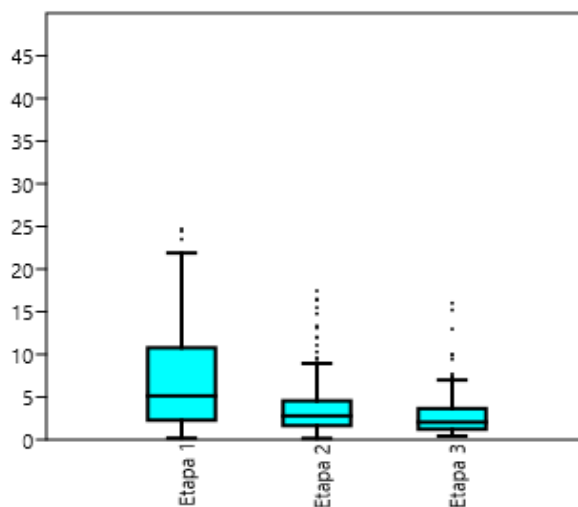


Figura 5 – Diagrama de caixa das intensidades de chuva das 3 etapas.

Nota-se que enquanto as etapas 2 e 3 apresentam intensidades de chuva de valores próximos, as intensidades de chuva da etapa 1 são consideravelmente maiores que as demais. Por isso, há evidências de que a redução das vazões máximas da etapa 1 para a etapa 2 ocorre devido as menores intensidades de chuva da etapa 2, já a redução das vazões máximas da etapa 2 para a etapa 3 ocorre devido ao redirecionamento do escoamento superficial para o jardim, pois nas etapas 1 e 2 não há mudança na área da parcela do lote em estudo, enquanto que na etapa 3 parte da área é desconectada da parcela do lote em estudo.

Assim, sabendo que a área do telhado é de 30,1m² (45,9% do lote) e que na etapa 3 ela deixa de contribuir para a vazão de saída do lote, têm-se que cada 1m² reduzido devido ao redirecionamento do escoamento para o jardim corresponde ao decréscimo de 2,0 mL/s de vazão máxima de saída, quando se considera todos os eventos monitorados e 2,5 mL/s, quando se considera apenas os eventos com maiores vazões de pico.

4 – CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, há evidências de que o redirecionamento da água da chuva para o jardim reduz consideravelmente as vazões de saída do lote. Isso aponta que o lote encaminha uma quantidade muito menor de água para o sistema de drenagem urbana com a nova configuração estabelecida em relação as configurações anteriores.

Sendo assim, essa menor contribuição do lote para as sarjetas e galerias de águas pluviais implica em projetos desses elementos para menores dimensões, e, conseqüentemente, em custos reduzidos. Além disso, pôde-se pensar na implantação desse mecanismo de forma integrada para mais

lotes de uma região, de modo que a mudança proposta teria um efeito ainda mais representativo para o sistema de drenagem urbana e inundações poderiam ser evitadas sem a necessidade de obras dispendiosas. Isto pode ser incentivado via mecanismos legais como planos diretores e planos municipais de saneamento básico.

5 – REFERÊNCIAS

- GOMES, N. B. (2017). “*Incerteza na Determinação do Coeficiente de Escoamento de uma Parcela de Lote Urbano*”. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Alagoas. Maceió – AL, 51p.
- MENDONÇA, E. C. (2009). “*Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana*”. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília – DF, 171p.
- NEVES, M. G. F. P. (2017). “*Lote urbano real: concepção, implantação e avaliação de medidas simplificadas de controle na geração do escoamento superficial*.” Relatório de Pesquisa, Universidade Federal de Alagoas. Maceió – AL.
- TRIOLA, M. F. (2015). *Introdução à estatística* LTC Rio de Janeiro, 707 p.