



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO**

**HELAEISON DE ALMEIDA JUNIOR**

**Estudo do efeito de medidas simplificadas de controle da geração do  
escoamento superficial em lote urbano**

**Dissertação**

**Maceió**  
**2018**

**HELAEELSON DE ALMEIDA JUNIOR**

**Estudo do efeito de medidas simplificadas de controle da geração do escoamento superficial em lote urbano**

Plano de dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves

**Maceió  
2018**

**Catlogação na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário Responsável: Janis Christine Angelina Cavalcante: CRB - 1664

A447e	<p>Almeida Júnior, Helaelson de. Estudo do efeito de medidas simplificadas de controle de geração do escoamento superficial em lote urbano / Helaelson de Almeida Júnior. - 2018 135 f. : il.</p> <p>Orientadora: Marllus Gustavo Ferreira das Neves. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2018.</p> <p>Bibliografia: f. 94-95. Apêndices: f. 96-127. Anexos: f. 128-135.</p> <p>1. Medidas de controle na fonte. 2. Coeficiente de escoamento. 3. Propagação de incertezas. 4. Sistema de drenagem pluvial. 5. Bacias hidrográficas urbanas I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 628.116.2</p>
-------	--



## Folha de Aprovação

HELAEALSON DE ALMEIDA JÚNIOR

EFEITO, NO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO E NA VAZÃO MÁXIMA, DE  
MEDIDAS SIMPLIFICADAS DE CONTROLE DA GERAÇÃO DO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL EM LOTE URBANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves  
(Orientador - PPGRHS/CTEC/UFAL)

### Banca examinadora:

Prof. Dr. Carlos Rubertó Fragoso Júnior  
(Examinador interno - PPGRHS/CTEC/UFAL)

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral  
(Examinador externo - UFPE)

*Dedico este trabalho aos meus pais, irmãos e a minha namorada, que sempre me apoiaram e incentivaram o meu crescimento profissional.*

## **Agradecimentos**

À Deus, por acreditar que nossa existência pressupõe outra infinitamente superior.

Aos meus pais, Helaelson e Claudirene, e irmãos que acompanharam cada dia dessa trajetória.

À minha namorada, Larissa, que sempre esteve ao meu lado com toda sua doçura e paciência.

À toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

À todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível.

Aos amigos que adquiri no PPGRHS, pelos momentos vividos juntos.

Em especial, à Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves, orientador dedicado que com sabedoria soube dirigir meus passos e pensamentos para o alcance de meus objetivos.

*“A persistência é o caminho do êxito.”  
(Charlie Chaplin)*

## Resumo

Com o crescimento das superfícies impermeáveis nas bacias hidrográficas urbanas, os sistemas de drenagem pluvial acabam sobrecarregados, aumentando, assim, o número de ocorrências de enchentes e inundações. Afim de solucionar ou mitigar tal problema, estudos com foco no retardamento do escoamento através de medidas de controle em sua origem vêm sendo realizados. No Brasil, a utilização de medidas de controle na fonte começa a ser pensada de forma mais concreta. Diversas cidades têm mostrado preocupação com o tema, inclusive, sendo, em algumas delas, seu uso estabelecido por meio de leis e decretos. O presente trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos de medidas de controle na fonte em um lote real com ênfase em medidas simplificadas de fácil implantação. O lote escolhido faz parte de um pequeno conjunto residencial situado na cidade de Maceió, estado de Alagoas, e pertencente a bacia do rio Reginaldo, principal bacia da cidade. No lote, foram monitorados a precipitação e a vazão. O estudo foi dividido em três etapas: a primeira, sem a utilização de medidas de controle e sem calhas no telhado da residência; a segunda, com o redirecionamento da água com o uso de calhas, de maneira a fazer com que a água escoe rapidamente para a rua ou rede de drenagem, simulando como ocorre normalmente em residências; a terceira, também com o uso de calhas, porém, redirecionando a água para áreas permeáveis já existentes no lote. Para o monitoramento da precipitação foi instalado, na frente do lote, um pluviômetro de bascula com registrador automático. Já para a vazão, foi fabricado, calibrado e instalado um vertedor, no qual foi inserido um sensor de nível e um sensor de pressão atmosférica, para determinar as cargas hidráulicas. Para a avaliar os efeitos provocados pela implantação das medidas, foi feita uma análise comparativa entre os coeficientes de escoamento obtidos para cada etapa do projeto, sendo, para isso, utilizados métodos para cálculo de propagação de incertezas de medições e testes de hipótese. Além disso, afim de observar o comportamento para os eventos mais críticos, o procedimento comparativo foi refeito com as vazões de pico. Os resultados revelaram que as medidas implantadas se mostraram ineficazes para a redução do coeficiente de escoamento, só apresentando diminuição significativa (21,26%) quando analisados os maiores coeficientes entre as etapas 1 e 2. Já com as vazões de pico, os resultados foram mais satisfatórios, chegando a atingir para as maiores vazões uma redução de até 70,71% e 50,99% entre as etapas 1 e 3 e as etapas 2 e 3 respectivamente.

**Palavras-chave:** Medidas de controle na fonte. Coeficiente de escoamento. Propagação de Incertezas

## Abstract

As the number of impermeable surfaces in urban watersheds increases, storm drainage systems become overloaded, increasing the number of flooding events. Intending to solve, or at least mitigate such problem, studies regarding the delay of the flow through control measures in its origin have been carried out. Accordingly, the use of control measures started to be concretely considered in Brazil. Several cities have established laws and acts concerning the issues of this subject. Therefore, this paper aims to evaluate the effects of control measures at the source in a real lot, focusing on simplified measures control and implantation. The chosen lot is part of a small residential complex located in the city of Maceió, state of Alagoas. It belongs to Reginaldo's river basin, the main basin of the city. In the lot, precipitation and flow were monitored. The analysis was divided into three stages: the first, without the use of control measures and gutters on the roof of the residence; the second, with the redirection of the water through the use of gutters. It makes the water flows quickly to the street or drainage system, simulating the normal phenomenon in residences; the third, also considers the use of gutters, however, it redirects the water to permeable areas in the lot. An automatic rain gauge was installed in front of the lot to monitor the precipitation. To monitor the flow, a load sensing hydraulic pump was built, calibrated and installed. In order to evaluate the effects of the measures, a comparative analysis was made between flow coefficients considering each stage of the project. This was made using some methods to calculate the propagation of uncertainties and test the hypothesis. In addition, in order to understand the most critical events behavior, the comparative procedure was remade for the highest peak flows. The results showed that the measures implemented were ineffective for reducing the flow coefficient, showing a significant decrease (21.26%) only when the largest coefficients between stages 1 and 2 were analyzed. On the other hand, the results related with the peak flow rates were more satisfactory, reaching up to 70.71% and 50.99% of reduction between steps 1 and 3 and steps 2 and 3, respectively.

**Key Words:** Control measures. Flow coefficient. Uncertainties propagation.

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquema da metodologia utilizada . . . . .	25
Figura 2 – Caracterização do local de estudo . . . . .	26
Figura 3 – Fotos do lote . . . . .	27
Figura 4 – Fabricação do vertedor . . . . .	28
Figura 5 – Calibração e teste com o vertedor e sensores . . . . .	28
Figura 6 – Vertedor com tubo PVC usado para alojar sensor de nível . . . . .	29
Figura 7 – Seleção de hidrogramas . . . . .	30
Figura 8 – Curva de calibração do vertedor . . . . .	36
Figura 9 – Intervalo de confiança na curva de calibração do vertedor . . . . .	37
Figura 10 – Incertezas relativas do volume precipitado da etapa 1 . . . . .	39
Figura 11 – Incertezas relativas do volume precipitado da etapa 2 . . . . .	40
Figura 12 – Incertezas relativas do volume precipitado da etapa 3 . . . . .	40
Figura 13 – Gráfico da incerteza no cálculo do volume escoado . . . . .	41
Figura 14 – Incertezas relativas dos coeficientes de escoamento da etapa 1 . . . . .	42
Figura 15 – Limite superior e inferior de coeficientes de escoamento da etapa 1 . . . . .	42
Figura 16 – Incertezas relativas dos coeficientes de escoamento da etapa 2 . . . . .	43
Figura 17 – Limite superior e inferior de coeficientes de escoamento da etapa 2 . . . . .	44
Figura 18 – Incertezas relativas dos coeficientes de escoamento da etapa 3 . . . . .	44
Figura 19 – Limite superior e inferior de coeficientes de escoamento da etapa 3 . . . . .	45
Figura 20 – Diagramas de caixa de coeficientes das etapas 1 e 2 para todos os eventos . . . . .	47
Figura 21 – Coeficientes de escoamento calculado diretamente para as etapas 1 e 2 . . . . .	48
Figura 22 – Coeficientes de escoamento médio calculado por propagação para as etapas 1 e 2 . . . . .	49
Figura 23 – Diagramas de caixa de coeficientes das etapas 1 e 3 para todos os eventos . . . . .	50
Figura 24 – Precipitação total por período, etapas 1 e 3 . . . . .	52
Figura 25 – Coeficientes de escoamento calculado diretamente para as etapas 1 e 3 . . . . .	53
Figura 26 – Coeficientes de escoamento médio calculado por propagação para as etapas 1 e 3 . . . . .	54
Figura 27 – Diagramas de caixa de coeficientes das etapas 2 e 3 para todos os eventos . . . . .	56
Figura 28 – Precipitação total por período, etapas 2 e 3 . . . . .	57

Figura 29 – Coeficientes de escoamento calculado diretamente para as etapas 2 e 3 . . . . .	58
Figura 30 – Coeficientes de escoamento médio calculado por propagação para as etapas 2 e 3 . . . . .	59
Figura 31 – Diagramas de caixa de maiores coeficientes das etapas 1 e 2 . . . . .	61
Figura 32 – Diagramas de caixa de maiores coeficientes das etapas 1 e 3 . . . . .	63
Figura 33 – Diagramas de caixa de maiores coeficientes das etapas 2 e 3 . . . . .	65
Figura 34 – Diagrama de caixa de intensidade das etapas 1 e 2 . . . . .	69
Figura 35 – Diagrama de caixa de intensidade das etapas 1 e 3 . . . . .	73
Figura 36 – Diagrama de caixa de intensidade das etapas 2 e 3 . . . . .	77
Figura 37 – Histograma para maiores coeficientes de etapa 1 . . . . .	83
Figura 38 – Gráfico dos quantis normais para maiores coeficientes de escoamento da etapa 1 . . . . .	84
Figura 39 – Histograma para coeficientes das maiores vazões de pico da etapa 1	86
Figura 40 – Gráfico dos quantis normais para coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico . . . . .	86
Figura 41 – Histograma para vazões de pico da etapa 1 . . . . .	88
Figura 42 – Gráfico dos quantis normais para maiores vazões de pico . . . . .	89

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Características de erros aleatórios e sistemáticos . . . . .	21
Tabela 2 – Uso do solo na área de estudo no lote . . . . .	26
Tabela 3 – Volumes obtidos a partir do pluviômetro . . . . .	38
Tabela 4 – Resumo da estatística descritiva para as etapas 1 e 2 . . . . .	46
Tabela 5 – Indicadores de comparação entre as duas etapas . . . . .	47
Tabela 6 – Resumo da estatística descritiva para as etapas 1 e 3 . . . . .	50
Tabela 7 – Indicadores de comparação entre a etapa 1 e 3 . . . . .	51
Tabela 8 – Dias sem chuva entre eventos nas etapa 1 e 3 . . . . .	52
Tabela 9 – Resumo da estatística descritiva para as etapas 2 e 3 . . . . .	55
Tabela 10 – Indicadores de comparação entre a etapa 2 e 3 . . . . .	56
Tabela 11 – Dias sem chuva entre eventos nas etapa 2 e 3 . . . . .	58
Tabela 12 – Resumo da estatística descritiva para maiores coeficientes das etapas 1 e 2 . . . . .	60
Tabela 13 – Indicadores de comparação entre as etapas 1 e 2 para maiores coeficientes . . . . .	61
Tabela 14 – Resumo da estatística descritiva para maiores coeficientes das etapas 1 e 3 . . . . .	62
Tabela 15 – Indicadores de comparação entre as etapas 1 e 3 para maiores coeficientes . . . . .	63
Tabela 16 – Resumo da estatística descritiva para maiores coeficientes das etapas 2 e 3 . . . . .	64
Tabela 17 – Indicadores de comparação entre as etapas 2 e 3 . . . . .	66
Tabela 18 – Estatística descritiva para vazões médias de pico das etapas 1 e 2 .	66
Tabela 19 – Indicadores de comparação entre maiores vazões das duas etapas	67
Tabela 20 – Estatística descritiva das maiores vazões de pico das etapas 1 e 2 .	68
Tabela 21 – Resumo da estatística descritiva para maiores coeficientes das etapas 1 e 2 . . . . .	70
Tabela 22 – Estatística descritiva para vazões médias de pico das etapas 1 e 3 .	70
Tabela 23 – Indicadores de comparação entre eventos com maiores vazões das etapas 1 e 3 . . . . .	71
Tabela 24 – Estatística descritiva das maiores vazões de pico das etapas 1 e 3 .	72
Tabela 25 – Estatística descritiva dos coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico das etapas 1 e 3 . . . . .	74
Tabela 26 – Legenda . . . . .	75
Tabela 27 – Indicadores de comparação entre maiores vazões das etapas 2 e 3	75
Tabela 28 – Estatística descritiva das maiores vazões de pico das etapas 2 e 3 .	76

Tabela 29 – Resumo da estatística descritiva para maiores vazões de pico das etapas 2 e 3 . . . . .	78
Tabela 30 – Tamanhos amostrais, coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões com todos os eventos . . . . .	79
Tabela 31 – Estatística de teste e regiões críticas para teste de hipótese com todos os eventos . . . . .	79
Tabela 32 – Resultados do teste de hipótese para coeficientes de escoamento .	80
Tabela 33 – Tamanhos amostrais, coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões para vazões de pico . . . . .	81
Tabela 34 – Estatística de teste e limites da regiões críticas para teste de hipótese das vazões de pico . . . . .	81
Tabela 35 – Resultados do teste de hipótese para vazões de pico . . . . .	81
Tabela 36 – Tamanhos amostrais, coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões para maiores coeficientes . . . . .	82
Tabela 37 – Estatística de teste e regiões críticas para teste de hipótese com maiores coeficientes de escoamento . . . . .	84
Tabela 38 – Resultados do teste de hipótese para maiores coeficientes de escoamento . . . . .	85
Tabela 39 – Tamanhos amostrais, coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões para coeficientes com maiores vazões de pico . . . . .	85
Tabela 40 – Estatística de teste e regiões críticas para teste de hipótese com maiores vazões máximas . . . . .	87
Tabela 41 – Resultados do teste de hipótese para coeficientes de maiores vazões pico . . . . .	87
Tabela 42 – Estatística de teste e regiões críticas para teste de hipótese das maiores vazões de pico . . . . .	89
Tabela 43 – Resultados do teste de hipótese para maiores vazões de pico . . .	90
Tabela 44 – Fonte: Autor . . . . .	97

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Medidas de controle</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Propagação de incertezas de medidas</b>	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>Intervalo de confiança e teste de hipótese</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>24</b>
<b>4.1</b>	<b>Lote escolhido para estudo</b>	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Monitoramento hidrológico</b>	<b>27</b>
<b>4.3</b>	<b>Determinação do hidrograma e cálculo do coeficiente de escoamento</b>	<b>30</b>
<b>4.4</b>	<b>Incerteza na determinação do coeficiente de escoamento</b>	<b>31</b>
4.4.1	Incerteza no cálculo do C por propagação	31
4.4.2	Incerteza na determinação do volume precipitado	33
4.4.3	Incerteza no cálculo do volume escoado	33
4.4.4	Incerteza calculada diretamente no coeficiente de escoamento	34
<b>4.5</b>	<b>Análise comparativa dos coeficientes de escoamento nas três etapas de direcionamento do escoamento superficial no lote</b>	<b>34</b>
4.5.1	Estatística descritiva com os três conjuntos de valores de coeficiente de escoamento	34
4.5.2	Teste de hipótese dois a dois entre os conjuntos de valores de coeficientes de escoamento das etapas	35
<b>4.6</b>	<b>Análise comparativa com eventos de maiores vazões de pico</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>Curva de calibração e análise de regressão</b>	<b>36</b>
<b>5.2</b>	<b>Incerteza na determinação do coeficiente de escoamento</b>	<b>37</b>
5.2.1	Incerteza no cálculo do volume precipitado	37
5.2.1.1	Incerteza relativa para a etapa 1	38
5.2.1.2	Incerteza relativa para a etapa 2	39
5.2.1.3	Incerteza relativa para a etapa 3	40
5.2.2	Incerteza no cálculo do volume escoado	41
5.2.3	Incerteza no cálculo do coeficiente de escoamento utilizando a curva de calibração	41

5.2.3.1	Incerteza relativa para a etapa 1 . . . . .	41
5.2.3.2	Incerteza relativa para a etapa 2 . . . . .	43
5.2.3.3	Incerteza relativa para a etapa 3 . . . . .	44
5.2.4	Incerteza calculada diretamente no coeficiente de escoamento . . . . .	45
<b>5.3</b>	<b>Coeficientes de escoamento e estatística descritiva . . . . .</b>	<b>45</b>
5.3.1	Análise comparativa entre as etapas 1 e 2 . . . . .	46
5.3.2	Análise comparativa entre as etapas 1 e 3 . . . . .	49
5.3.3	Análise comparativa entre as etapas 2 e 3 . . . . .	54
<b>5.4</b>	<b>Análise comparativa com eventos de maiores coeficientes de escoamento e maiores vazões de pico . . . . .</b>	<b>59</b>
5.4.1	Análise com maiores coeficientes de escoamento . . . . .	59
5.4.1.1	Análise comparativa entre etapa 1 e 2 . . . . .	59
5.4.1.2	Análise comparativa entre etapa 1 e 3 . . . . .	62
5.4.1.3	Análise comparativa entre etapa 2 e 3 . . . . .	64
5.4.2	Análise com maiores vazões de pico . . . . .	66
5.4.2.1	Análise comparativa entre etapas 1 e 2 . . . . .	66
5.4.2.1.1	<i>Maiores vazões de pico . . . . .</i>	<i>67</i>
5.4.2.1.2	<i>Coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico . . . . .</i>	<i>69</i>
5.4.2.2	Análise comparativa entre etapas 1 e 3 . . . . .	70
5.4.2.2.1	<i>Maiores vazões de pico . . . . .</i>	<i>72</i>
5.4.2.2.2	<i>Coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico . . . . .</i>	<i>73</i>
5.4.2.3	Análise comparativa entre etapas 2 e 3 . . . . .	74
5.4.2.3.1	<i>Maiores vazões de pico . . . . .</i>	<i>76</i>
5.4.2.3.2	<i>Coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico . . . . .</i>	<i>77</i>
<b>5.5</b>	<b>Teste de hipótese dois a dois entre os conjuntos de valores de coeficientes de escoamento e vazões de pico . . . . .</b>	<b>78</b>
5.5.1	Testes de hipótese para coeficientes de escoamento e vazões de pico para todos os eventos . . . . .	79
5.5.1.1	Coeficientes de escoamento . . . . .	79
5.5.1.2	Vazões de pico . . . . .	80
5.5.2	Teste de hipótese com maiores coeficientes de escoamento e maiores vazões de pico . . . . .	82
5.5.2.1	Maiores coeficientes de escoamento . . . . .	82
5.5.2.2	Coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico . . . . .	85
5.5.2.3	Maiores vazões de pico . . . . .	88
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>91</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>94</b>

<b>APÊNDICES</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE A – Planilha de visita de campo . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO A – Estimação do intervalo de confiança . . . . .</b>	<b>130</b>
<b>ANEXO B – Teste t para duas amostras . . . . .</b>	<b>133</b>
<b>ANEXO C – Teste de Mann-Whitney . . . . .</b>	<b>135</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das principais consequências em bacias hidrográficas causadas pela urbanização e pela ocupação desordenada nas cidades é o aumento das superfícies impermeáveis e, conseqüentemente, do escoamento superficial, contribuindo para a ocorrência de inundações e provocando sérios prejuízos à sociedade e ao meio ambiente (TOMINAGA, 2013) .

Segundo Yao, Wei e Chen (2016) , na gestão de águas pluviais urbanas, a impermeabilidade é um indicador eficaz para avaliar o risco de escoamento potencial, pois tais mudanças podem exercer significativa influência no processo chuva-vazão. O acréscimo desse tipo de área implica em volumes maiores de escoamento com maiores picos de vazão, menores tempos de viagem e maiores cargas de poluentes (LEE; HEANEY, 2003).

Para enfrentar as consequências citadas, diversos municípios brasileiros lançaram mão de preceitos higienistas, onde é priorizada a rápida evacuação das águas das áreas urbanas (CANHOLI, 2013). Esse tipo de abordagem não só acarreta a transferência dos impactos locais para jusante como também dá uma falsa sensação de segurança na população em relação às inundações (CANHOLI, 2005) .

Entretanto, há algumas décadas novas abordagens, baseadas no retardamento do escoamento em contraposição à evacuação rápida, foram surgindo. Parte da solução diz respeito ao controle na fonte, cuja meta é atacar o problema na origem dos impactos no ciclo hidrológico que ocorre nas áreas urbanas e minimizando também os impactos na qualidade da água.

Diversos trabalhos experimentais vêm sendo realizados com o intuito de se verificar as vantagens que a utilização de dispositivos de controle de escoamento na fonte pode acarretar para o sistema de drenagem pluvial. Nota-se, todavia, que a maioria dos estudos procuram monitorar lotes com ênfase em medidas compensatórias estruturais.

Nesses moldes, pretende-se, neste trabalho, avaliar os efeitos de medidas de controle na fonte, nível de lote, com enfoque em medidas simplificadas de implantação fácil. O trabalho avaliará os resultados de um monitoramento composto por três etapas, sendo a primeira sem nenhum tipo de intervenção e as demais com modificações nas configurações do escoamento do lote.

Este trabalho se insere em um contexto de projetos de pesquisa em Hidrologia Urbana, diretamente vinculado ao projeto de pesquisa “Lote urbano real: concepção, implantação e avaliação de medidas simplificadas de controle na geração do escoamento

superficial”, Edital Universal 14/2013 - Faixa A. O projeto tem como objetivo a avaliação de medidas simplificadas de controle do escoamento superficial em lotes, a partir da análise dos processos hidrológicos em um lote real. O projeto possui três etapas: a primeira, com o monitoramento de um lote real sem a adoção de nenhuma medida de controle e sem calhas nos telhados da residência; a segunda, com o redirecionamento da água com o uso das calhas de modo a reproduzir o modo tradicional de fazer com que ela saia rapidamente para a rua ou rede de drenagem; e a terceira, também com o uso das calhas redirecionando a água para áreas permeáveis já existentes no lote.

Este trabalho fará uma análise comparativa das três etapas.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo geral a avaliação dos efeitos de medidas simplificadas, em nível de lote, com controle de escoamento superficial.

Os objetivos específicos do trabalhos são os seguintes:

- Avaliação das mudanças no coeficiente de escoamento e nas vazões máximas;
- Avaliação das incertezas na determinação do coeficiente de escoamento.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item haverá uma breve contextualização do tema estudo de medidas de controle na fonte, seguido de técnicas de avaliação de incerteza que podem se propagar nos dados vindos do monitoramento do lote.

A necessidade de avaliar a incerteza ocorre porque as medidas simplificadas podem apresentar efeitos positivos em média, mas não de forma significativa, haja vista que as faixas de incerteza do coeficiente de escoamento nas três etapas de monitoramento podem ser de tal magnitude que a interceptação mútua das mesmas refute a hipótese de que as medidas surtam efeito no controle do escoamento gerado na parcela do lote em estudo. Isso será melhor entendido no item de descrição da área de estudo e das etapas do projeto no qual este trabalho está inserido.

#### 3.1 Medidas de controle

No âmbito das medidas de controle do escoamento superficial, aquelas ditas na fonte têm o objetivo de atacar a geração do escoamento na sua origem, evitando a transferência de problemas para outras áreas mais a jusante. As medidas de controle na fonte podem envolver lotes, condomínios, estacionamentos, áreas comerciais, parques e passeios (IPH/DEP, 2005). Segundo Tassi (2002), as medidas de controle na fonte apresentam caráter estrutural, uma vez que, em geral, necessitam de obras complementares para o desvio da vazão.

De acordo com Silva (2016), esse tipo de sistema proporciona o rearranjo temporal e espacial das vazões e a redução do volume escoado, podendo sua atuação ser na infiltração, no armazenamento ou com uma combinação desses dois processos. Para Fletcher, Andrieu e Hamel (2013), o controle na fonte é uma maneira de atenuar os impactos provocados pelas águas pluviais nas águas receptoras, promovendo o controle de vazão, evapotranspiração e infiltração o mais próximo possível da fonte, minimizando os impactos hidrológicos e de qualidade da água.

No Brasil, o incentivo ao uso de medidas na fonte começam a ser pensadas de forma mais concretas e estudos experimentais com as técnicas estruturais já são realidade.

No tocante à legislação referente às medidas de controle na fonte no Brasil, a Constituição Federal (REPÚBLICA, 1988), em seu artigo 30, atribui aos municípios a responsabilidade de legislar sobre assuntos de interesse local. Assim sendo, diversas cidades brasileiras, com o objetivo de prevenir ou reduzir os números de casos de inundações e enchentes, levando em conta características da região, tem procurado

estabelecer leis, decretos e planos diretores que garantam o bom funcionamento do sistema de drenagem pluvial (SILVA, 2013).

As cidades de São Paulo, Belo Horizonte, Guarulhos e Rio de Janeiro apresentam em sua legislação fórmulas para o cálculo do volume a ser reservado em função da área impermeável do lote. Nota-se que a obtenção da reserva apresenta uma metodologia simplificada e que não se faz necessário estudos hidrológicos completos (CANHOLI, 2013). Já em Porto Alegre e Curitiba a legislação apresenta restrições no que se refere a descarga máxima, ou seja, o empreendedor precisa manter a descarga aos níveis de pré-urbanização.

Vasconcelos, Miguez e Vazquez (2016), avaliaram o volume proposto pela legislação municipal do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2004) para um reservatório de lote. Além disso, os autores analisaram a eficiência da utilização de outras técnicas compensatórias de forma combinada, sendo elas, telhado verde, jardim rebaixado e pavimento permeável. Para a área de estudo foi escolhido um lote padrão de 600 m<sup>2</sup> situado no bairro de Guaratiba, no município do Rio de Janeiro. Escolheu-se oito chuvas diferentes de projeto, variando a duração (1, 3, 6 e 12) e o tempo de recorrência (10 e 25 anos).

O cenário com a implantação de técnicas compensatórias foi comparado com o cenário antes da ocupação e com a ocupação convencional e drenagem tradicional. De modo geral, em escala de lote, as simulações apresentaram resultados satisfatórios, sobretudo quando trabalhado com chuvas de projeto com menores volumes precipitados. Os resultados mostraram também que o volume proposto pela legislação municipal, que para o lote estudado seria de 4,4 m<sup>3</sup>, não é suficiente para a redução da vazão de pico, entretanto quando o mesmo é aliado paralelamente ao jardim rebaixado, mostra-se uma solução hidrológicamente eficiente, chegando, inclusive, a valores para a vazão efluente do lote menores que as de pré-urbanização.

No tocante aos trabalhos experimentais, estes vêm sendo realizados com o intuito de se verificar as vantagens que a utilização de dispositivos de controle de escoamento na fonte pode acarretar para o sistema de drenagem pluvial. No trabalho de Agra (2001) foram registradas vazões de entrada e saída de um microrreservatório que recebia o escoamento proveniente do telhado da biblioteca do Instituto de Pesquisa Hidráulica (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e, diante dos resultados, constatou-se a eficiência do sistema na redução das vazões de pico de escoamento.

Outros trabalhos experimentais com dispositivos de controle de escoamento na fonte foram os de Souza (2002), Acioli (2005), Reis e Oliveira (2016). Nos estudos de Souza (2002) foram instaladas e monitoradas duas trincheiras de infiltração que recebiam o escoamento proveniente do estacionamento do IPH, onde, conforme o

autor, mesmo para eventos de período de retorno maiores do que o de projeto, ambas tiveram desempenhos satisfatórios, apresentando baixos níveis d'água, completo controle de escoamento superficial (sem escoamento remanescente) e baixos tempos de escoamento, permitindo o controle de eventos sucessivos.

Acioli (2005), por sua vez, trabalhou com pavimentos permeáveis de baixo custo e tecnologia simples em um lote de estacionamento situado próximo ao bloco de ensino do IPH. A área trabalhada foi dividida igualmente para a utilização de dois tipos de revestimento, a saber: asfalto poroso, de granulometria aberta; blocos vazados de intertravados de concreto. Os resultados mostraram que, para ambos os revestimentos, o pavimento permeável se mostrou uma técnica eficiente, com um elevado controle do escoamento superficial, bom desempenho hidráulico e com um tempo de esvaziamento sempre inferior ao da literatura.

Reis e Oliveira (2016), assim como Souza (2002), trabalhou com duas trincheiras de infiltração, construídas em uma área experimental de 53 m<sup>2</sup>. Foram monitoradas as vazões de entrada, o volume infiltrado e o volume extravasado. Para a avaliação do desempenho das trincheiras foram consideradas duas chuvas de ensaio, a primeira com vazão de 8,56 m<sup>3</sup>/h e duração de 11 minutos e 30 segundos, representando uma chuva de projeto com período de retorno de aproximadamente 13 anos. Já para a segunda foi considerada uma vazão de 6,79 m<sup>3</sup>/h e uma duração de 15 minutos, com período de retorno próximo de 7 anos. Os resultados mostraram que para os dois ensaios houve uma redução significativa do volume descarregado de água pluvial, sendo a redução para a maior e menor vazão de 70,6% e 70,1% respectivamente. Ademais, notou-se também, quando comparado com as vazões sem o sistema de infiltração, após o extravasamento das trincheiras, um amortecimento no pico da vazão máxima do hidrograma, apresentando uma redução de, aproximadamente, 12% e 13,7%, para as chuvas de período de retorno de 13 anos e 7 anos respectivamente. Por fim, diante dos resultados observados em campo, chegou-se à conclusão de que as trincheiras foram capazes de reter e infiltrar uma porcentagem superior à esperada em projeto, evidenciando-se, assim, uma superestimação quando utilizada o equacionamento usualmente empregado.

Os trabalhos de Graciosa (2005), com uma trincheira de infiltração (experimento e simulação numérica) e Ohnuma Júnior, Andrade e Alves (2007) com o mesmo dispositivo, sendo neste caso construído em um lote real na cidade de São Carlos são também exemplos na linha em discussão com enfoque na estrutura estudada.

No trabalho de Campos e Barbassa (2007) foi analisado o comportamento hidrológico de lotes urbanos a partir de experimentos sob condições reais, diferentes formas de uso, de ocupação do solo e com controle de inundação com a utilização de microreservatórios. Para isso, foram construídos três lotes com iguais dimensões,

sendo o primeiro o “lote natural”, que foi deixado em condições naturais, e os outros dois o lote convencional e sustentável, onde ambos sofreram impermeabilização em 75% de sua área, porém no último foi instalado um microreservatório.

Campos e Barbassa (2007), realiza um trabalho também experimental, porém com o diferencial de se abordar, em uma das situações, com um lote sem intervenção, ou seja, sem a instalação de uma técnica compensatória. Esse tipo de proposta, normalmente, exige uma maior capacidade de observação do terreno no momento de instalação dos equipamentos para seu monitoramento, uma vez que, no lote, a água pode apresentar diversos caminhos preferenciais.

### 3.2 Propagação de incertezas de medidas

Para medir e quantificar determinada propriedade, faz-se necessário seguir uma sequência de passos, que apresenta como objetivo determinar um número (FONSECA, 2004). A grandeza a ser determinada, cujo valor, em geral, é sempre desconhecido, é denominada de mensurando.

**Tabela 1 – Características de erros aleatórios e sistemáticos**

<b>Tipo de Erro</b>	<b>Características</b>
Aleatório	<ul style="list-style-type: none"><li>-Natureza Indeterminada;</li><li>-Ocorrem nos dois sentidos;</li><li>-Podem ser detectados pela repetição da experiência;</li><li>-Minimizados através da análise estatística;</li><li>-Origem subjetiva;</li></ul>

---

---

<b>Tipo de Erro</b>	<b>Características</b>
Sistemático	-Ocorrem, em geral, em um sentido; -Não se detectam pela repetição da experiência; -Não é possível sua análise estatística; -Tem origem determinada; -Podem ser eliminados (total ou parcialmente) introduzindo fatores corretivos ou ensaio em branco;

---

---

Fonte: Fonseca (2004)

As medições de grandezas físicas resultam em aproximações ou estimativas de valores verdadeiros, logo, a falta de conhecimento do valor do mensurando implica em uma incerteza. Assim sendo, com o objetivo de avaliar a qualidade da medição, deve-se sempre indicar quantitativamente as parcelas pertinentes as dúvidas implícitas no processo (MARTINS et al., 2010).

Os valores obtidos nas medições, normalmente, apresentam diferentes tipos de erros, que são classificados em dois grandes grupos, a saber: erros sistemáticos e erros aleatórios ou estatísticos. As principais características desses dois tipos de erros são listadas na Tabela 1, conforme cita FONSECA (2004).

Para eliminar a presença de erros sistemáticos em um experimento, deve-se tomar os seguintes cuidados ((FOX; MCDONALD, 1995)):

- Construir e calibrar equipamento de maneira correta (eliminando erros fixos);
- Utilizar instrumentos com resolução apropriada e sem flutuações de leitura excessiva;
- Realizar e registrar observações adequadamente.

O procedimento que quantifica a validade dos dados e sua precisão é a chamado de análise de incertezas. De acordo com FOX e MCDONALD (1995), para erros aleatórios, o procedimento para determinação da incerteza de medições experimentais e de resultados calculados pode ser dividido em três etapas, sendo elas:

- I) Estimar o intervalo de incerteza para cada quantidade medida;
- II) Enunciar o limite de confiança em cada medição;
- III) Analisar a propagação de incerteza para os resultados calculados a partir de dados experimentais.

Na primeira etapa, a determinação do intervalo de incerteza pode ser feita repetindo a medição diversas vezes, de modo que se obtenha uma distribuição de dados para cada variável. A segunda etapa consiste em enunciar o intervalo de incerteza a probabilidades especificadas. Por exemplo, no caso de medições envolvendo uma coluna de mercúrio (h), onde encontra-se que  $h = 752,6 \pm 0,5$  mm (20 para 1), significa que se deseja apostar 20 por 1 que a altura do mercúrio realmente está dentro de  $\pm 0,5$  mm do valor declarado. No terceiro e último passo, faz-se uma análise da propagação das incertezas nos cálculos realizados.

### 3.3 Intervalo de confiança e teste de hipótese

A estimação de parâmetros populacionais e o teste de afirmações (hipóteses) através do uso de dados populacionais são as duas maiores aplicações da inferência estatística.

Para aproximar um parâmetro populacional, pode-se utilizar estimadores pontuais, que fornecem um único valor numérico. Todavia, sua utilização não possibilita saber a qualidade da estimativa. Assim sendo, estatísticos desenvolveram a estimativa intervalar ou intervalo de confiança, que consistem em construir intervalos que levem em consideração erros amostrais (TRIOLA, 2008).

A taxa de sucesso do procedimento para a construção do intervalo de confiança pode ser avaliada por meio do nível de confiança, expresso em porcentagem. De acordo com TRIOLA (2008), supondo que o processo de estimação seja repetido diversas vezes, o nível de confiança é a proporção de vezes que o intervalo de confiança realmente contém o parâmetro.

Na estatística, quando se faz uma afirmação sobre uma propriedade de uma população tem-se uma hipótese. Segundo SAMOBYL (2009) a hipótese é uma proposição tomada pelo pesquisador que pode ou não ser verdadeira. A análise de inferências sobre parâmetros de uma ou mais populações, utilizando observações de uma amostra, pode ser feita através do teste de hipótese.

## 4 METODOLOGIA

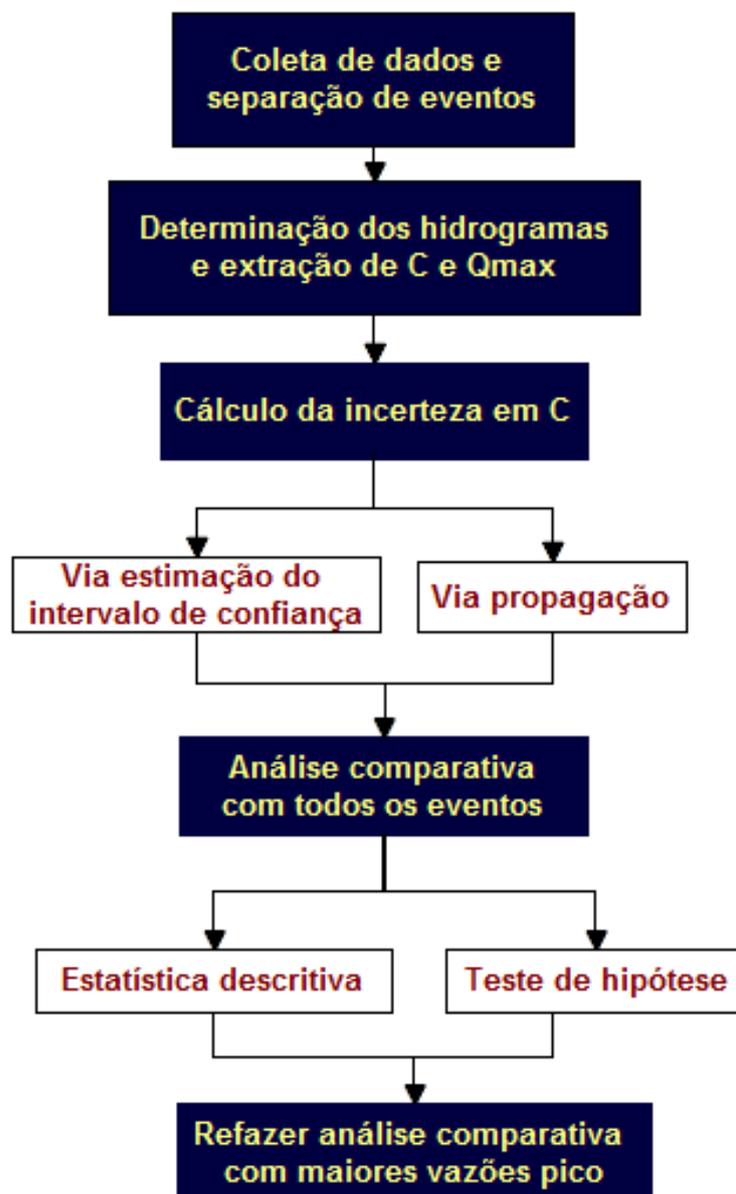
Os passos metodológicos aqui desenvolvidos visam a uma comparação entre três etapas de monitoramento de uma parcela de lote, utilizando como fator de comparação o coeficiente de escoamento (C) e vazões máximas ( $Q_{max}$ ). Dessa forma, o efeito das medidas simplificadas será confirmado ou não em função da diferença entre os valores de C e de  $Q_{max}$  das etapas.

No entanto, não basta computar diferenças, pois mesmo que estas apresentem valores que levem à conclusão de que o efeito das medidas existe, a incerteza na determinação dos valores pode revelar que os resultados são inconclusivos.

Na primeira configuração, sem a utilização de calhas na cobertura, não houve intervenção no lote, sendo o monitoramento feito no período de 12/07/2014 a 26/06/2015. A segunda etapa, ocorrida entre 27/06/2015 a 31/07/2016, foi instalada uma calha na cobertura da parte monitorada do lote, direcionando o escoamento para bem perto do vertedor, simulando a descarga direta para o sistema de drenagem pluvial, de modo a configurar a área do telhado como uma área impermeável diretamente conectada (AIDC). Já na terceira, que teve seu início em 01/08/2016 e seu término em 26/08/2017, foi direcionado todo o escoamento da água para o jardim (área permeável) que fica fora dos limites da área de contribuição ao vertedor monitorada.

O fluxograma apresentado na Figura 1 resume a metodologia que foi empregada no presente trabalho.

Figura 1 – Esquema da metodologia utilizada



Fonte: Autor

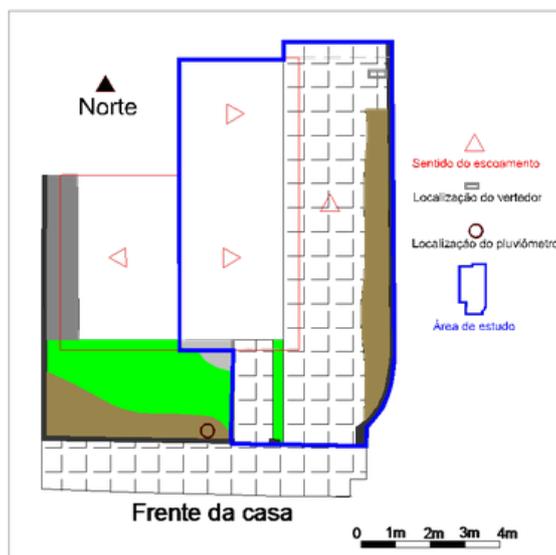
#### 4.1 Lote escolhido para estudo

O lote escolhido para o estudo encontra-se na cidade de Maceió em um pequeno conjunto residencial localizado na avenida Governador Lamemha Filho, no bairro do Feitosa. O lote está inserido na bacia hidrográfica do rio Reginaldo, que é a principal bacia da cidade.

A parte do lote monitorada está representada na Figura 2 . A área é 65,60 m<sup>2</sup>,

composta por: lajota de concreto, telhado (duas águas), brita, grama, concreto, jardim e telhado superposto, conforme mostrado na Tabela 2.

**Figura 2 – Caracterização do local de estudo**



Fonte: Autor

A grama, o jardim da frente, a água da esquerda do telhado e a pequena faixa de concreto na extremidade esquerda não compõem a área de estudo, pois se verificou que a água nunca passou da área do jardim/grama para a área de lajota de concreto, não contribuindo para o sistema de drenagem pluvial. O levantamento topográfico mostrou o ponto baixo no meio da grama e também há uma barreira de concreto de cerca de 5 cm entre estas áreas.

**Tabela 2 – Uso do solo na área de estudo no lote**

Material	Telhado	Lajota de Concreto	Jardim	Grama	Total
Área (%)	45,9	43,5	1,3	9,3	100

Fonte: Autor

Na Figura 3 há uma série de imagens com algumas das características do lote.

Figura 3 – Fotos do lote



Fonte: Autor

## 4.2 Monitoramento hidrológico

Conforme pode ser visto na Figura 2, na frente da residência foi instalado um pluviômetro de báscula com registrador automático. Isto ocorreu no dia 12/07/2014, e o pluviômetro é da marca Hydrological Services Pty Ltd, modelo TB6, basculada de 0,2 mm.

**Figura 4 – Fabricação do vertedor**



Fonte: Neves (2015)

Para o monitoramento da vazão, foi fabricado um vertedor (Figura 4), no qual foi inserido um sensor de nível e um sensor de pressão atmosférica, para determinar as cargas hidráulicas.

**Figura 5 – Calibração e teste com o vertedor e sensores**



Fonte: Neves (2015)

A calibração do vertedor, mostrada na Figura 5, foi realizada no laboratório de hidráulica do CTEC, em dezembro de 2016, utilizando um aparato experimental no qual há um circuito fechado com dois reservatórios, uma bomba e condutos fechados.

Na ocasião também foram testados os sensores. No circuito fechado utilizado para a calibração, em um dos reservatórios utilizados há uma régua graduada em centímetros, possibilitando a verificação da variação de volume em um intervalo de tempo (cronômetro), e assim o cálculo da vazão através da Equação 4.1.

$$Q = \frac{V}{T} \quad (4.1)$$

sendo:  $Q_c$  = vazão;  $V$  = volume;  $T$  = tempo.

O local de instalação do vertedor, destacado na Figura 2, foi definido de modo que a medição da vazão ocorresse em um único ponto, resultante de todas as subdivisões existentes (ocupação do solo com jardim, lajota de concreto, grama, concreto, telhado). Contudo, para possibilitar a medição em um único ponto foi necessário criar um meio de a água convergir para o mesmo e único ponto de medição da vazão, integrando os processos no lote. A Figura 6 mostra o local onde foi instalado o vertedor com o tubo de PVC, onde fica alojado o sensor de pressão.

As coletas dos dados de vazão foram feitas semanalmente ou quinzenalmente, gerando planilhas que contém a altura da coluna d'água em um determinado intervalo de tempo de 1 minuto ou 30 segundos. Posteriormente, são gerados gráficos para melhor visualização dos eventos, e estes são selecionados ao observar momentos nos quais há ascensão e recessão da altura da água no vertedor. A Figura 7 ilustra o processo de identificação e particularização de dois eventos registrados no vertedor.

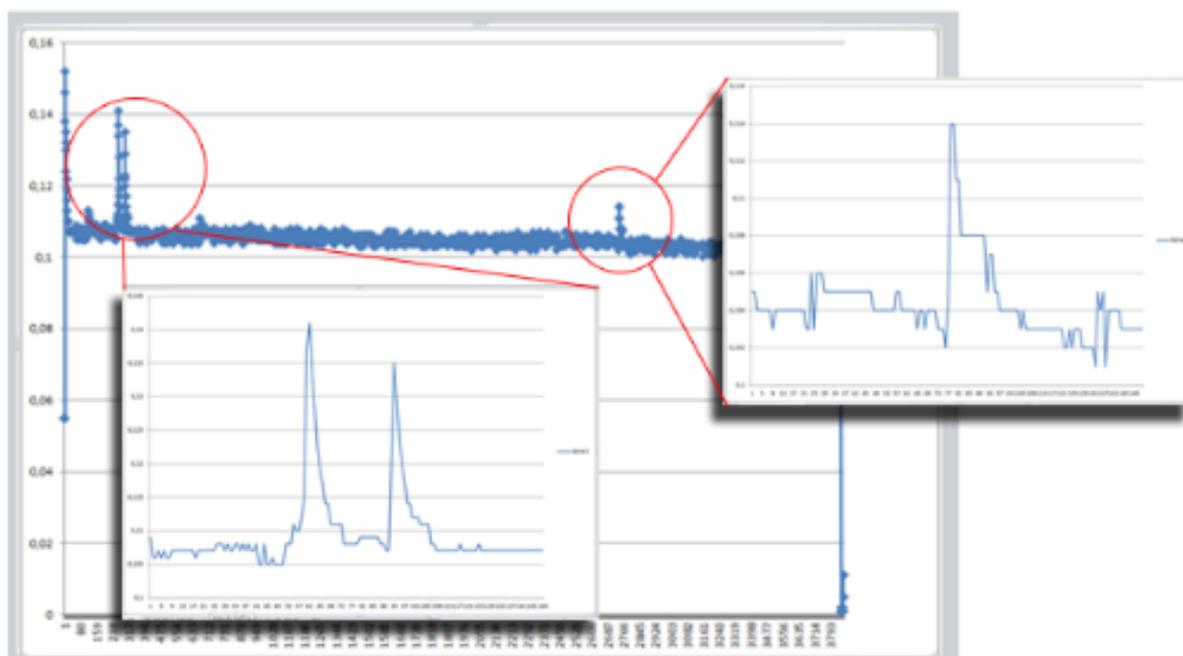
No que se refere a coleta de dados de precipitação, o pluviômetro fornece dados por basculada. Para discretizar os dados foi utilizado um programa, cuja primeira versão foi criada em 2008, mas com o aperfeiçoamento dentro do contexto deste trabalho, em um projeto de iniciação científica. Para separação de eventos foi utilizado apenas um dos critérios sugeridos por Silveira (2000), que é no mínimo 4 horas sem chuva.

**Figura 6 – Vertedor com tubo PVC usado para alojar sensor de nível**



Fonte: Autor

Figura 7 – Seleção de hidrogramas



Fonte: Neves (2016)

Com a coleta de dados em uma frequência média de 7 dias e com o sensor do vertedor programado para fornecer profundidades a cada 1 minuto, tem-se 10.080 registros. A fim de evitar erros nos dados de profundidade vindos do sensor de pressão, procura-se deixar a água na crista do vertedor, que apresenta 10,2 cm de altura, sendo feitos registros pelo medidor de pressão antes mesmo da ocorrência de eventos. Quando há visitas ao local e os dados são baixados, verifica-se se as primeiras medidas registradas coincidem com a altura da crista do vertedor, caso contrário, busca-se a diferença média entre a profundidade registrada no sensor e a profundidade de 10,2 cm e se supõem que esta diferença ocorre quando da chegada da água em eventos, ou seja, esta diferença média é utilizada para corrigir todos os dados do hidrograma. Isto ainda será melhor explicado no cálculo da incerteza na medição de profundidade do sensor.

O Apêndice A apresenta a planilha de visita de campo.

#### 4.3 Determinação do hidrograma e cálculo do coeficiente de escoamento

As cargas hidráulicas em função do tempo foram calculadas, para as três etapas, a partir dos dados da altura da coluna d'água no vertedor. Com as cargas hidráulicas e com a equação calibrada do vertedor, calcularam-se as vazões e, por conseguinte, os hidrogramas.

O coeficiente de escoamento (C), Equação 4.2, foi calculado pela razão entre

volume escoado ( $V_e$ ) e precipitado ( $V_p$ ).

$$C = \frac{V_e}{V_p} \quad (4.2)$$

O volume escoado foi calculado pelo somatório da multiplicação das vazões, obtidas pela equação da calibração, pelo intervalo de tempo de discretização (1 min), conforme a Equação 4.3. O volume precipitado foi obtido dos dados do pluviômetro, via Equação 4.4.

$$V_e = \sum Q \cdot \Delta T \quad (4.3)$$

$$V_p = P \cdot A \quad (4.4)$$

sendo:  $V_e$  = volume escoado;  $Q$  = vazões obtidas pela equação de calibração;  $\Delta T$  = intervalo de tempo de discretização;  $V_p$  = volume precipitado;  $P$  = precipitação total de um evento;  $A$  = área da parcela de lote estudada.

#### 4.4 Incerteza na determinação do coeficiente de escoamento

A determinação da incerteza no coeficiente de escoamento foi feita de duas formas: a primeira via propagação das incertezas das medições nas equações; a segunda via determinação do intervalo de confiança dos valores já determinados do coeficiente de escoamento.

##### 4.4.1 Incerteza no cálculo do C por propagação

O coeficiente de escoamento é dado pela razão do volume precipitado pelo volume escoado. O volume precipitado apresenta incerteza oriunda das medições no pluviômetro (seção 4.4.2) e o volume escoado da carga hidráulica (seção 4.4.3), logo, o coeficiente apresentará propagação de incertezas provocadas pelos dois termos. Para o cálculo da propagação da incerteza em C foi utilizado o procedimento de FOX e MCDONALD (1995).

$$C = f(V_p, V_e)$$

$$dC = \frac{\partial C}{\partial V_p} \cdot dV_p + \frac{\partial C}{\partial V_e} \cdot dV_e = \delta V_p + \delta V_e$$

$$\frac{dC}{C} = \frac{1}{C} \cdot \frac{\partial C}{\partial V_p} \cdot dV_p + \frac{1}{C} \cdot \frac{\partial C}{\partial V_e} \cdot dV_e = \frac{V_p}{C} \cdot \frac{\partial C}{\partial V_p} \cdot \frac{dV_p}{V_p} + \frac{V_e}{C} \cdot \frac{\partial C}{\partial V_e} \cdot \frac{dV_e}{V_e}$$

$$= \frac{V_p}{C} \cdot \frac{\partial C}{\partial V_p} \cdot \mu_{V_p} + \frac{V_e}{C} \cdot \frac{\partial C}{\partial V_e} \cdot \mu_{V_e}$$

$$\frac{dC}{C} = \frac{\delta V_p}{C} + \frac{\delta V_e}{C} = \frac{V_p}{C} \cdot \frac{\partial C}{\partial V_p} \cdot \mu_{V_p} + \frac{V_e}{C} \cdot \frac{\partial C}{\partial V_e} \cdot \mu_{V_e}$$

Fazendo  $\mu_C = dC/C$ ,  $\mu_{C, \forall p} = \delta \forall p / C$  e  $\mu_{C, \forall e} = \delta \forall e / C$ , a incerteza percentual  $\mu_C$  é calculada por

$$\mu_C = \sqrt{\mu_{C, \forall p}^2 + \mu_{C, \forall e}^2}$$

Agora, sabendo que

$$C = \frac{\forall_e}{\forall_p} = \forall_e \cdot \forall_p^{-1}$$

e

$$\frac{\delta C}{\delta \forall_p} = -\forall_e \forall_p^{-2}$$

e

$$\frac{\delta C}{\delta \forall_e} = \frac{1}{\forall_p}$$

e

$$\mu_{C, \forall p} = \frac{\forall_p}{C} \left( -\frac{\forall_e}{\forall_p^2} \right) \cdot \mu_{\forall p}$$

e

$$\mu_{C, \forall e} = \frac{\forall_e}{C \cdot \forall_p} \cdot \mu_{\forall e}$$

Logo

$$\mu_{C, \forall p} = \sqrt{\left( \frac{\forall_p}{C} \left( -\frac{\forall_e}{\forall_p^2} \right) \cdot \mu_{\forall p} \right)^2 + \left( \frac{\forall_e}{C \cdot \forall_p} \cdot \mu_{\forall e} \right)^2}$$

Assim

$$\mu_C = \sqrt{\mu_{\forall p}^2 + \mu_{\forall e}^2}$$

então

$$\frac{dC}{C} = \sqrt{\left( \frac{d\forall_p}{\forall_p} \right)^2 + \left( \frac{d\forall_e}{\forall_e} \right)^2}$$

Sabendo que

$$d\forall_p = \frac{t_c \cdot s}{\sqrt{n}} \cdot A$$

e

$$\forall_p = P \cdot A$$

e

$$d\forall_e = E = t_c \cdot \sqrt{\hat{\sigma}^2 \cdot \left[ \frac{1}{n} + \frac{h - \bar{h}}{S_{xx}} \right]}$$

e

$$\forall_e = a \cdot h^b$$

Substituindo os termos, chega-se a seguinte expressão para a incerteza no

coeficiente de escoamento

$$\frac{dC}{C} = \sqrt{\left(\frac{t_{cp} \cdot s}{\sqrt{n}} \cdot A\right)^2 + \left(\frac{\sum t_{ce} \cdot \sqrt{\hat{\sigma}^2 \cdot \left[\frac{1}{n} + \frac{h-\bar{h}}{S_{xx}}\right]} \cdot \Delta T}{\sum a \cdot h^b \cdot \Delta T}\right)^2} \quad (4.5)$$

#### 4.4.2 Incerteza na determinação do volume precipitado

Para o cálculo da incerteza na determinação do volume precipitado foi utilizado o pluviômetro instalado no lote. Inicialmente, em um dia sem chuva, escolheu-se um recipiente com um volume conhecido de 500ml.

Posteriormente, com o recipiente cheio de água, despejou-se cuidadosamente toda a água contida no recipiente no pluviômetro. Esse procedimento foi repetido 30 vezes. Em seguida, foram verificadas as alturas registradas pelo equipamento.

Para um nível de confiança de 95%, foi utilizada a Equação 4.6 para o cálculo da incerteza da precipitação. Para maiores detalhes verificar Anexo A.

$$\Delta P = \frac{t_c \cdot s}{\sqrt{n}} \quad (4.6)$$

sendo:  $\Delta P$  = incerteza na medição da precipitação pelo pluviômetro;  $t_c$  = score da distribuição t de Student, usado para delimitar a faixa do nível de confiança;  $s$  = desvio padrão;  $n$  = tamanho da amostra.

Logo, pode-se calcular a incerteza no volume precipitado pela Equação 4.7.

$$\Delta V_p = \frac{t_c \cdot s}{\sqrt{n}} \cdot A \quad (4.7)$$

A incerteza relativa percentual para o volume precipitado é dado pela divisão de  $\Delta P$  pela precipitação total, Equação 4.8.

$$\mu_{V_p} = \frac{\frac{t_c \cdot s}{\sqrt{n}} \cdot A}{P \cdot A} \quad (4.8)$$

#### 4.4.3 Incerteza no cálculo do volume escoado

Conforme mostra a Equação 4.3, o volume escoado é composto pelo somatório da multiplicação das vazões, calculadas a partir da curva de calibração pelo intervalo de tempo de discretização. Como o intervalo de tempo é constante (1 min e 30 s) e as

vazões dependem somente da carga hidráulica, o volume escoado também dependerá somente da carga hidráulica.

A incerteza no volume escoado (Equação 4.9), para um nível de confiança de 95%, foi calculada pela divisão do somatório da margem de erro das vazões, tomadas a partir da curva de calibração, multiplicadas pelo intervalo de tempo de discretização pelo volume total escoado multiplicado pelo intervalo de tempo de discretização.

$$\mu_e = \frac{\sum \frac{t_{ce} \cdot \sqrt{\hat{\sigma}^2 \cdot [\frac{1}{n} + \frac{h-\bar{h}}{S_{xx}}]}}{\sqrt{n}} \cdot \Delta T}{\sum a \cdot h^b \cdot \Delta T} \quad (4.9)$$

sendo:  $t_{ce}$  = score da distribuição t de Student, usado para delimitar a faixa do nível de confiança;  $\sigma^2$  = variância;  $n$  = tamanho da amostra;  $\bar{h}$  = altura média;  $S_{xx}$  = soma dos quadrados das alturas;

#### 4.4.4 Incerteza calculada diretamente no coeficiente de escoamento

A incerteza calculada diretamente no coeficiente de escoamento foi realizada a partir da estimação do intervalo de confiança para a média.

No Anexo A está explicado como realizar a estimação de intervalo de confiança.

### 4.5 Análise comparativa dos coeficientes de escoamento nas três etapas de direcionamento do escoamento superficial no lote

Inicialmente, foi realizada uma análise via estatística descritiva com os dados das três etapas. Após a estatística descritiva indicar diferenças, estas foram observadas de modo a se verificar a significância. Isto foi feito via faixas de incerteza com os passos metodológicos explicados anteriormente e também com teste de hipótese formais para diferentes parâmetros.

#### 4.5.1 Estatística descritiva com os três conjuntos de valores de coeficiente de escoamento

Para facilitar interpretação, análise e comparação das características dos conjuntos de valores de coeficientes de escoamento para a três configurações de monitoramento foram utilizados gráficos estatísticos, sendo eles: histogramas e diagramas de caixa (boxplots).

#### 4.5.2 Teste de hipótese dois a dois entre os conjuntos de valores de coeficientes de escoamento das etapas

Nesta seção foram feitas inferências, para as três configurações de monitoramento, dois a dois, sobre as médias dos coeficientes de escoamento e as vazões de pico. Esse procedimento foi repetido considerando apenas os coeficientes médios e as vazões de pico que superaram o terceiro quartil, obtidos via estatística descritiva. Detalhes do método estão no Anexo C.

A hipótese testada foi que não houve mudança significativa no coeficiente de escoamento ou nas vazões de pico por causa do redirecionamento do escoamento do telhado.

### 4.6 Análise comparativa com eventos de maiores vazões de pico

No estudo de drenagem urbana, é de fundamental importância a observância dos eventos com vazões de pico maiores. Sendo assim, todo o processo de comparação foi feito, pois o redirecionamento pode ter efeito diferente dependendo da magnitude das vazões geradas. Por exemplo, pode haver diferença significativa no coeficiente de escoamento, vazão máxima, volumes, etc. quando levados em conta todos os eventos, mas pode não haver diferença significativa nos mesmos parâmetros para eventos com vazões de pico maiores.

O critério para definir o que é um evento de grande vazão de pico vem da estatística descritiva, de modo que, para cada etapa, as vazões de pico maiores serão aquelas que superaram o terceiro quartil (Q3).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

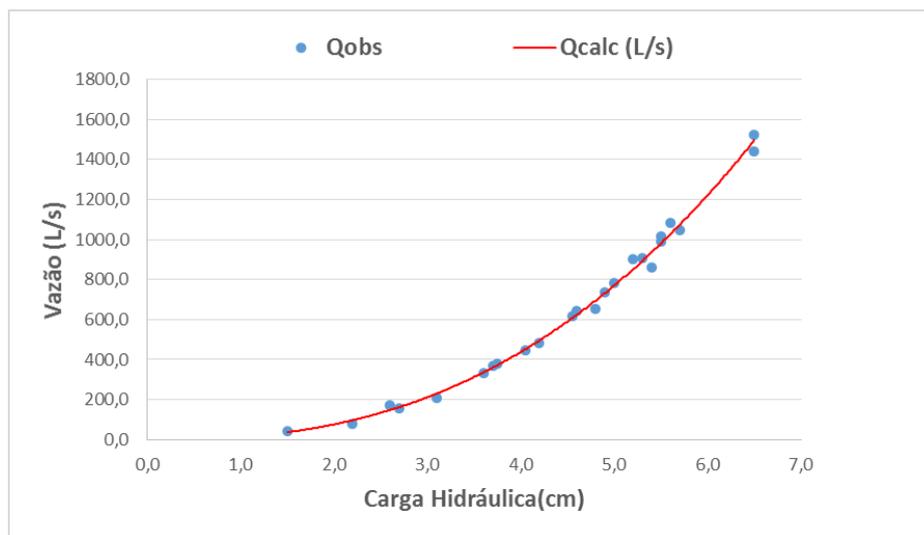
### 5.1 Curva de calibração e análise de regressão

Com os resultados obtidos da calibração do vertedor (seção 4.2), foi possível determinar a equação da curva de calibração (Equação 5.1), mostrada na Figura 8, e as curvas das margens de erro, representadas na Figura 9, para um nível de confiança de 95%.

$$Q = 13,15.H^{2,53} \quad (5.1)$$

sendo: Q = vazão no vertedor em mL/s; H= é a carga hidráulica acima da crista do vertedor em cm.

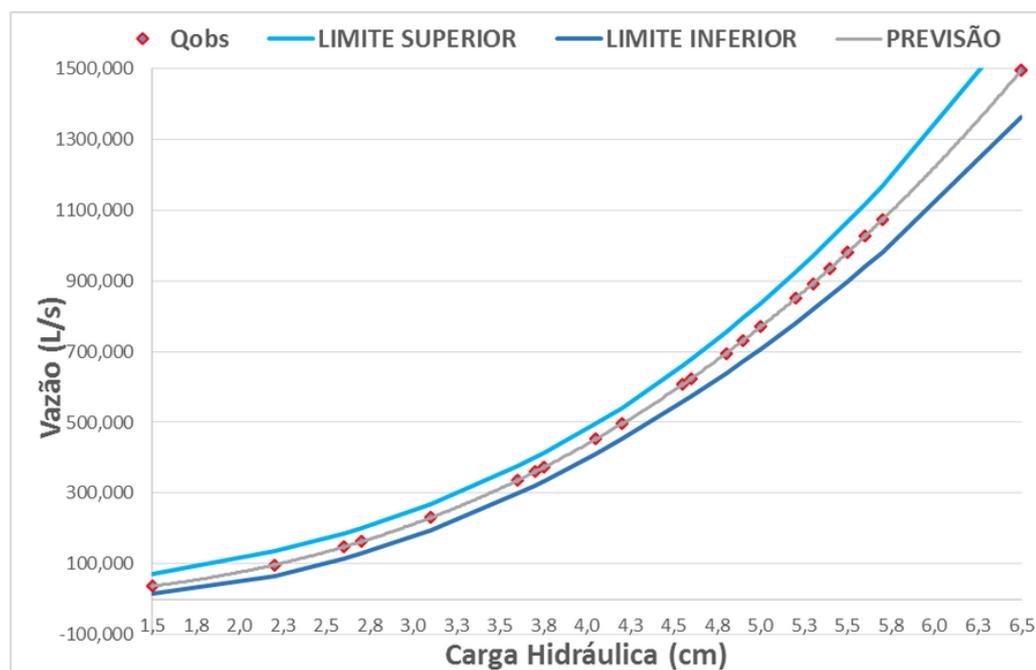
**Figura 8 – Curva de calibração do vertedor**



Fonte: Autor

Com o objetivo de verificar a significância da regressão, ou seja, avaliar sua adequabilidade, foram feitos dois testes de hipóteses, sendo o primeiro pelo Teste t e o segundo pelo método da Análise de Variância (ANOVA). Para ambos os testes a regressão foi considerada significativa, havendo evidências suficientes entre as variáveis em estudo (H e Qobs).

Figura 9 – Intervalo de confiança na curva de calibração do vertedor



Fonte: Autor

## 5.2 Incerteza na determinação do coeficiente de escoamento

### 5.2.1 Incerteza no cálculo do volume precipitado

Como descrito na seção 4.4.2, através do despejo de água, contida em um recipiente cheio, com um volume de 500ml, no pluviômetro, foram registradas pelo equipamento 30 alturas. A Tabela 3 mostra as alturas registradas em mm.

Para o conjunto de dados obtidos foi calculado um desvio padrão ( $s$ ) de 0,157 mL. Utilizando a Equação 4.6, para um nível de confiança de 95% e  $t_c = 2,045$ , chegou-se a uma incerteza  $\Delta P$  de 0,059 mm.

Tabela 3 – Volumes obtidos a partir do pluviômetro

Medição	Volume	Medição	Volume	Medição	Volume
1 <sup>o</sup>	17	11 <sup>o</sup>	16,8	21 <sup>o</sup>	16,4
2 <sup>o</sup>	16,6	12 <sup>o</sup>	16,8	22 <sup>o</sup>	16,6
3 <sup>o</sup>	16,6	13 <sup>o</sup>	16,6	23 <sup>o</sup>	16,4
4 <sup>o</sup>	16,8	14 <sup>o</sup>	16,6	24 <sup>o</sup>	16,4
5 <sup>o</sup>	16,8	15 <sup>o</sup>	16,8	25 <sup>o</sup>	16,6
6 <sup>o</sup>	16,6	16 <sup>o</sup>	16,4	26 <sup>o</sup>	16,4
7 <sup>o</sup>	16,6	17 <sup>o</sup>	16,6	27 <sup>o</sup>	16,4
8 <sup>o</sup>	16,6	18 <sup>o</sup>	16,4	28 <sup>o</sup>	16,6
9 <sup>o</sup>	16,8	19 <sup>o</sup>	16,6	29 <sup>o</sup>	16,6
10 <sup>o</sup>	16,8	20 <sup>o</sup>	16,6	30 <sup>o</sup>	16,6

Fonte: Autor

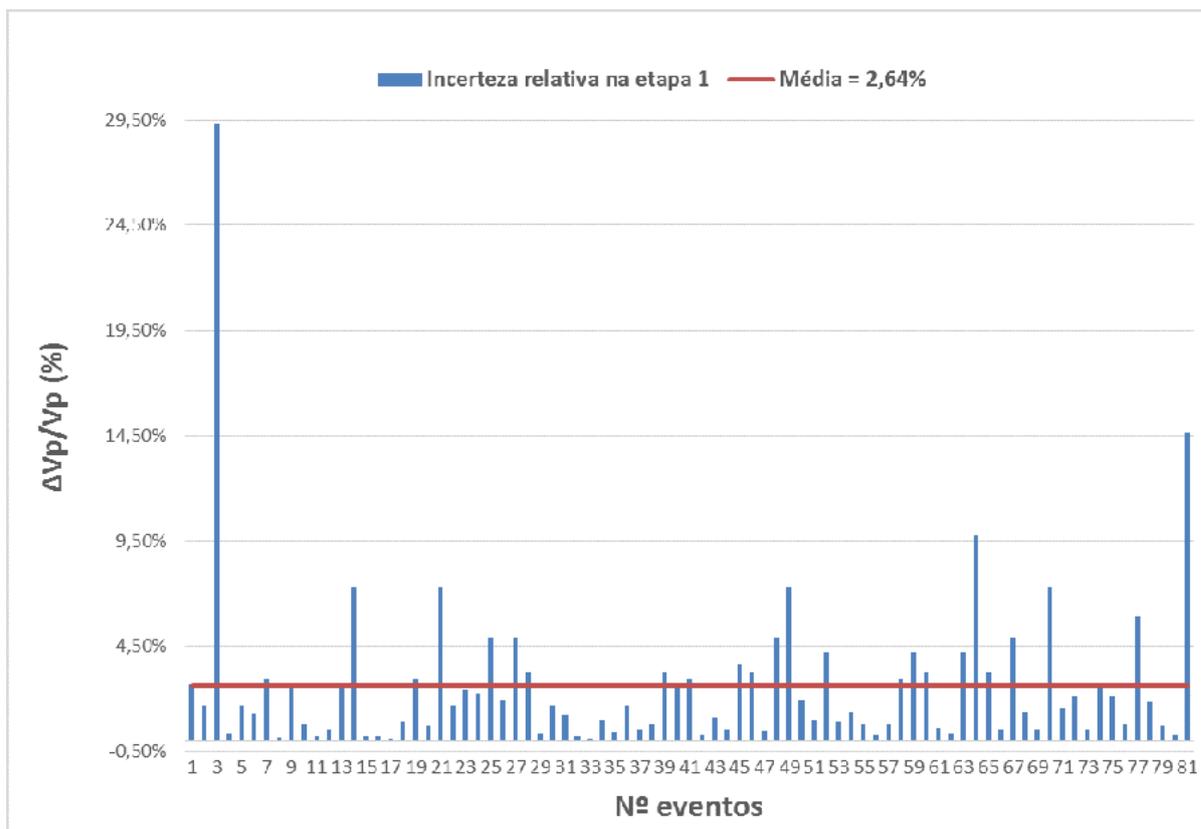
De posse da incerteza na precipitação  $\Delta P$ , calculou-se, para cada etapa do trabalho, as incertezas relativas para os volumes precipitados através da Equação 4.6.

#### 5.2.1.1 Incerteza relativa para a etapa 1

As incertezas relativas percentuais dos volumes precipitados para os eventos da etapa 1 estão representadas na Figura 10. A incerteza relativa percentual média encontrada foi de 2,64%.

Ao analisar detalhadamente as incertezas relativas percentuais, é possível verificar que a incerteza do evento 3, quando comparada com as dos demais, apresenta um valor alto, alcançando quase 30%. Investigando separadamente este evento, verifica-se que esse comportamento se deve ao fato de que foi obtido um valor baixo para a precipitação total, que se encontra no denominador no cálculo da incerteza do volume precipitado.

**Figura 10 – Incertezas relativas do volume precipitado da etapa 1**

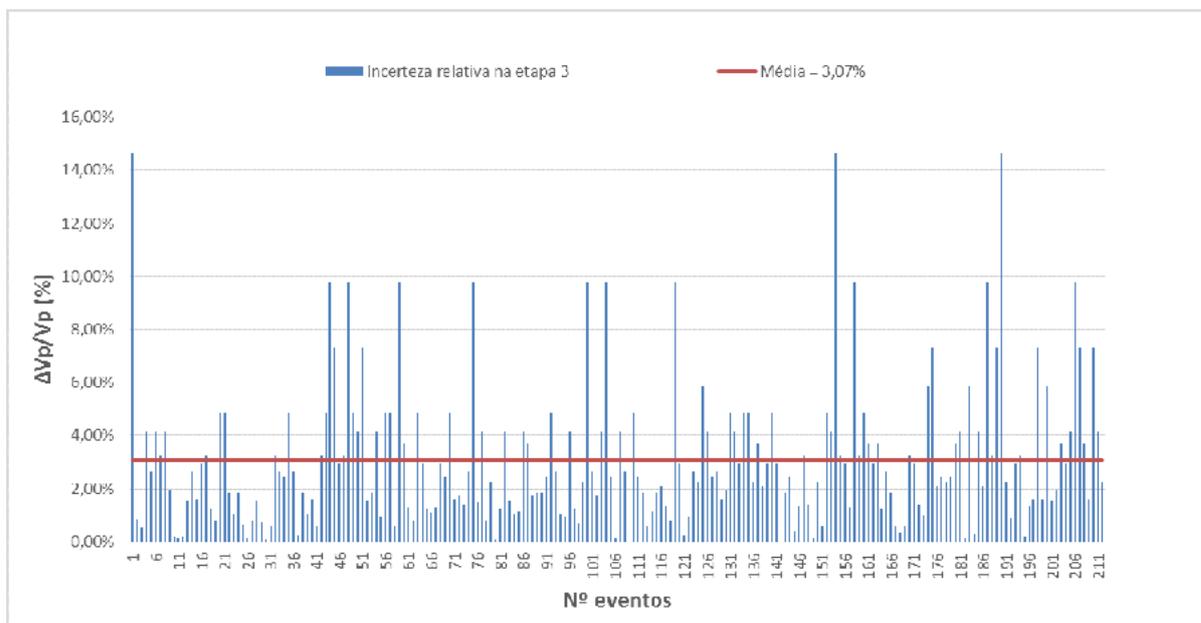


Fonte: Autor

### 5.2.1.2 Incerteza relativa para a etapa 2

Para a etapa 2, as incertezas relativas dos volumes precipitados são mostradas na Figura 11. A incerteza relativa percentual média encontrada foi de 3,07%.

**Figura 11 – Incertezas relativas do volume precipitado da etapa 2**

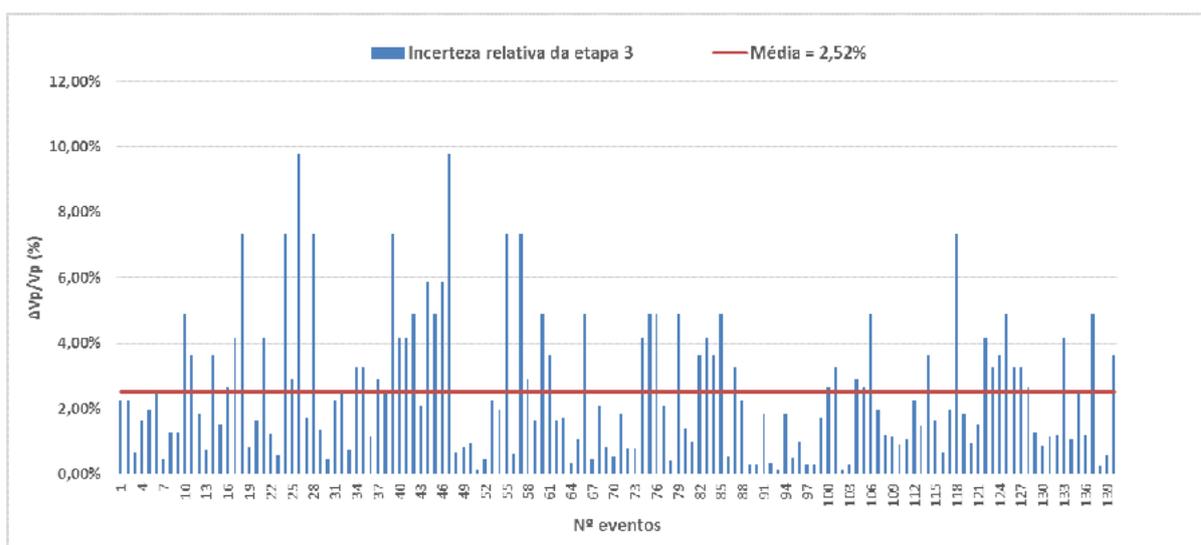


Fonte: Autor

### 5.2.1.3 Incerteza relativa para a etapa 3

A Figura 12 apresenta as incertezas relativas referente aos volumes precipitados para todos os eventos da etapa 3, com incerteza relativa média de 2,52%.

**Figura 12 – Incertezas relativas do volume precipitado da etapa 3**

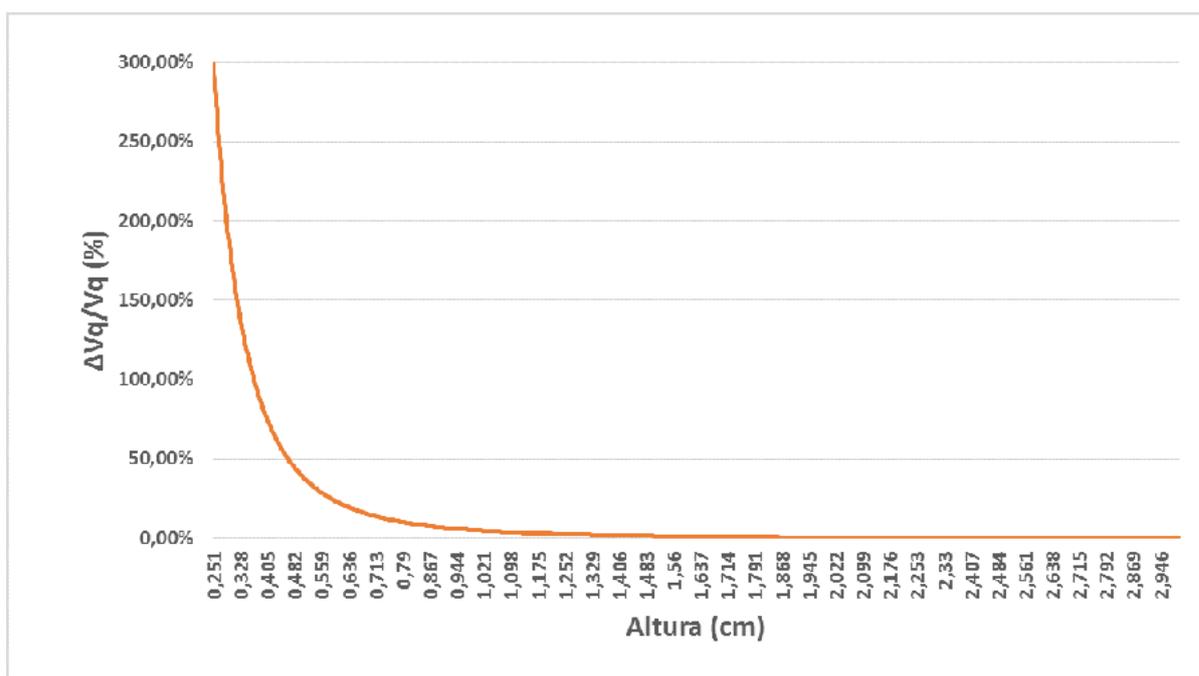


Fonte: Autor

### 5.2.2 Incerteza no cálculo do volume escoado

Para o cálculo das incertezas no volume escoado, para as três etapas do trabalho, foi utilizada a Equação 4.9. Observou-se que para pequenas alturas as incertezas apresentaram valores muito altos. Esse comportamento pode ser visualizado na Figura 13, que apresenta o gráfico da incerteza no cálculo do volume escoado em função da altura registrada no vertedor.

**Figura 13 – Gráfico da incerteza no cálculo do volume escoado**



Fonte: Autor

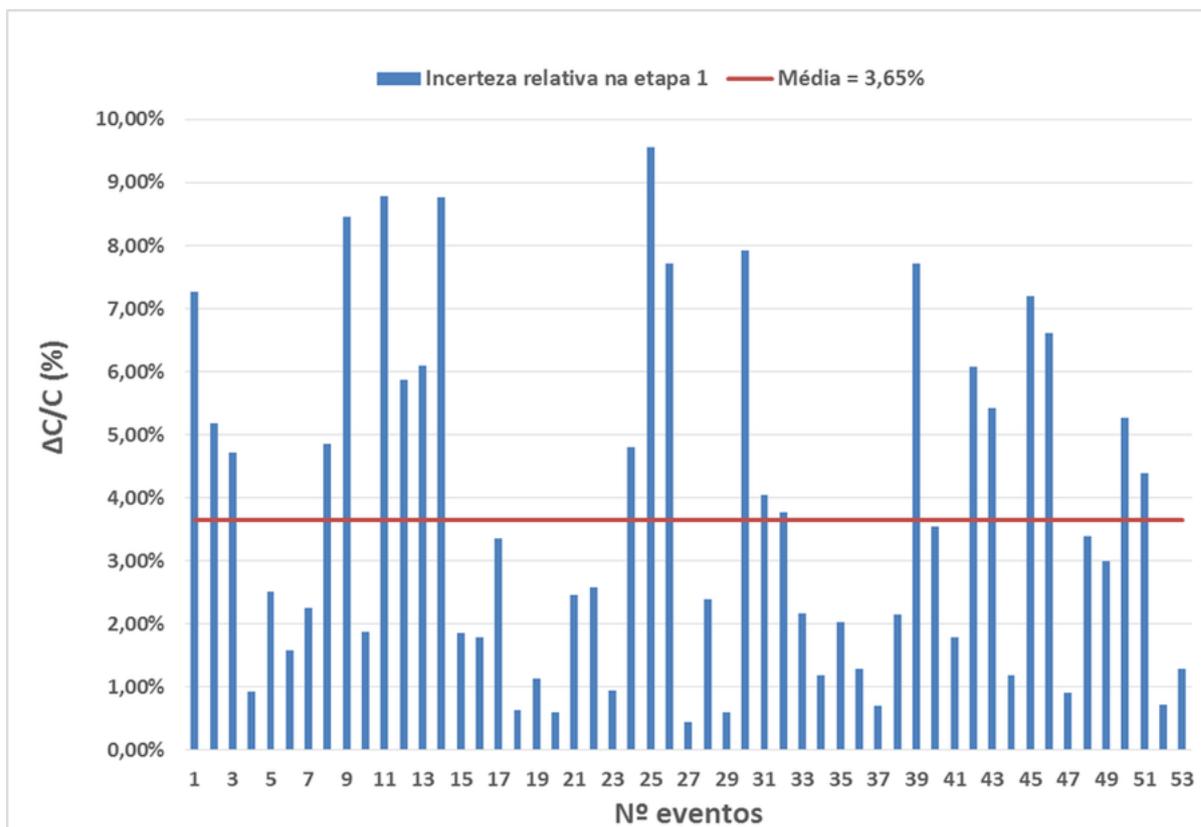
### 5.2.3 Incerteza no cálculo do coeficiente de escoamento utilizando a curva de calibração

Para o cálculo da incerteza no coeficiente de escoamento foi utilizada a Equação 4.5. Em virtude das altas incertezas encontradas para alturas pequenas, como comentado na seção anterior, foram considerados apenas os eventos que apresentaram incertezas menores que 10%.

#### 5.2.3.1 Incerteza relativa para a etapa 1

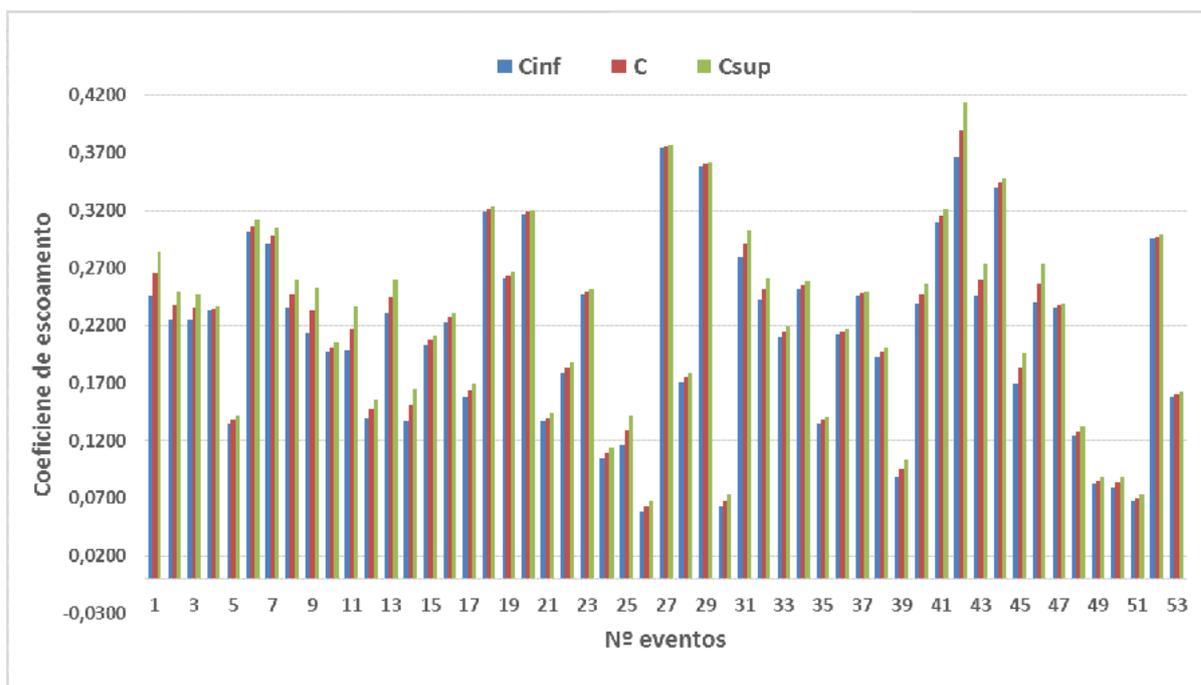
A etapa 1 apresentou 53 eventos com incerteza relativa percentual menor que 10%. A incerteza média encontrada foi de 3,65%. A Figura 14 ilustra as incertezas relativas para os coeficientes de escoamento da etapa 1.

Figura 14 – Incertezas relativas dos coeficientes de escoamento da etapa 1



Fonte: Autor

Figura 15 – Limite superior e inferior de coeficientes de escoamento da etapa 1



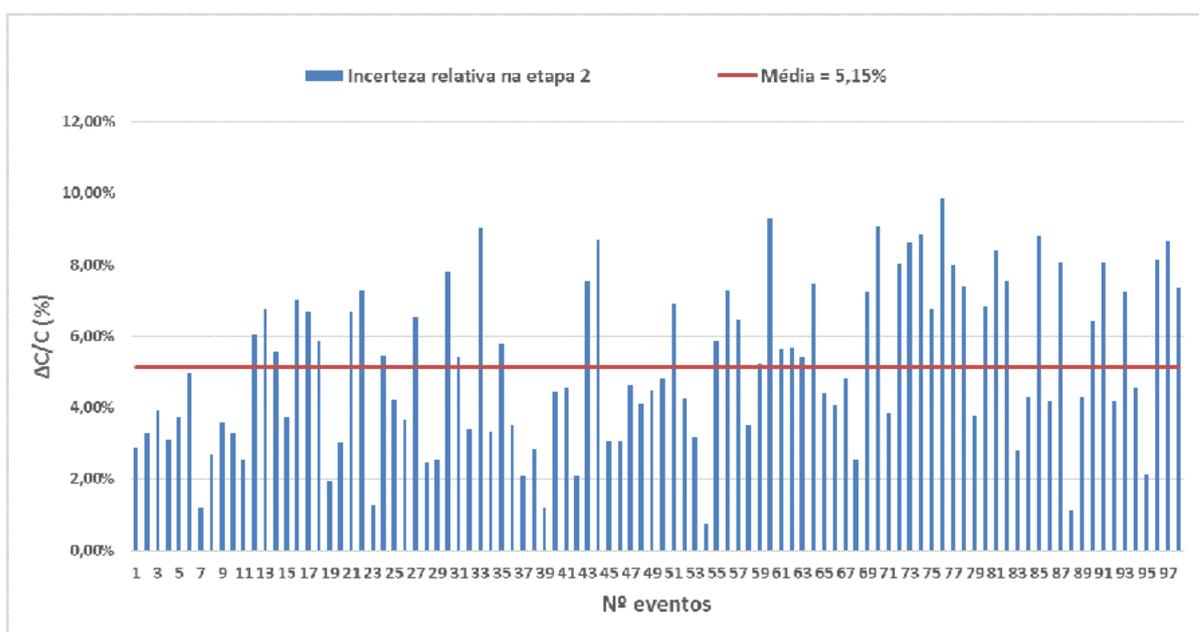
Fonte: Autor

A Figura 15 apresenta o limite inferior e superior para os coeficientes de escoamento que apresentaram incertezas menores que 10%.

### 5.2.3.2 Incerteza relativa para a etapa 2

A Figura 16 mostra as incertezas relativas percentuais para os coeficientes de escoamento da etapa 2. Nota-se que na etapa 2 foram registrados 98 eventos em que a incerteza relativa percentuais apresentou valor menor que 10%, sendo a incerteza média de 5,15%.

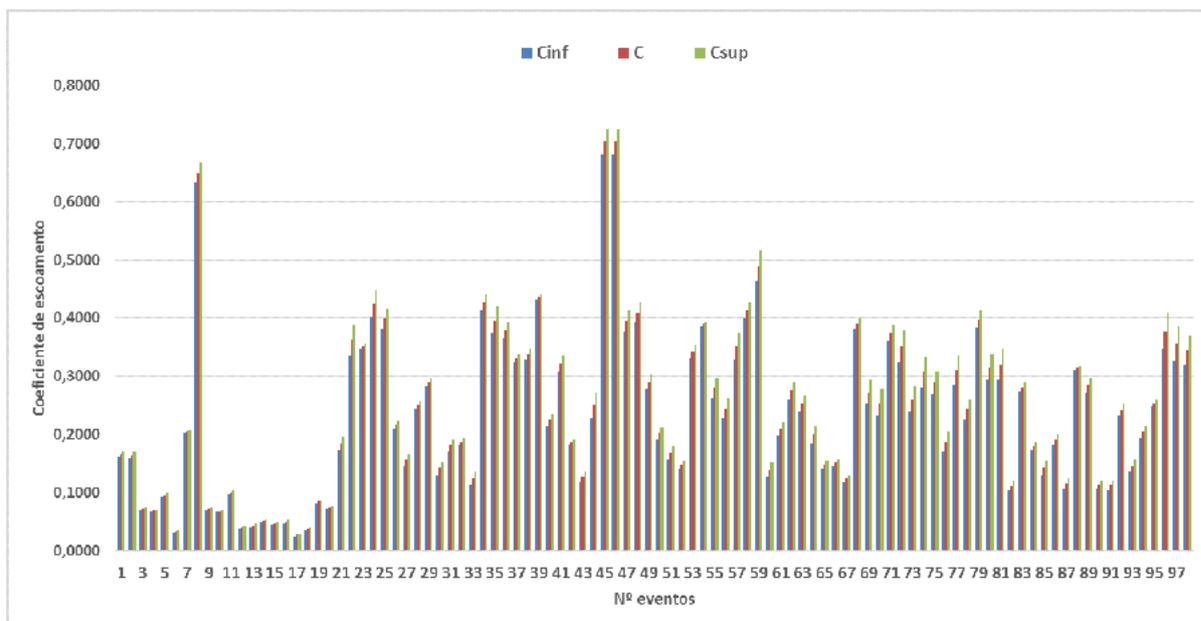
**Figura 16 – Incertezas relativas dos coeficientes de escoamento da etapa 2**



Fonte: Autor

De posse das incertezas, pode-se determinar os limites superiores e inferiores para os coeficientes de escoamento da etapa 2, como mostra a figura 17.

**Figura 17 – Limite superior e inferior de coeficientes de escoamento da etapa 2**

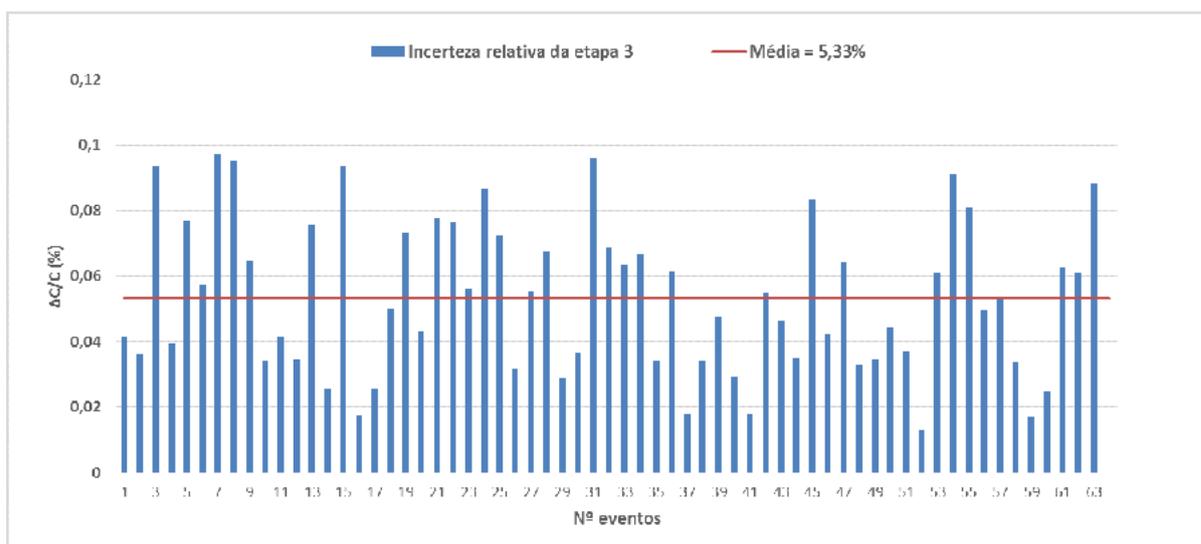


Fonte: Autor

### 5.2.3.3 Incerteza relativa para a etapa 3

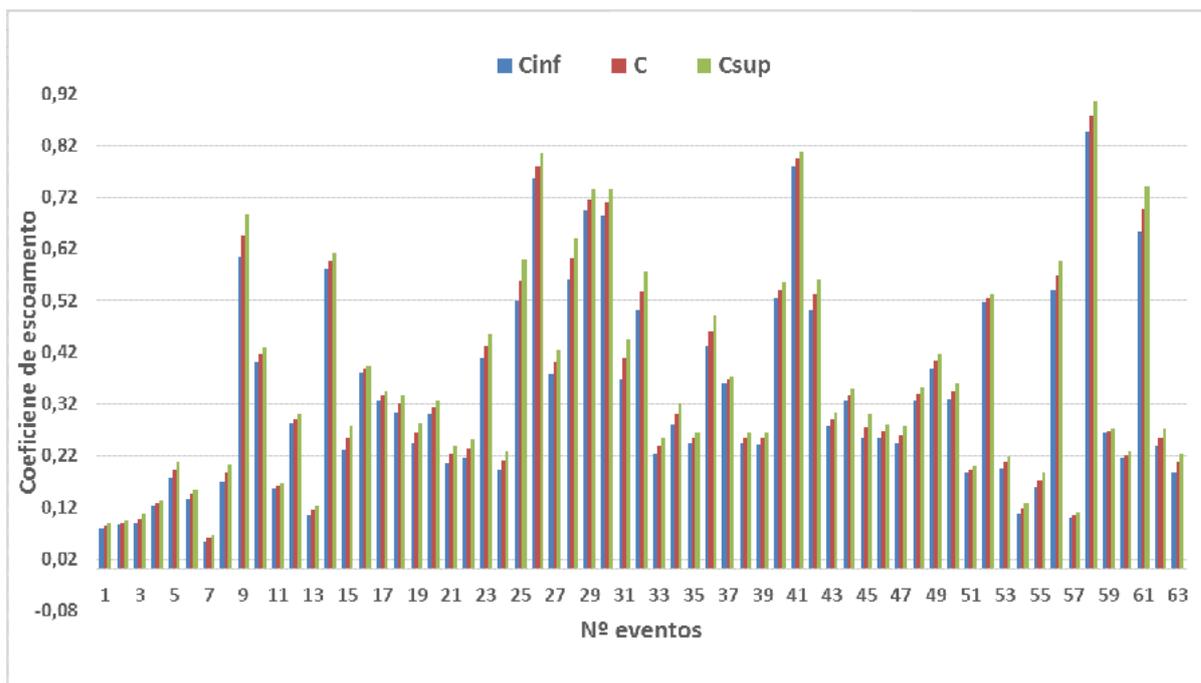
A Figura 18 apresenta as incertezas relativas percentuais para os coeficientes de escoamento da etapa 3. Foram registrados 63 eventos cuja incerteza apresentou valor menor que 10%. Ademais, a incerteza média encontrada foi de 5,33%.

**Figura 18 – Incertezas relativas dos coeficientes de escoamento da etapa 3**



Fonte: Autor

Figura 19 – Limite superior e inferior de coeficientes de escoamento da etapa 3



Fonte: Autor

A Figura 19 apresenta os coeficientes de escoamento da etapa 3 e seus respectivos limites superiores e inferiores, considerando as incertezas calculadas acima.

#### 5.2.4 Incerteza calculada diretamente no coeficiente de escoamento

Considerando um nível de confiança de 95%, foi calculada a incerteza relativa diretamente nos coeficientes de escoamento para as três etapas do trabalho. Com o intuito de comparar com as incertezas obtidas na seção anterior, foram consideradas, para as três etapas, apenas os eventos cujas incertezas não superaram os 10%. O procedimento utilizado segue descrito no Anexo A. Na primeira etapa, para os coeficientes de escoamento dos 53 eventos, com média de 0,217 e desvio padrão de 0,082, chegou-se a uma incerteza relativa  $\mu_1$  de 2,26%. Já para a segunda etapa, para os 98 eventos, com média de 0,244, desvio padrão de 0,141, obteve-se uma incerteza relativa  $\mu_2$  de 2,41%. Para terceira e última etapa, considerando uma média de 0,346 e desvio padrão de 0,197, a incerteza relativa  $\mu_3$  encontrada foi de 4,97%, considerando os 63 eventos.

### 5.3 Coeficientes de escoamento e estatística descritiva

Nesta seção foi feita uma análise combinada dos coeficientes de escoamento encontrados para as três etapas do trabalho, via estatística descritiva.

### 5.3.1 Análise comparativa entre as etapas 1 e 2

Conforme Tabela 4, foram registrados na segunda etapa 131 eventos a mais que na primeira etapa, que corresponde a um aumento de 161,73%. Com o direcionamento do escoamento para perto do vertedor, a média do coeficiente de escoamento aumentou em 5,75% saindo de 0,174 para 0,184.

**Tabela 4 – Resumo da estatística descritiva para as etapas 1 e 2**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	81	212	161,73
Mínimo	0,006	0,001	-83,33
Máximo	0,39	0,703	80,25
Média	0,174	0,184	5,75
Desvio Padrão	0,096	0,129	34,38
Coeficiente de Variação (%)	55,48	70,10	26,35
Mediana	0,17	0,156	-8,24
1º quartil	0,094	0,086	-8,51
3º quartil	0,248	0,274	10,48

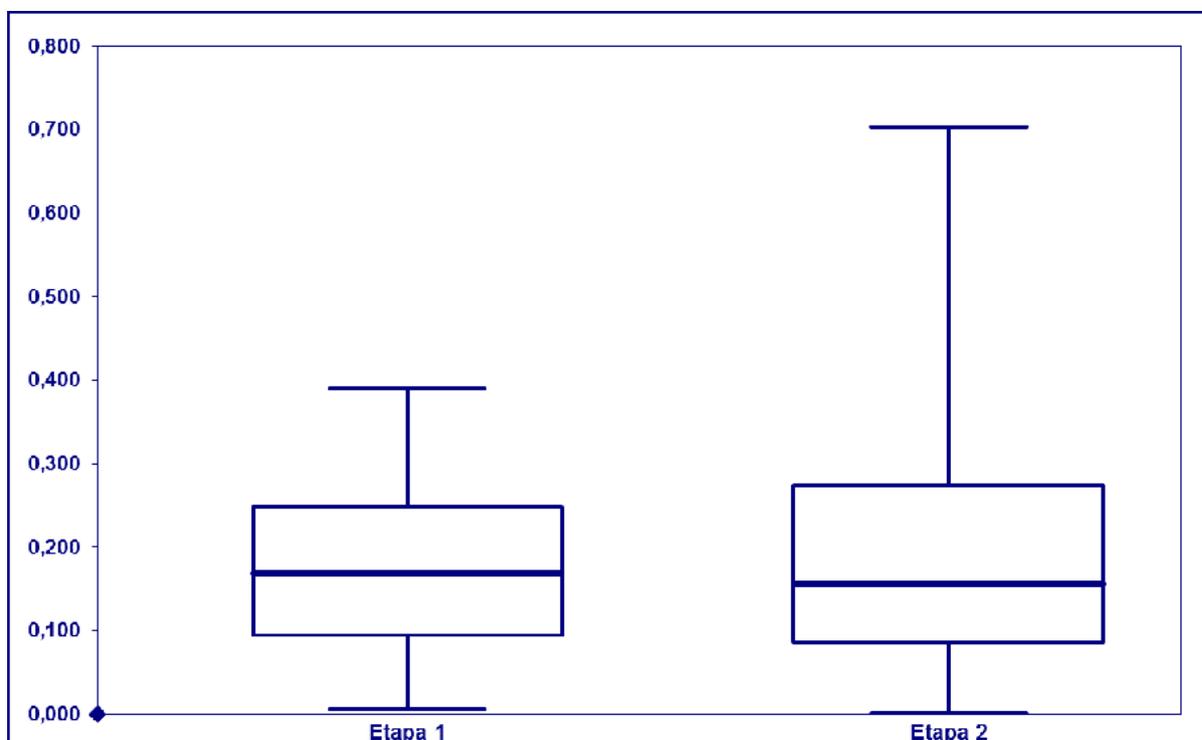
Fonte: Autor

Em adição, o coeficiente de escoamento mínimo sofreu uma diminuição de 83,33%, saindo de 0,006 para 0,001. Por sua vez, o coeficiente de escoamento máximo, com a mudança na configuração do lote, sofreu um aumento, saindo de 0,39 para 0,703, crescendo, assim, em 80,25% na segunda etapa. O desvio padrão e o coeficiente de variação aumentam em 34,38% e 26,35% respectivamente. Nota-se também, observando os diagramas de caixa das duas etapas, Figura 20, que os coeficientes maiores da etapa 2, tomados pelo 3º, superam os da etapa 1.

A Tabela 5 apresenta alguns indicadores para comparação entre as etapas 1 e 2. Na etapa 2 foram monitorados 14 dias a mais. O volume escoado na etapa 2 cresceu em 61,55%, já a precipitação aumentou em 63,63%. O volume e a precipitação por dia de monitoramento aumentaram, respectivamente, em 55,34% e 57,28%. Nos indicadores por evento, da etapa 1 para a etapa 2, houve uma diminuição tanto nos volumes por evento quanto nas precipitações por evento, sendo essa redução

de 39,70% e 38,95% respectivamente. No geral, os indicadores relacionados ao volume precipitado e escoado não apresentaram grandes mudanças.

**Figura 20 – Diagramas de caixa de coeficientes das etapas 1 e 2 para todos os eventos**



Fonte: Autor

**Tabela 5 – Indicadores de comparação entre a etapa 1 e 2**

Indicadores	Etapa 1	Etapa 2
Volume total escoado (L)	11200,58	18094,14
Precipitação total (mm)	721,60	1180,80
Coeficiente de escoamento global	0,24	0,23
Nº de dias monitorados	350	364
Volume por dia (L/dia de monitoramento)	32	49,71
Precipitação por dia (mm/dia de monitoramento)	2,06	3,24

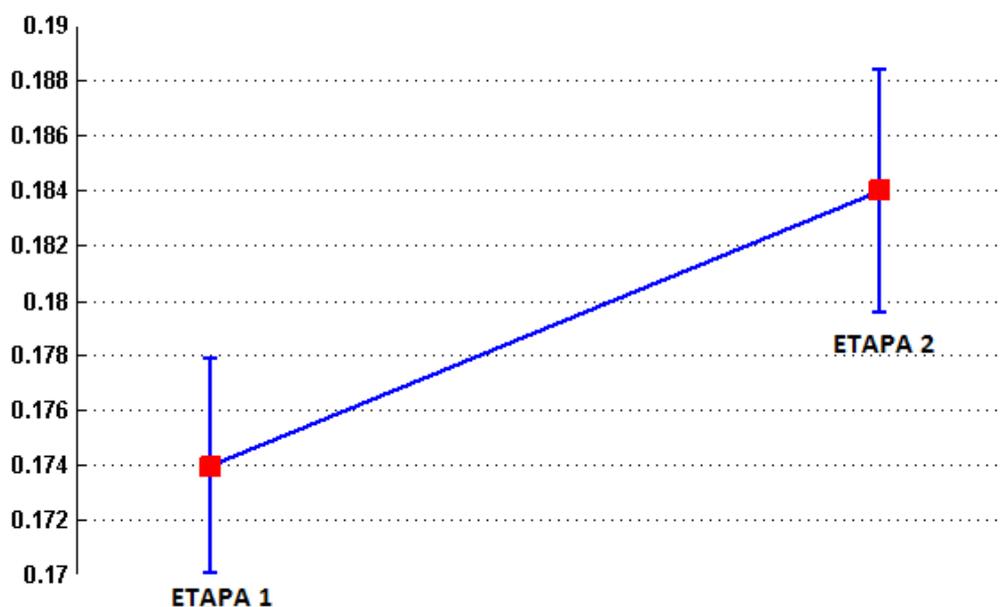
Indicadores	Etapa 1	Etapa 2
Volume por evento (L/evento)	138,28	83,38
Precipitação por evento	8,91	5,44

Fonte: Autor

Na seção 5.2 foram calculadas, para todos os eventos, as incertezas nos coeficientes de escoamento de duas formas: diretamente no coeficiente de escoamento; e por propagação, utilizando a curva de calibração. A Figura 21 mostra graficamente, para as etapas 1 e 2, o intervalo de confiança calculado diretamente nos coeficientes de escoamento. Os limites superior e inferior encontrados foram, respectivamente, de 0,1701 e 0,1779, para a etapa 1, e 0,1796 e 0,1884, para a etapa 2. Observa-se que entre as duas etapas não há superposição de intervalos, o que significa que, possivelmente, um teste estatístico para comparar as duas médias indicará que existe diferenças entre ambas.

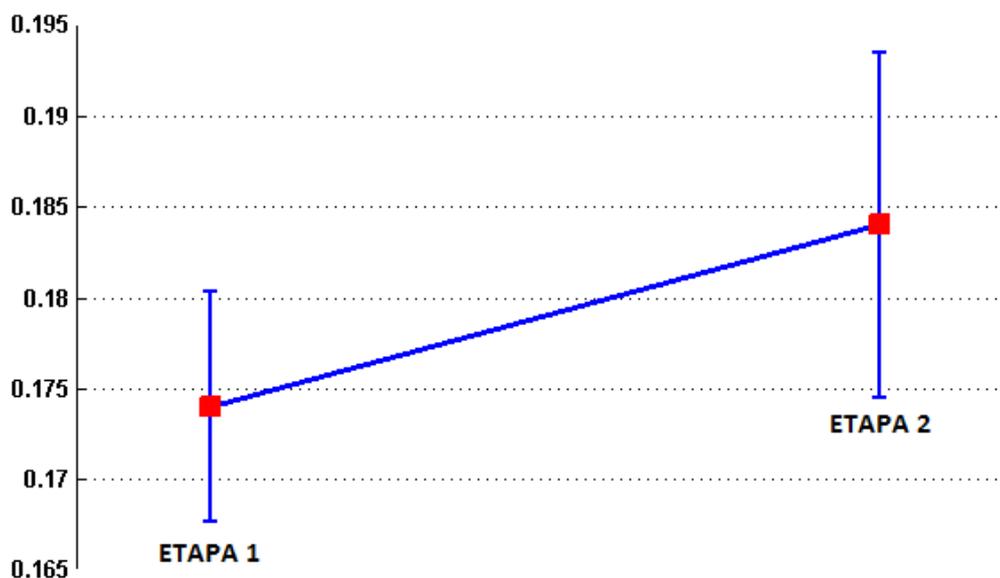
A Figura 22 apresenta, para as etapas 1 e 2, os intervalos de confiança dos coeficientes médios de escoamento calculados por propagação. Os limites inferiores e superiores encontrados foram, respectivamente, 0,1661 e 0,1804, para a etapa 1, e 0,1745 e 0,1935, para a etapa 2. Percebe-se que as faixas dos intervalos de confiança apresentam um intervalo sobreposto, logo, há grandes possibilidades de um teste estatístico não apresentar evidências estatísticas suficientes para indicar mudanças no coeficiente de escoamento.

**Figura 21 – Coeficientes de escoamento calculado diretamente para as etapas 1 e 2**



Fonte: Autor

Figura 22 – Coeficientes de escoamento médio calculado por propagação para as etapas 1 e 2



Fonte: Autor

### 5.3.2 Análise comparativa entre as etapas 1 e 3

Da etapa 1 para a 3, houve um aumento de 72,84% no número de eventos, sendo registrados 59 eventos a mais na etapa 3. No que se refere ao coeficiente de escoamento médio, embora o escoamento da cobertura tenha sido direcionado para o jardim, houve um aumento de 33,33%. Outrossim, o coeficiente de escoamento máximo apresentou um aumento de 0,39 para 0,877, representando um crescimento de 124,87%. O coeficiente de escoamento mínimo na primeira etapa foi de 0,006, já na terceira etapa foi de 0,005, logo, houve uma diminuição de 16,66%. O desvio padrão e o coeficiente de variação aumentaram em 95,83% e 46,04% respectivamente.

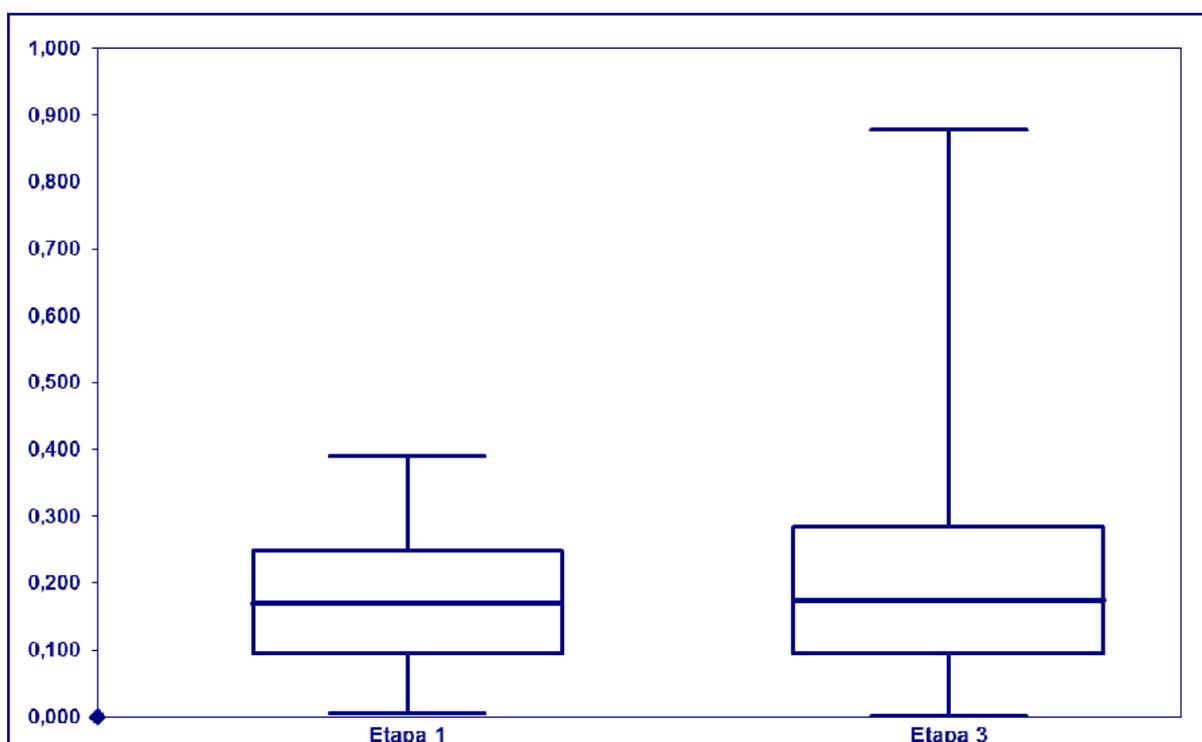
A Figura 23 mostra os diagramas de caixa para os coeficientes de escoamento das etapas 1 e 3. Percebe-se que os coeficientes maiores da etapa 3, tomados pelo 3º quartil, superam os da etapa 1. Já os coeficientes menores da etapa 3, tomados pelo 1º quartil, apresentam valores menores que a etapa 1, porém essa diferença é pequena.

**Tabela 6 – Resumo da estatística descritiva para as etapas 1 e 3**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 3</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	81	140	72,84
Mínimo	0,006	0,005	-16,66
Máximo	0,39	0,877	124,87
Média	0,174	0,232	33,33
Desvio Padrão	0,096	0,188	95,83
Coefficiente de Variação (%)	55,48	81,023	46,04
Mediana	0,17	0,19	11,76
1º quartil	0,094	0,098	10,21
3º quartil	0,248	0,315	27,02

Fonte: Autor

**Figura 23 – Diagramas de caixa de coeficientes das etapas 1 e 3 para todos os eventos**



Fonte: Autor

Na etapa 3, como pode ser visto na Tabela 7, foram monitorados 11 dias a mais que a etapa 1. Os demais indicadores apresentam a mesma tendência dos parágrafos anteriores. O volume total escoado aumentou em 24,93%, enquanto que a precipitação total aumentou apenas 10,34%. O volume por dia monitorado aumentou em 20,76%, já a precipitação por dia monitorado aumentou em 6,79%. Além disso, quanto aos indicadores por evento, percebe-se uma diminuição de 27,72% para o volume e de 36,14% para a precipitação, o que pode explicar o aumento em C, uma vez que o volume precipitado fica no denominador.

**Tabela 7 – Indicadores de comparação entre a etapa 1 e 3**

<b>Indicadores</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 3</b>
Volume total escoado (L)	11200,58	13993,6
Precipitação total (mm)	721,60	796,2
Coeficiente de escoamento global	0,24	0,27
Nº de dias monitorados	350	361
Volume por dia (L/dia de monitoramento)	32,09	38,76
Precipitação por dia (L/dia de monitoramento)	2,06	2,20
Volume por evento (L/evento)	138,28	99,95
Precipitação por evento	8,91	5,69

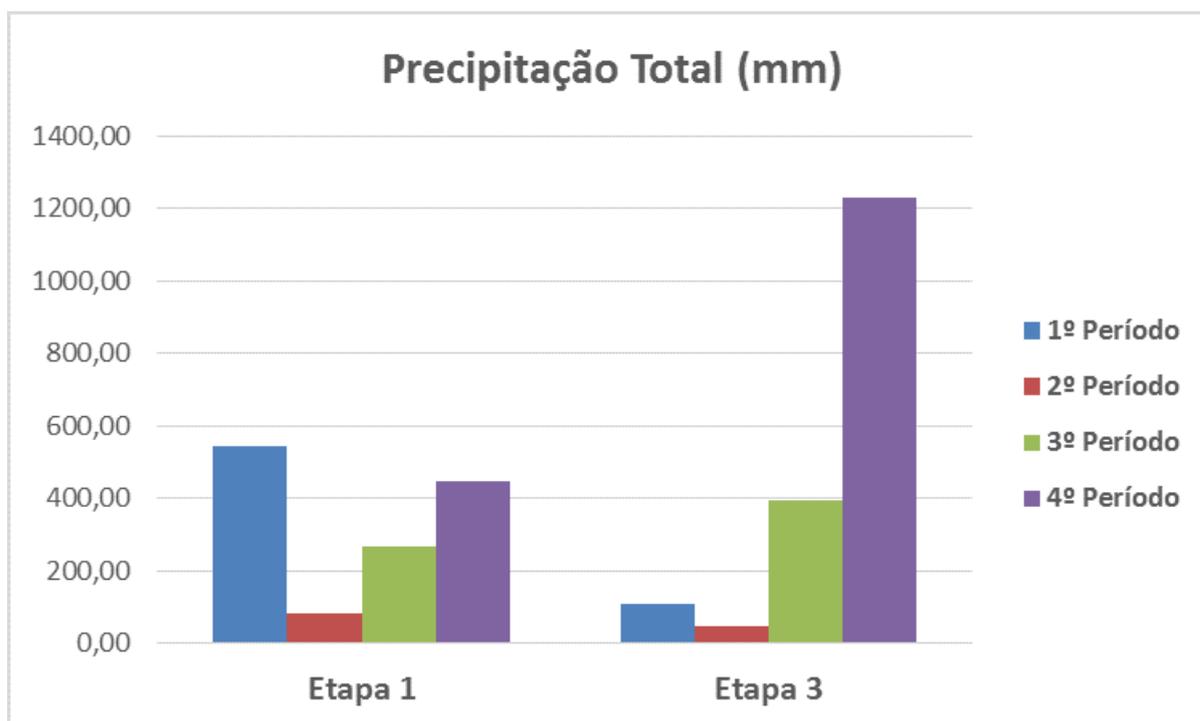
Fonte: Autor

Em geral, apesar do direcionamento do escoamento para o jardim, os resultados supracitados, tanto no que atine à estatística descritiva quanto aos indicadores de comparação, apontaram para um maior crescimento no escoamento gerado no lote que no volume precipitado.

A Figura 24 apresenta a precipitação obtida nas etapas 1 e 3, separadas em 4 períodos igualmente espaçados no tempo. Analisando os eventos registrados nas duas etapas, notou-se que, na etapa 3, as chuvas apresentaram uma maior concentração no período final.

Quanto à distribuição das chuvas, através da Tabela 8, que mostra a quantidade média de dias sem chuva entre os eventos, observa-se uma redução considerável no intervalo de tempo entre os eventos da etapa 3 no período 4, ou seja, um aumento na frequência de ocorrência das chuvas neste período. Esse tipo de comportamento pode acarretar condições de umidade diferente, que pode significar menos capacidade de perdas, portanto, mais escoamento.

**Figura 24 – Precipitação total por período, etapas 1 e 3**



Fonte: Autor

Com base no exposto, o regime atípico de chuvas enfrentado na terceira etapa, possivelmente, colaborou para o maior crescimento do volume escoado frente ao precipitado, uma vez que, dado o aumento da magnitude e a distribuição temporal das chuvas no período final, há uma influência direta nas condições do solo e, por conseguinte, no escoamento superficial.

**Tabela 8 – Dias sem chuva entre eventos nas etapas 1 e 3**

Etapa	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
1	3,00	3,00	3,86	2,57
3	3,00	3,89	3,93	1,29

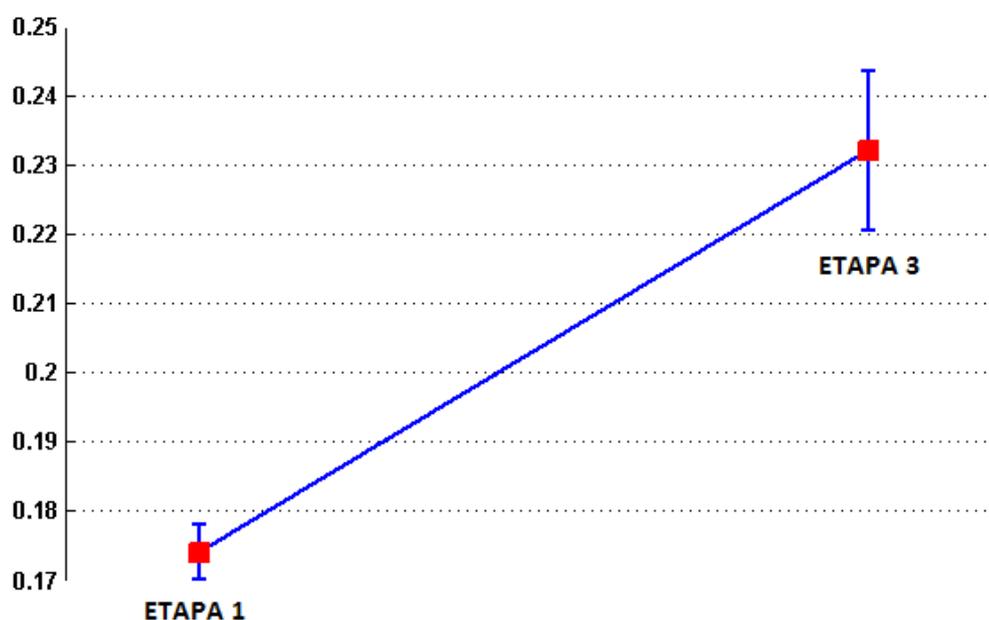
Fonte: Autor

No tocante às incertezas nos coeficientes de escoamento, calculadas diretamente e por propagação, a Figura 25 mostra as faixas dos intervalos de confiança para as etapas 1 e 3. Os limites inferiores e superiores encontrados foram, respectivamente, 0,1701 e 0,1779, para a etapa 1, e 0,2205 e 0,2435, para a etapa- 2. Percebe-se que o limite superior da primeira etapa (0,1779) é menor que o limite inferior da segunda (0,2205), portanto, não há sobreposição de faixas dos intervalos de confiança, o que

leva a concluir que um teste estatístico provavelmente indicará que há uma mudança de uma etapa para a outra.

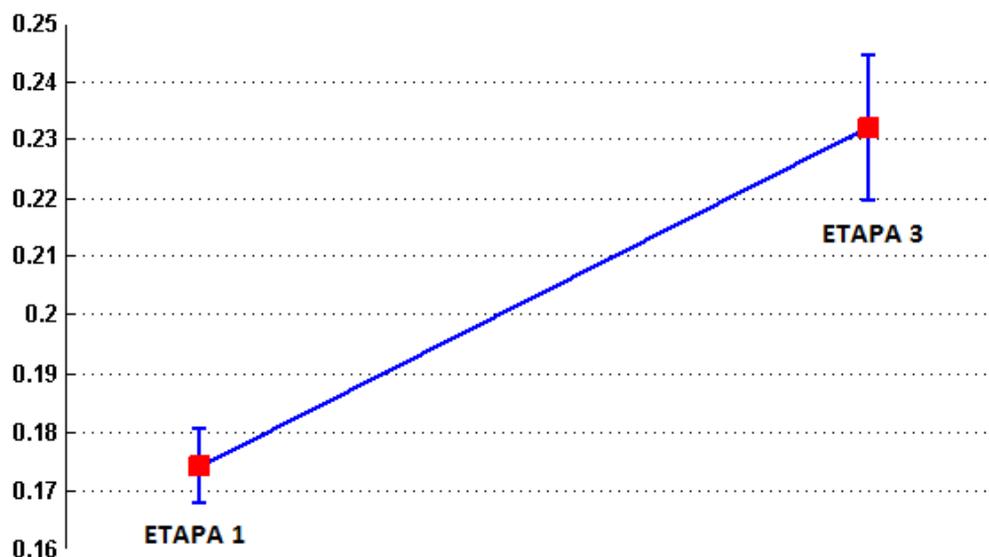
Os intervalos de confiança para os coeficientes médios de escoamento das etapas 1 e 3 são mostrados na Figura 26. Para a etapa 1 os limites superior e inferior foram, respectivamente, de 0,1676 e 0,1804, já para a etapa 3 foram, respectivamente, de 0,2196 e 0,2444. Analisando as duas etapas, verifica-se que o intervalo de confiança da etapa 3 está consideravelmente acima do da etapa 1, ou seja, o limite superior da etapa 1 (0,1804) supera o limite inferior da etapa 3 (0,2196). Assim sendo, pode-se inferir que um teste estatístico possivelmente apontará para uma mudança nos coeficientes.

**Figura 25 – Coeficientes de escoamento calculado diretamente para as etapas 1 e 3**



Fonte: Autor

Figura 26 – Coeficientes de escoamento médio calculado por propagação para as etapas 1 e 3



Fonte: Autor

### 5.3.3 Análise comparativa entre as etapas 2 e 3

Conforme Tabela 9, a etapa 2 registrou 72 eventos a mais que a etapa 3, o que representa uma diminuição de 33,96% da etapa 2 para a 3. Apesar do direcionamento da água na etapa 2 está voltado para a saída do lote, onde fica o vertedor, e na etapa 3 para o jardim, a terceira etapa apresenta o coeficiente de escoamento médio 26,08% maior que a segunda, sendo de 0,184 e 0,232 respectivamente.

A etapa 2, apresentou um coeficiente de escoamento mínimo de 0,001 e a etapa 3 de 0,005, logo, da etapa 2 para a 3, houve um aumento de 400%. O coeficiente de escoamento máximo apresentou um aumento de 24,75%, saindo de 0,703 para 0,877. Já o desvio padrão e o coeficiente de variação aumentam, respectivamente, em 41,86% e 15,58%.

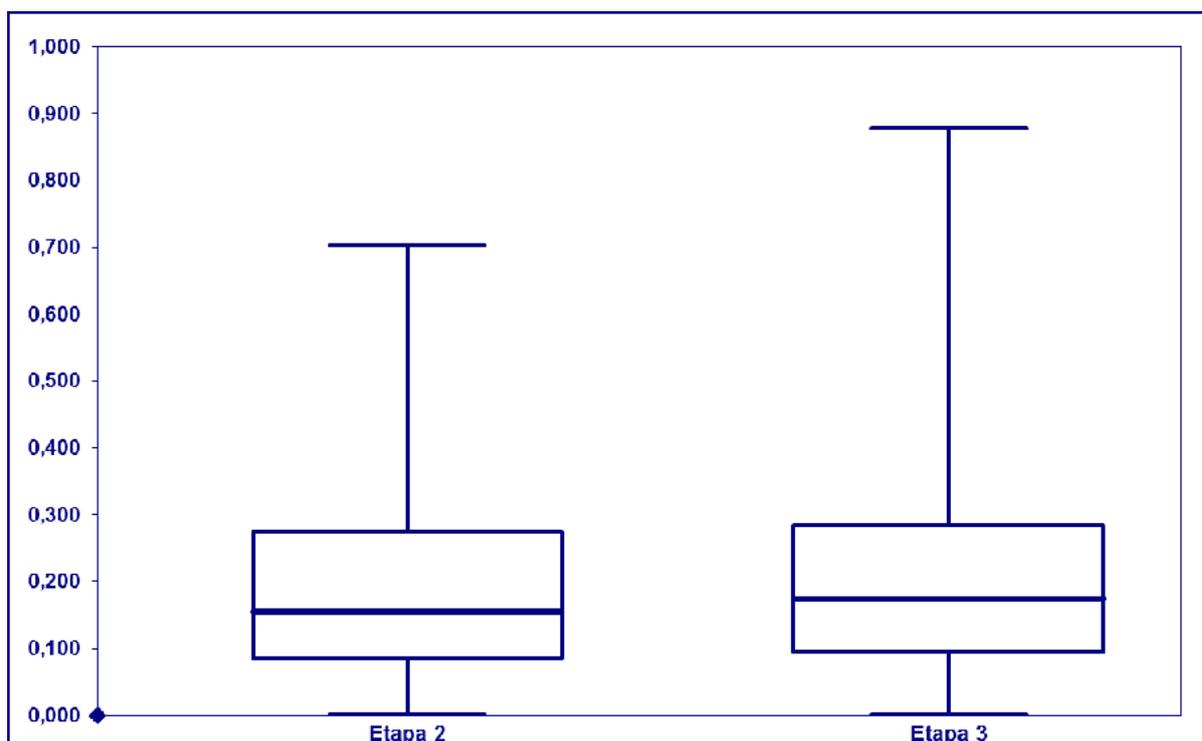
**Tabela 9 – Resumo da estatística descritiva para as etapas 2 e 3**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Etapa 3</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	212	140	-33,96
Mínimo	0,001	0,005	400
Máximo	0,703	0,877	24,75
Média	0,184	0,232	26,08
Desvio Padrão	0,129	0,183	41,86
Coeficiente de Variação (%)	70,10	81,023	15,58
Mediana	0,156	0,19	21,79
1º quartil	0,086	0,098	13,95
3º quartil	0,274	0,315	14,96

Fonte: Autor

O diagrama de caixa para as duas etapas são mostrados na Figura 27. Observe-se que tanto para os coeficientes maiores, tomados pelo 3º quartil, quanto para os coeficientes menores, tomados pelo 1º quartil, a etapa 3 apresenta valores que superam os da etapa 2. Desta forma, o diagrama da etapa 3 tem uma tendência global de estar posicionado mais acima do que o diagrama da etapa 2.

Foram monitorados 3 dias a mais na etapa 2 que na etapa 3. Analisando os demais indicadores de comparação entre as etapas 2 e 3 (Tabela 10), percebe-se o mesmo comportamento obtido com a estatística descritiva. A precipitação total reduziu em 32,57%, enquanto que o volume total escoado diminuiu apenas em 22,66%. O volume por dia monitorado teve uma menor diminuição que a precipitação por dia monitorado, sendo de 22,02% e 32,09% respectivamente. O volume por evento aumenta em 19,87%, enquanto que a precipitação só aumenta 4,59%. Com base nos indicadores trabalhados, o aumento em C pode ser explicado pela redução expressiva no volume precipitado, que se apresenta no denominador da equação, ou pelo aumento considerável no volume escoado, que se encontra no numerador da equação.

**Figura 27 – Diagramas de caixa de coeficientes das etapas 2 e 3 para todos os eventos**

Fonte: Autor

**Tabela 10 – Indicadores de comparação entre a etapa 2 e 3**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Etapa 3</b>
Volume total escoado (L)	18094,58	13993,6
Precipitação total (mm)	1180,80	796,2
Coeficiente de escoamento global	0,23	0,27
Nº de dias monitorados	364	361
Volume por dia (L/dia de monitoramento)	49,71	38,76
Precipitação por dia (L/dia de monitoramento)	3,24	2,20

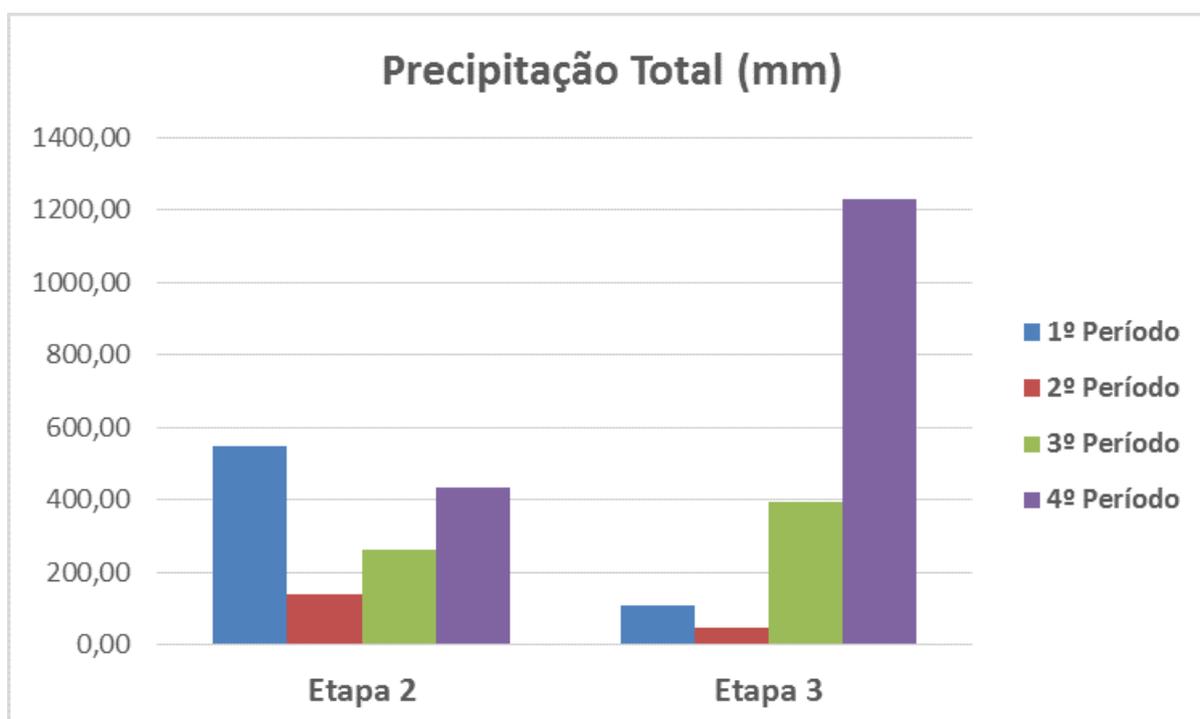
<b>Estatística</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Etapa 3</b>
Volume por evento (L/evento)	83,38	99,95
Precipitação por evento	5,44	5,69

Fonte: Autor

Da etapa 2 para a 3, embora o direcionamento tenha sido desviado do sistema de drenagem para o jardim, tanto as estatísticas descritivas quanto os indicadores de comparação apontaram para uma menor redução na precipitação que no volume escoado. De maneira similar ao que ocorreu da etapa 1 para a 3, uma possível causa para tal comportamento pode ter sido o regime atípico de chuvas ocorrido na etapa 3.

A Figura 28 apresenta a precipitação nas etapas 2 e 3 divididas em 4 períodos. Observa-se que a precipitação na etapa 3 está mais concentrada no quarto período. Ademais, de acordo com a Tabela 11, que mostra a média de dias sem chuva entre os eventos nas etapas 2 e 3, houve, na etapa 3, um aumento na frequência de chuvas, diminuindo, assim, o intervalo médio de tempo entre os eventos. Assim sendo, tais fatores podem ter influenciado diretamente nas condições do solo, favorecendo um maior escoamento no lote.

**Figura 28 – Precipitação total por período, etapas 2 e 3**



Fonte: Autor

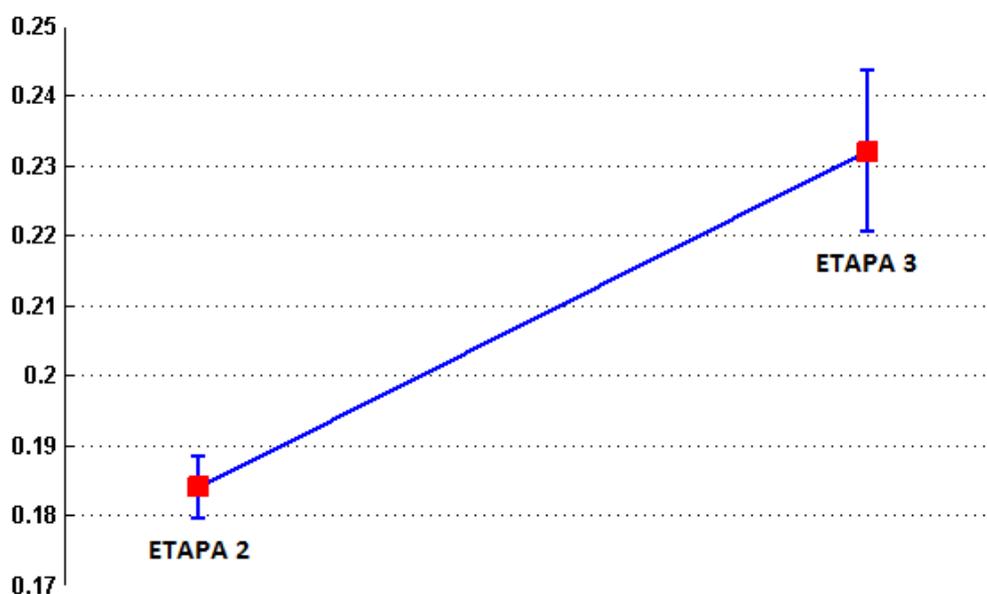
Tabela 11 – Dias sem chuva entre eventos nas etapa 2 e 3

Etapa	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
2	3,00	4,10	3,33	2,17
3	3,00	3,89	3,93	1,29

Fonte: Autor

Quanto à incerteza calculada diretamente nos coeficientes de escoamento, a Figura 29 apresenta os intervalos de confiança para as etapas 2 e 3. Os limites inferiores das etapas 1 e 2 foram, respectivamente, 0,1796 e 0,2205, já os superiores foram, respectivamente, de 0,1884 e 0,2435. Nota-se que não há faixa de valores dos intervalos em comum, logo, possivelmente, um teste estatístico indicará uma mudança nos coeficientes entre as etapas.

Figura 29 – Coeficientes de escoamento calculado diretamente para as etapas 2 e 3

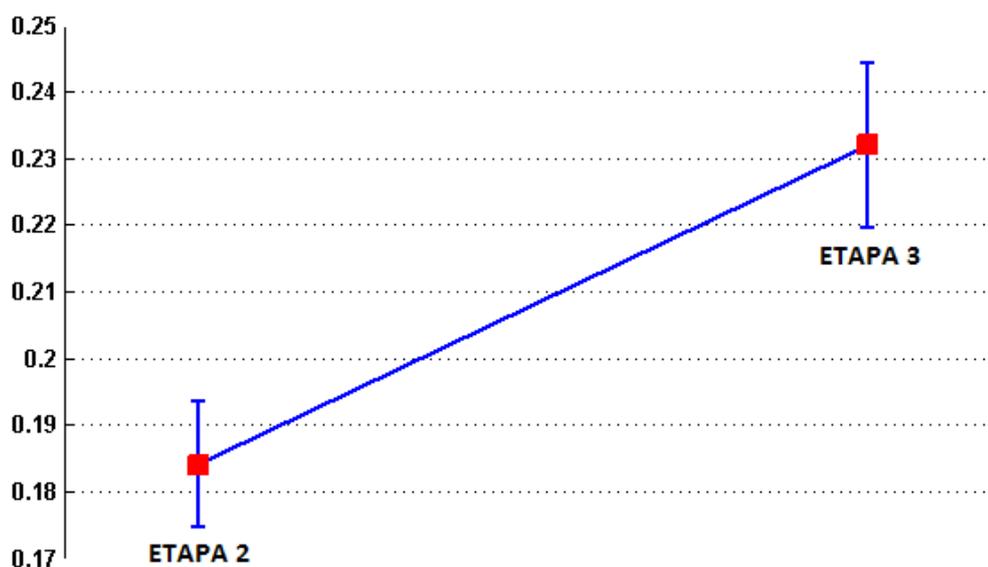


Fonte: Autor

Os intervalos de confiança para a incerteza por propagação nos coeficientes médios de escoamento são mostrados na Figura 30. Os limites inferior e superior encontrados foram, respectivamente, de 0,1745 e 0,1935, para a etapa 2, e 0,0,2196 e 0,0,2444, para a etapa 3. Verifica-se que o limite inferior da etapa 3 (0,2006) está localizado acima do limite superior da etapa 2 (0,1935), logo, há uma discrepância expressiva entre os dois intervalos de confiança, o que leva a concluir que um teste

estatístico provavelmente indicará que há mudança nos coeficientes médios entre as etapas.

Figura 30 – Coeficientes de escoamento médio calculado por propagação para as etapas 2 e 3



Fonte: Autor

#### 5.4 Análise comparativa com eventos de maiores coeficientes de escoamento e maiores vazões de pico

Como mencionado anteriormente, o critério adotado para definição dos maiores coeficientes de escoamento e vazões de pico foi quando os mesmos superarem o terceiro quartil.

##### 5.4.1 Análise com maiores coeficientes de escoamento

Nesta etapa, foi realizada a separação dos maiores coeficientes de escoamento para as três etapas do trabalho e, posteriormente, feita uma análise combinada, utilizando estatística descritiva.

##### 5.4.1.1 Análise comparativa entre etapa 1 e 2

De acordo com a Tabela 12, a etapa 2 apresentou 36 eventos com coeficientes de escoamento maiores que o 3º quartil a mais que a etapa 1. O direcionamento do escoamento da calha para o vertedor acarretou um aumento de 21,26%, saindo de 0,301, na primeira etapa, para 0,365, na segunda etapa. Nota-se que o aumento no

coeficiente de escoamento fica mais evidente quando trabalhados com os maiores coeficientes.

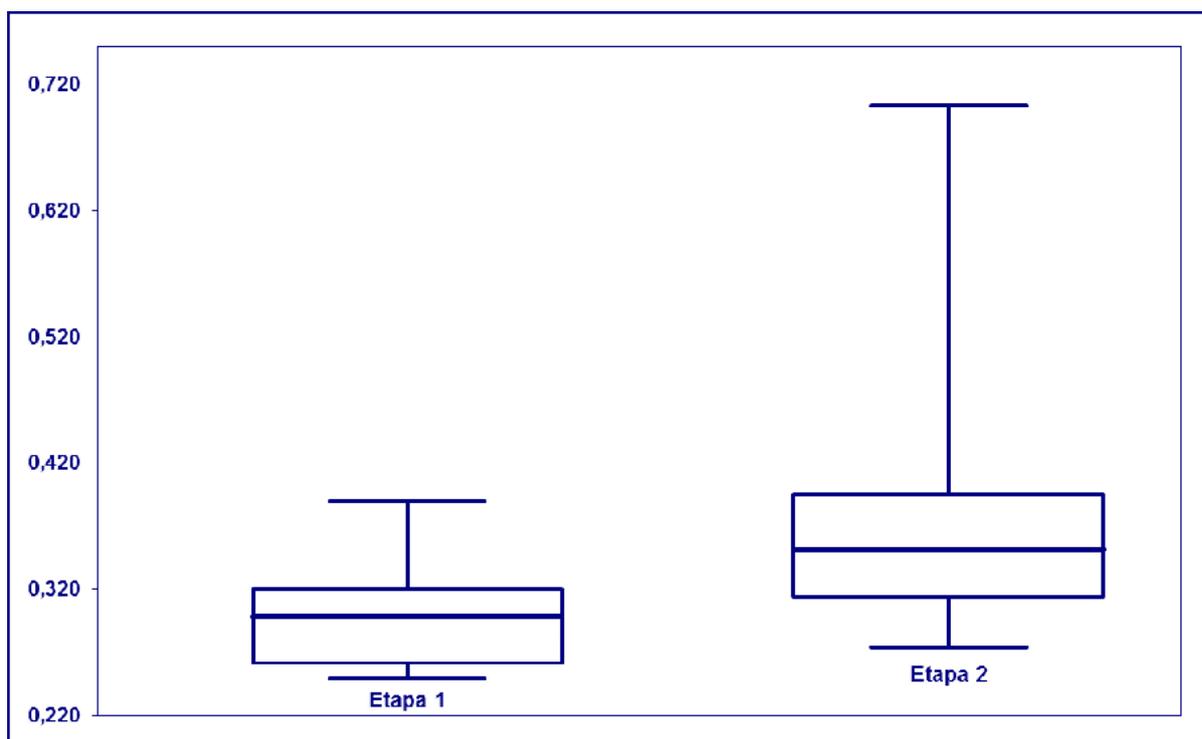
**Tabela 12 – Estatística descritiva para maiores coeficientes das etapas 1 e 2**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	19	55	189,47
Mínimo	0,249	0,274	10,04
Máximo	0,390	0,703	80,25
Média	0,301	0,365	21,26
Desvio padrão	0,043	0,082	90,7
Coeficiente de variação (%)	14,32	22,37	56,22
Mediana	0,248	0,352	41,94
1º quartil	0,260	0,314	20,77
3º quartil	0,322	0,396	22,98

Fonte: Autor

O coeficiente de escoamento máximo sai de 0,390 para 0,703, aumentando em 80,25%. O coeficiente de escoamento mínimo aumenta, porém, de forma menos expressiva, saindo de 0,249 para 0,274, o que representa um crescimento de 10,04%. O desvio padrão e o coeficiente de variação também sofrem um aumento, sendo, respectivamente, de 90,70% e 56,22%.

A Figura 31 apresenta os diagramas de caixa das etapas 1 e 2. Os maiores coeficientes da etapa 2, tomados pelo 3º quartil, e os menores, tomados pela 1º quartil, apresentam valores maiores que os da etapa 1, mostrando uma tendência global do diagrama da etapa 2 estar posicionado mais acima do que o diagrama da etapa 1.

**Figura 31 – Diagramas de caixa de maiores coeficientes das etapas 1 e 2**

Fonte: Autor

**Tabela 13 – Indicadores de comparação entre as etapas 1 e 2 para maiores coeficientes**

Indicadores	Etapa 1	Etapa 2
Volume total escoado (L)	5476,95	12974,14
Precipitação total (mm)	266,80	549,40
Coefficiente de escoamento global	0,31	0,36
Volume por evento (L/evento)	288,26	235,89
Precipitação por evento	14,04	9,99

Fonte: Autor

Conforme a Tabela 13, o volume escoado aumentou em 136,89 % da etapa 1 para a etapa 2. Já a precipitação total teve um aumento de 105,92%, evidenciando, assim, um aumento mais expressivo no volume escoado do que na precipitação total. Assim como o coeficiente de escoamento médio, o coeficiente de escoamento global aumenta (16,13%), saindo de 0,31 para 0,36. O volume e a precipitação por evento, diferentemente dos indicadores anteriores, sofreram diminuição, porém seguiram a mesma tendência que os demais, pois o volume por evento apresenta uma menor diminuição, de 18,17%, quando comparado com a precipitação, que diminuiu em 28,86%.

## 5.4.1.2 Análise comparativa entre etapa 1 e 3

A Tabela 14 mostra um resumo da estatística descritiva para os maiores coeficientes das etapas 1 e 3. A etapa 3 apresentou 16 eventos maiores a mais que a etapa 1. Os resultados foram similares aos obtidos, entre essas mesmas etapas, para os coeficientes com todos os eventos. Mesmo com o direcionamento do escoamento para o jardim, o coeficiente de escoamento médio apresenta um aumento de 65,11%, saindo de 0,301, na primeira etapa, para 0,497, na terceira etapa.

Ademais, o coeficiente de escoamento mínimo aumentou em 28,51%, saindo de 0,249 para 0,320. O coeficiente de escoamento máximo aumentou em 124,87%, saindo de 0,390 para 0,877. O desvio padrão aumentou e o coeficiente de variação aumentaram, respectivamente, em 265,11% e 121,15%.

**Tabela 14 – Estatística descritiva para maiores coeficientes das etapas 1 e 3**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 3</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	19	35	84,21
Mínimo	0,249	0,320	28,51
Máximo	0,390	0,877	124,87
Média	0,301	0,497	65,11
Desvio padrão	0,043	0,157	265,11
Coeficiente de variação (%)	14,32	31,67	121,15
Mediana	0,248	0,432	74,19
1º quartil	0,260	0,358	37,69
3º quartil	0,322	0,600	86,33

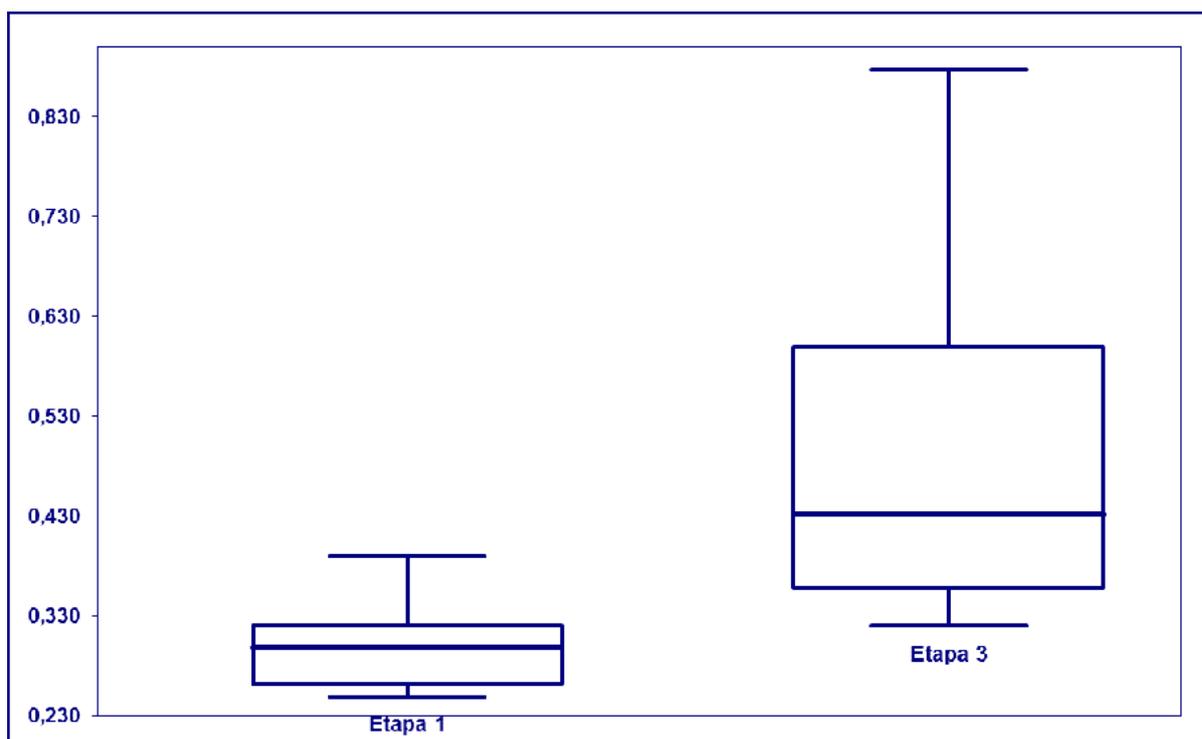
Fonte: Autor

Assim como ocorre com a etapa 2, na seção anterior, o diagrama de caixa da etapa 3 apresenta uma tendência de estar posicionado acima do diagrama da etapa 1. Verifica-se que os maiores e os menores coeficientes da etapa 3, tomados pelo 3º quartil e 1º quartil respectivamente, apresentam valores maiores que os da etapa 1.

Através dos indicadores mostrados na Tabela 15, pode-se explicar o aumento em C. Verifica-se que apesar da diminuição de 2,62% da precipitação total, o volume

escoado, que se encontra no numerador da equação, aumentou em 46,33%. Além disso, enquanto a precipitação, que se apresenta no denominador da equação, sofreu uma redução de 47,15%, o volume por evento diminuiu apenas 20,56%. Com isso, o coeficiente de escoamento global aumentou de 0,31 para 0,47, representando um significativo aumento de 51,61%.

**Figura 32 – Diagramas de caixa de maiores coeficientes das etapas 1 e 3**



Fonte: Autor

**Tabela 15 – Indicadores de comparação entre as etapas 1 e 3 para maiores coeficientes**

<b>Indicadores</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 3</b>
Volume total escoado (L)	5476,95	8014,78
Precipitação total (mm)	266,80	259,80
Coeficiente de escoamento global	0,31	0,47

<b>Indicadores</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 3</b>
Volume por evento (L/evento)	288,26	228,99
Precipitação por evento	14,04	7,42

Fonte: Autor

#### 5.4.1.3 Análise comparativa entre etapa 2 e 3

Nesta seção, compara-se a configuração do lote em que o escoamento está direcionado para o jardim, etapa 2, com a que o escoamento está voltado para a saída do lote, etapa 3. Porém, os resultados mostrados com a estatística descritiva (Tabela 16) mostra a ineficácia da medida tomada para a diminuição do coeficiente de escoamento. Da etapa 2 para a 3, o coeficiente de escoamento apresenta um aumento significativo de 36,16%, saindo de 0,365 para 0,497. Igualmente, há um aumento nos coeficientes de escoamento máximo e mínimo, sendo de 24,75% e 16,79% respectivamente.

O desvio padrão e o coeficiente de variação aumentam em 91,46% e 41,57% respectivamente.

**Tabela 16 – Estatística descritiva para maiores coeficientes das etapas 2 e 3**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Etapa 3</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	55	35	36,36
Mínimo	0,274	0,320	16,79
Máximo	0,703	0,877	24,75
Média	0,365	0,497	36,16
Desvio padrão	0,082	0,157	91,46
Coeficiente de variação (%)	22,37	31,67	41,57

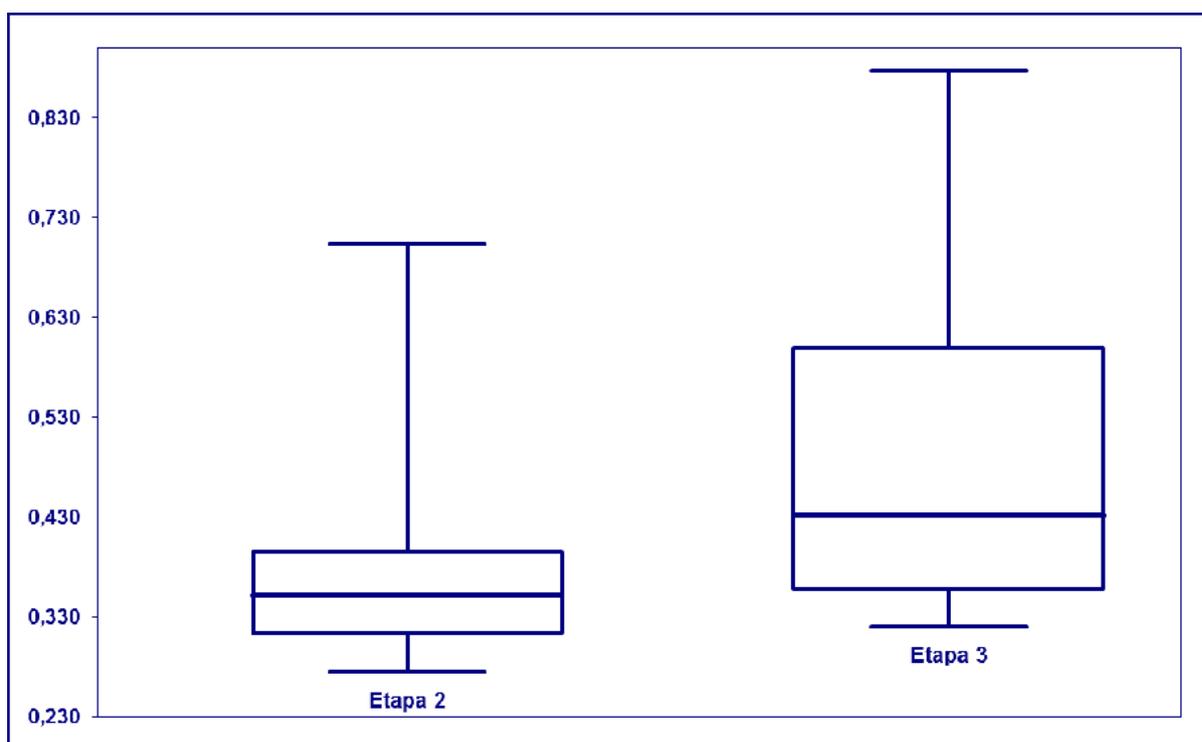
Estatística	Etapa 2	Etapa 3	Diferença (%)
Mediana	0,352	0,432	22,72
1º quartil	0,314	0,358	14,00
3º quartil	0,396	0,600	51,51

Fonte: Autor

Como pode ser visto nos diagramas de caixa, Figura 33, tanto os maiores quanto os menores coeficientes de escoamento, tomados pelo 1º e 3º quartil respectivamente, superam os da etapa 2.

O aumento no coeficiente de escoamento pode ser explicado analisando alguns indicadores. De acordo com a Tabela 17, da etapa 2 para a 3, houve uma diminuição no volume total escoado de 38,22%, porém a precipitação, que se encontra no denominador da equação, reduziu em uma maior proporção, 52,71%. Outrossim, o volume e a precipitação por evento seguem a mesma tendência, enquanto o volume diminui apenas 2,93%, a precipitação reduz em 25,73%. O coeficiente de escoamento global saiu de 0,36, na etapa 2, para 0,47, na etapa 3, aumentando, assim, em 30,55%, o que pode ser explicado analisando outros indicadores.

**Figura 33 – Diagramas de caixa de maiores coeficientes das etapas 2 e 3**



Fonte: Autor

**Tabela 17 – Indicadores de comparação entre as etapas 2 e 3**

<b>Indicadores</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Etapa 3</b>
Volume total escoado (L)	12974,14	8014,78
Precipitação total (mm)	549,40	259,80
Coefficiente de escoamento global	0,36	0,47
Volume por evento (L/evento)	235,89	228,99
Precipitação por evento	9,99	7,42

Fonte: Autor

#### 5.4.2 Análise com maiores vazões de pico

Nesta seção, foi feito para as três etapas, todo o processo de análise combinada através de estatística descritiva, tanto para as maiores vazões de pico, considerando como critério de separação o terceiro quartil, quanto para seus coeficientes de escoamento.

##### 5.4.2.1 Análise comparativa entre etapas 1 e 2

Conforme a Tabela Analisando as vazões médias de pico para as duas etapas, nota-se uma diminuição da etapa 1, sem intervenção, para a etapa 2, com o direcionamento do escoamento para bem próximo do vertedor, saindo de 206,20 mL/s para 129,416 mL/s, o que representa uma redução de 37,23%.

**Tabela 18 – Estatística descritiva para vazões médias de pico das etapas 1 e 2**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 2</b>
Nº de eventos	81	212
Mínimo	0,42	0,482
Máximo	1059,46	831,480

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 2</b>
Média	206,20	129,416
Desvio padrão	227,01	131,135
Coeficiente de variação (%)	110,09	101,33
Mediana	123,55	83,543
1º quartil	37,29	29,366
3º quartil	300,00	180,198

Fonte: Autor

A Tabela 19 apresenta alguns indicadores relativos às maiores vazões de pico das etapas 1 e 2. Observa-se um maior aumento volume total escoado (108,72%) que na precipitação total (60,53%). O coeficiente de escoamento global acompanha a tendência dos demais indicadores, aumentando em 30,22%. O volume e a precipitação por evento, embora tenham diminuído, apresentaram o mesmo comportamento, com uma redução de precipitação de 41,66% e volume de apenas 24,10%.

**Tabela 19 – Indicadores de comparação entre eventos com maiores vazões das etapas 1 e 2**

<b>Indicadores</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 2</b>
Volume total escoado (L)	6413,60	13386,50
Precipitação total (mm)	364,40	585
Coeficiente de escoamento global	0,268	0,349
Volume por evento (L/evento)	320,68	243,39
Precipitação por evento	18,22	10,63

Fonte: Autor

#### 5.4.2.1.1 *Maiores vazões de pico*

A etapa 2 apresenta 35 eventos a mais em que as vazões de pico superam o terceiro quartil. De acordo com a Tabela 20, em sua maioria, as estatísticas trabalhadas apontam para uma redução da etapa 1 para a etapa 2. As maiores vazões de pico

média, mínima e máximas reduzem em 40,24%, 40,12% e 21,52%. O desvio padrão e o coeficiente de variação sofrem uma diminuição de 45,59% e 8,95% respectivamente.

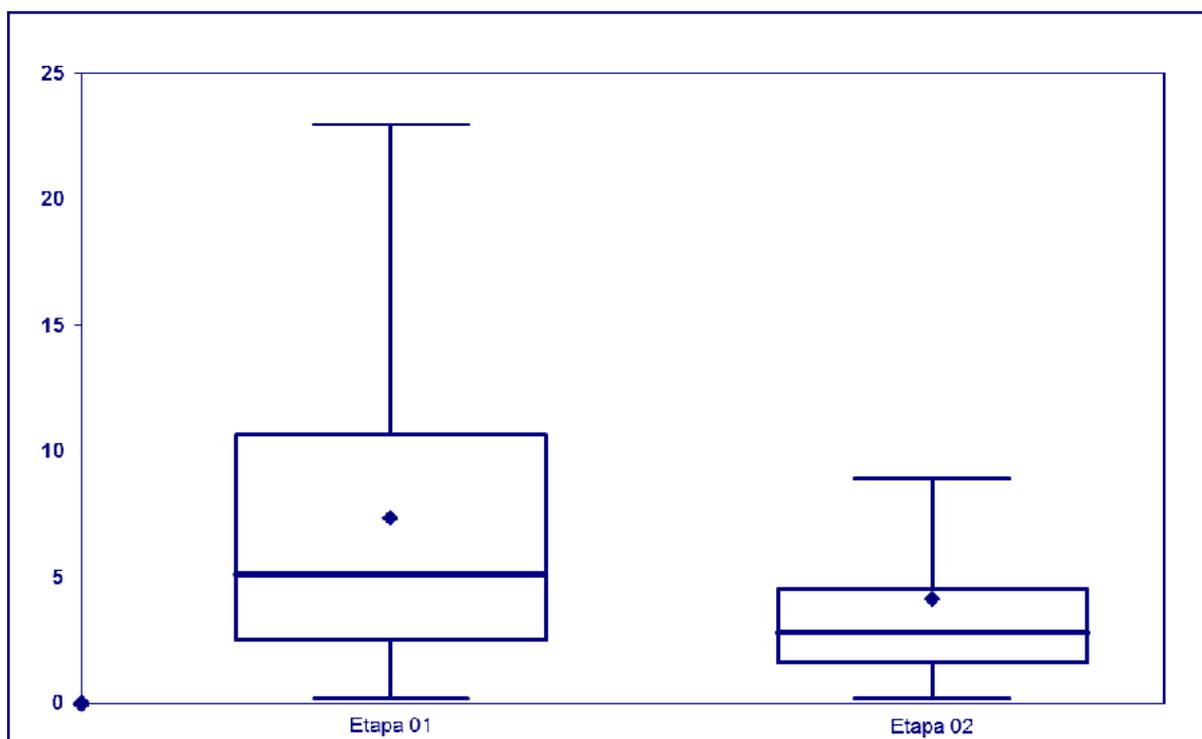
**Tabela 20 – Estatística descritiva das maiores vazões de pico das etapas 1 e 2**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	20	55	175
Mínimo	306,04	180,20	-40,12
Máximo	1059,46	831,48	-21,52
Média	529,19	316,23	-40,24
Desvio padrão	215,84	117,44	-45,59
Coeficiente de variação (%)	40,79	37,14	-8,95
Mediana	456,08	306	-32,91
1º quartil	359,25	224,53	-37,50
3º quartil	615,78	377,44	-38,71

Fonte: Autor

A redução das vazões máximas, mesmo com o direcionamento do escoamento para próximo do vertedor, podem ser explicadas observando o diagrama de caixa das intensidades médias para as etapas 1 e 2, Figura 34. Nota-se que a etapa 1 apresenta intensidades expressivamente maiores que as da etapa 2, por exemplo, saindo, em média, de 7,34 mm/h, na etapa 1, para 4,14 mm/h, na etapa 2.

Figura 34 – Diagrama de caixa de intensidade das etapas 1 e 2



Fonte: Autor

#### 5.4.2.1.2 Coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico

De maneira geral, conforme Tabela 21, os valores da estatística descritiva dos coeficientes de escoamento das vazões máximas, com a mudança de configuração do lote, da etapa 1 para a 2, apresentam um aumento, com exceção do coeficiente de escoamento mínimo.

O coeficiente de escoamento médio aumenta em 16,47%, saindo de 0,267 para 0,311. Já o coeficiente de escoamento máximo apresenta um aumento mais expressivo, de 80,25%, saindo de 0,39 para 0,703. O desvio padrão e o coeficiente de variação crescem respectivamente, 35,13% e 16,87%.

**Tabela 21 – Estatística descritiva dos coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico das etapas 1 e 2**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	20	55	175
Mínimo	0,151	0,073	-51,65
Máximo	0,390	0,703	80,25
Média	0,267	0,311	16,47
Desvio padrão	0,074	0,1	35,13
Coeficiente de variação (%)	27,61	32,27	16,87
Mediana	0,259	0,321	23,93
1º quartil	0,224	0,248	10,71
3º quartil	0,319	0,378	18,49

Fonte: Autor

#### 5.4.2.2 Análise comparativa entre etapas 1 e 3

Com o redirecionamento do escoamento para o jardim, na etapa 3, comparado com o lote sem intervenção, na etapa 1, no tocante às vazões médias de pico, verifica-se que há uma redução significativa de 206,20 mL/s para 67,48mL/s, que representa uma diminuição de 67,27%

**Tabela 22 – Estatística descritiva para vazões médias de pico das etapas 1 e 3**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 3</b>
Nº de eventos	81	140
Mínimo	0,42	0,83

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 3</b>
Máximo	1059,46	383,16
Média	206,20	67,48
Desvio padrão	227,01	70,83
Coeficiente de variação (%)	110,09	104,96
Mediana	123,55	37,39
1º quartil	37,29	18,08
3º quartil	300,00	96,79

Fonte: Autor

Os indicadores de comparação para as maiores vazões de pico das etapas 1 e 3 (Tabela 23) não refletem os resultados encontrados nas vazões médias de pico. Apesar da precipitação total sair de 364,40 mm para 358,4 mm, reduzindo em 1,64%, o volume total escoado aumenta em 32,51%, saindo de 6413,6 L para 8498,67 L. O coeficiente global também aumenta (35,07%), de 0,268 para 0,362. A precipitação por evento reduz em 43,79%, enquanto que o volume diminui apenas 24,27%.

**Tabela 23 – Indicadores de comparação entre eventos com maiores vazões das etapas 1 e 3**

<b>Indicadores</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 3</b>
Volume total escoado (L)	6413,60	8498,67
Precipitação total (mm)	364,40	358,4
Coeficiente de escoamento global	0,268	0,362
Volume por evento (L/evento)	320,68	242,82

Indicadores	Etapa 1	Etapa 3
Precipitação por evento	18,22	10,24

Fonte: Autor

#### 5.4.2.2.1 Maiores vazões de pico

Da etapa 1 para a etapa 3, foram registrados 22 eventos a mais que apresentam vazões maiores que o terceiro quartil. De acordo com a Tabela 24, no geral, com o direcionamento do escoamento para o jardim, percebe-se uma diminuição considerável nas vazões. A vazão de pico média diminui de 529,19 mL/s, na primeira etapa, para 154,98 mL/s, na terceira etapa, reduzindo, assim, em 70,71%. A vazão de pico mínima reduz em 70,38%, saindo de 306,04 mL/s para 90,65 mL/s. Já a vazão de pico máxima reduz de 1059,46 mL/s para 383,16 mL/s, significando uma redução de 63,83%. Além disso, o desvio padrão reduz em 67,96% e o coeficiente de variação aumenta em 4,48%.

**Tabela 24 – Estatística descritiva das maiores vazões de pico das etapas 1 e 3**

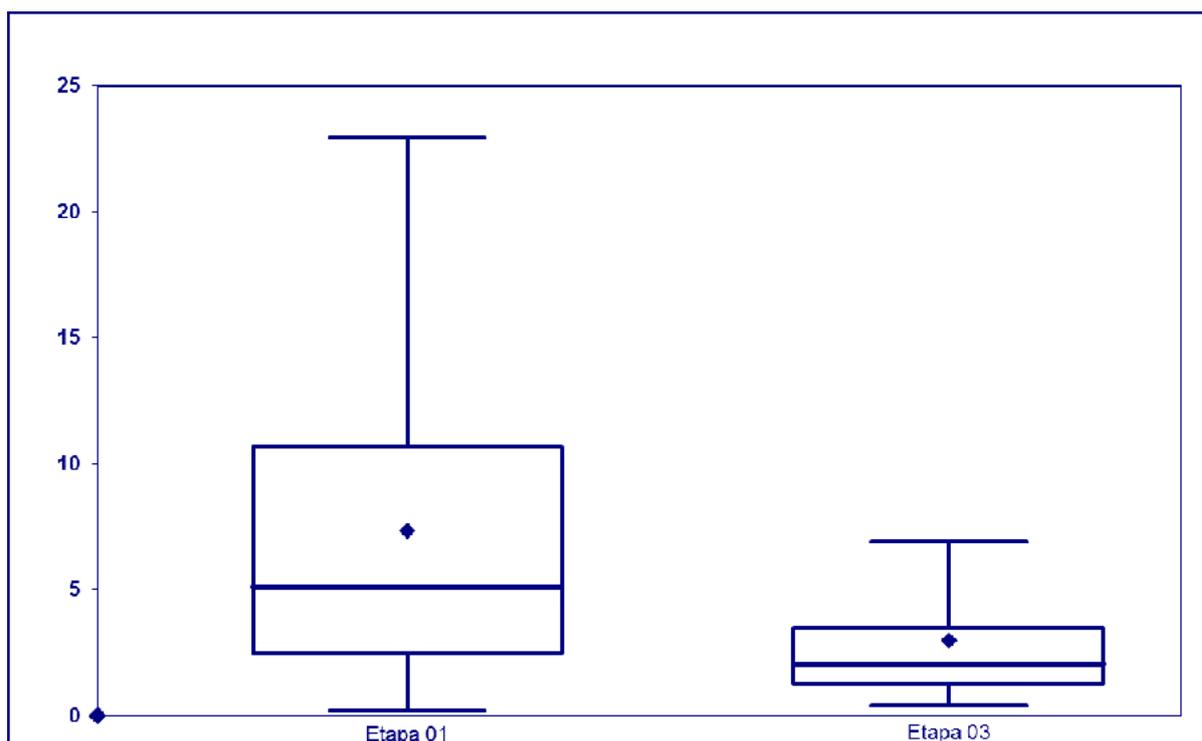
Estatística	Etapa 1	Etapa 3	Diferença (%)
Nº de eventos	20	42	110
Mínimo	306,04	90,65	-70,38
Máximo	1059,46	383,16	-63,83
Média	529,19	154,98	-70,71
Desvio padrão	215,84	69,15	-67,96
Coeficiente de variação (%)	40,79	42,62	4,48

Estadística	Etapa 1	Etapa 3	Diferença (%)
Mediana	456,08	130,31	-71,43
1º quartil	359,25	103,64	-71,15
3º quartil	615,78	185,33	-69,90

Fonte: Autor

A redução nas vazões de pico, da etapa 1 para a 3, pode ser explicada analisando o diagrama de caixa das intensidades das etapas 1 e 3, nota-se uma significativa diminuição nas intensidades da etapa 1 para a 3. Além disso, outro fator importante na diminuição das vazões de pico foi a retirada da área de contribuição da cobertura na etapa 3, uma vez que foi feito o direcionamento da água para o jardim.

Figura 35 – Diagrama de caixa de intensidade das etapas 1 e 3



Fonte: Autor

#### 5.4.2.2.2 Coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico

No que se refere aos coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico, no geral, apesar do direcionamento do escoamento para o jardim, há um aumento

nos coeficientes de uma etapa para a outra (Tabela 25), o que pode ser melhor entendido quando analisados os indicadores trabalhados. Conforme pode ser visto na Tabela 23, o volume precipitado, que se encontra no denominador da equação, aumenta em uma maior proporção que o volume escoado.

O coeficiente de escoamento médio aumenta em 32,58%, com 0,267 na primeira etapa e 0,35419 na terceira etapa. O coeficiente de escoamento máximo, por sua vez, aumenta de 0,39 para 0,877, significando um acréscimo de 124,87%. Já o coeficiente de escoamento mínimo reduz em 44,37%, saindo de 0,151 para 0,084. O desvio padrão e o coeficiente de variação aumentam em 62,05% e 100,25% respectivamente.

**Tabela 25 – Estatística descritiva dos coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico das etapas 1 e 3**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 3</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	20	35	75
Mínimo	0,151	0,084	-44,37
Máximo	0,390	0,877	124,87
Média	0,267	0,354	32,58
Desvio padrão	0,074	0,195	62,05
Coeficiente de variação (%)	27,61	55,29	100,25
Mediana	0,259	0,313	20,85
1º quartil	0,224	0,244	8,92
3º quartil	0,319	0,417	30,72

Fonte: Autor

#### 5.4.2.3 Análise comparativa entre etapas 2 e 3

A vazão médias de pico na da etapa 2, com o direcionamento do escoamento para perto do vertedor, para a etapa 3, com o direcionamento para o jardim, apresenta uma diminuição de 47,85%, saindo de 129,416 mL/s para 67,48 mL/s.

Tabela 26 – Legenda

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Etapa 3</b>
Nº de eventos	212	140
Mínimo	0,482	0,83
Máximo	831,480	383,16
Média	129,416	67,48
Desvio padrão	131,135	70,83
Coeficiente de variação (%)	101,33	104,96
Mediana	83,543	37,39
1º quartil	29,366	18,08
3º quartil	180,198	96,79

Fonte: Autor

Tabela 27 – Indicadores de comparação entre maiores vazões das etapas 2 e 3

<b>Indicadores</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Etapa 3</b>
Volume total escoado (L)	13386,50	8498,67
Precipitação total (mm)	585	358,4
Coeficiente de escoamento global	0,349	0,362
Volume por evento (L/evento)	243,39	242,82
Precipitação por evento	10,63	10,24

Fonte: Autor

A Tabela 27 mostra indicadores utilizados para comparar os eventos com as maiores vazões de pico das etapas 2 e 3. A precipitação total apresenta um aumento de 38,74%, o volume total escoado, por sua vez, aumenta 36,51%. O volume e a precipitação por evento diminuem em 0,23% e 3,66%,. Já o coeficiente de escoamento global sai de 0,349 para 0,362, aumentando, assim, em 3,72%. De modo geral, nota-se uma pequena discrepância de aumento e diminuição entre os indicadores comparados.

#### 5.4.2.3.1 Maiores vazões de pico

A Tabela 28 apresenta a estatística descritiva para as maiores vazões de pico das etapas 2 e 3. A etapa 2 apresenta 13 eventos a mais que a etapa 3 em que as vazões de pico superam o terceiro quartil. No que se refere a vazão de pico média, com o direcionamento do escoamento para o jardim, houve uma diminuição de 316,23 mL/s para 154,98 mL/s, reduzindo em 50,99%. Ademais, a vazão de pico mínima e a máxima também apresentam uma redução significativa, de 49,69% e 53,91% respectivamente. Já o coeficiente de variação aumenta em 14,75%, saindo de 37,14% para 42,62%.

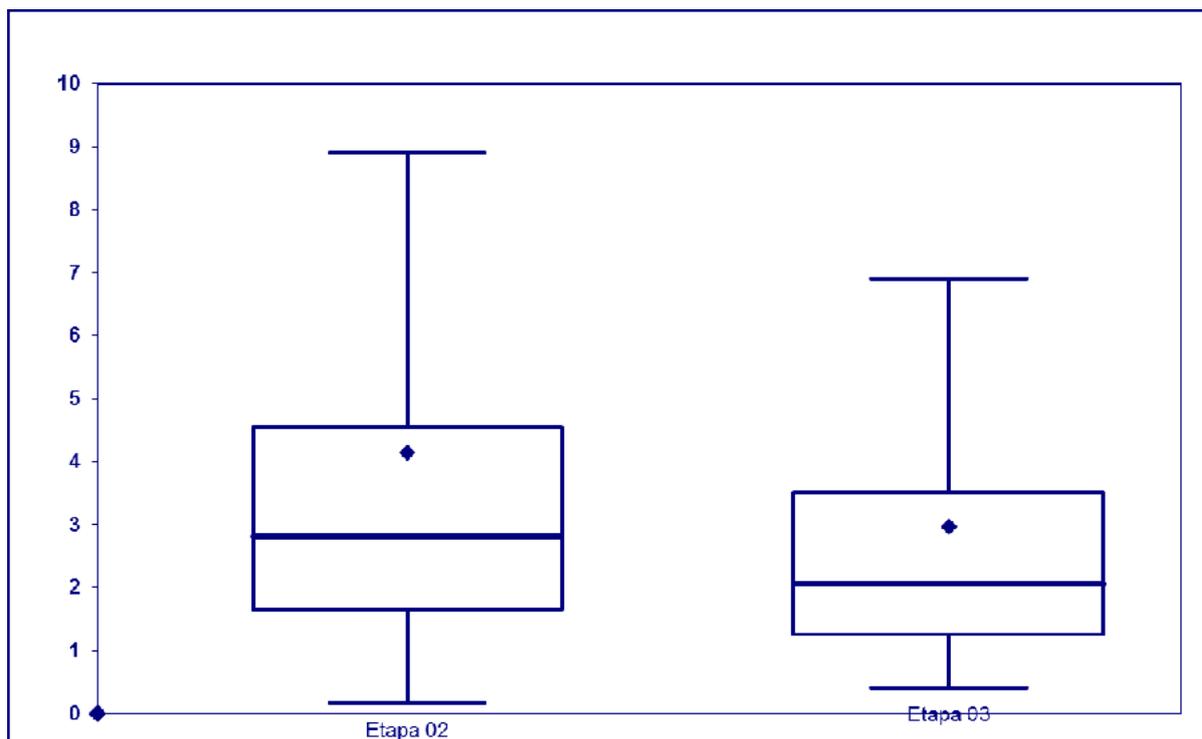
**Tabela 28 – Estatística descritiva das maiores vazões de pico das etapas 2 e 3**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Etapa 3</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	55	42	-23,63
Mínimo	180,20	90,65	-49,69
Máximo	831,48	383,16	-53,91
Média	316,23	154,98	-50,99
Desvio padrão	117,44	69,15	-41,11
Coeficiente de variação (%)	37,14	42,62	14,75
Mediana	306	130,31	-57,41
1º quartil	224,53	103,64	-53,84
3º quartil	377,44	185,33	-50,89

Fonte: Autor

Conforme a Figura 36, que mostra os diagramas de caixa das intensidades médias para as etapas 2 e 3, percebe-se que não há mudanças significativas nas intensidades da etapa 2 para a 3. Logo, da etapa 2 para a 3, pode-se concluir que a retirada da área foi o fator preponderante na diminuição da vazão de pico ao direcionar a água para o jardim.

Figura 36 – Diagrama de caixa de intensidade das etapas 2 e 3



Fonte: Autor

#### 5.4.2.3.2 Coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico

No que se refere ao coeficiente de escoamento médio, como expresso na Tabela 29, da etapa 2 para a 3, embora o escoamento tenha sido direcionado para o jardim, houve um aumento de 0,311 para 0,354, significando um aumento de 13,82%. Tal comportamento pode ser explicado quando analisados os indicadores supracitados (27), observa-se que o volume escoado, que se encontra no denominador da equação, apresenta um maior aumento que o volume precipitado.

O coeficiente de escoamento mínimo sai de 0,073 para 0,084, aumentando em 15,06%. Já o coeficiente máximo aumenta 24,75%, saindo de 0,703 para 0,877. O desvio padrão aumenta em 95%, de 0,1 para 0,195. O coeficiente de variação aumenta em 71,33%, saindo de 32,27% para 55,29%.

**Tabela 29 – Resumo da estatística descritiva para maiores vazões de pico das etapas 2 e 3**

<b>Estatística</b>	<b>Etapa 2</b>	<b>Etapa 3</b>	<b>Diferença (%)</b>
Nº de eventos	55	35	-36,36
Mínimo	0,073	0,084	15,06
Máximo	0,703	0,877	24,75
Média	0,311	0,354	13,82
Desvio padrão	0,1	0,195	95
Coefficiente de variação (%)	32,27	55,29	71,33
Mediana	0,321	0,313	-2,49
1º quartil	0,248	0,244	-1,61
3º quartil	0,378	0,417	10,31

Fonte: Autor

### **5.5 Teste de hipótese dois a dois entre os conjuntos de valores de coeficientes de escoamento e vazões de pico**

Com o intuito de verificar se houve mudanças nos coeficientes de escoamento e nas vazões de pico de uma etapa para outra, foram feitos testes de hipótese para as três configurações do trabalho, dois a dois, para um nível de significância de 5%. O procedimento seguido está descrito no Anexo B.

Inicialmente, foi testada, para as três etapas, considerando todos os eventos, a hipótese nula de que não houve mudança significativa nos coeficientes de escoamento ( $C_1=C_2$ ,  $C_1=C_3$  ou  $C_2=C_3$ ) e nas vazões de pico ( $Q_1=Q_2$ ,  $Q_1=Q_3$  ou  $Q_2=Q_3$ ) devido o redirecionamento do escoamento do telhado. A rejeição da hipótese testada leva a aceitação da hipótese alternativa, que houve mudança significativa nos coeficientes de escoamento ( $C_1 \neq C_2$ ,  $C_1 \neq C_3$  ou  $C_2 \neq C_3$ ) ou nas vazões máximas ( $Q_1 \neq Q_2$ ,  $Q_1 \neq Q_3$  ou  $Q_2 \neq Q_3$ ).

Posteriormente, de maneira similar, esse procedimento foi refeito com as maiores vazões de pico e com seus coeficientes de escoamento.

### 5.5.1 Testes de hipótese para coeficientes de escoamento e vazões de pico para todos os eventos

#### 5.5.1.1 Coeficientes de escoamento

A Tabela 30 apresenta um resumo com os tamanhos amostrais, os coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões para as três etapas do trabalho.

A Tabela 31 apresenta os resultados obtidos para as estatísticas de teste e os limites da região crítica. Da etapa 1 para a etapa 2, percebe-se que a estatística de teste não está compreendida na região crítica, logo, deixa-se de rejeitar a hipótese nula de que não houve mudança significativa no coeficiente de escoamento da etapa 1 para a etapa 2. Em outros termos, para o nível de significância adotado, não temos evidência forte para concluir que há qualquer mudança no coeficiente de escoamento da etapa 1 para a etapa 2.

**Tabela 30 – Tamanhos amostrais, coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões com todos os eventos**

Etapa	n	$X_m$	s
1	81	0,174	0,096
2	212	0,184	0,129
3	140	0,232	0,188

Fonte: Autor

**Tabela 31 – Estatística de teste e regiões críticas para teste de hipótese com todos os eventos**

Etapas	Estatística de Teste	Região Crítica	
		Lim. Inferior	Lim. Superior
1 e 2	-0,7246	-1,9725	1,9724
1 e 3	-3,0307	-1,9710	1,9710
2 e 3	-2,6457	-1,9707	1,9707

Fonte: Autor

Tabela 32 – Resultados do teste de hipótese para coeficientes de escoamento

Etapas	Hipótese Nula
	$(C_1=C_2,$ $C_1=C_3 \text{ ou } C_2=C_3)$
1 e 2	Não se rejeita
1 e 3	Rejeita-se
2 e 3	Rejeita-se

Fonte: Autor

Em contrapartida, da etapa 1 para a 3 e da etapa 2 para 3, as estatísticas de teste estão compreendidas na região crítica, conseqüentemente, rejeita-se a hipótese nula de que não houve mudança significativa no coeficiente de escoamento devido o redirecionamento do escoamento do telhado. Ou seja, há evidências estatísticas suficientes, ao nível de significância de 5%, para garantir que houve um aumento significativo nos coeficientes de escoamento da etapa 1 para a 3 e da etapa 2 para a 3.

A Tabela 32 traz um resumo dos resultados obtidos nos o testes de hipótese para os coeficientes de escoamento.

#### 5.5.1.2 Vazões de pico

No tocante às vazões de pico, com base nas informações mostradas na Tabela 33, para todos os casos as estatísticas de teste estão compreendidas na região crítica, como pode ser visualizado na Tabela 34. Assim sendo, rejeita-se a hipótese de que não houve mudança significativa nas vazões de pico em virtude das alterações na configuração do lote para todos os casos. Logo, como mostra a Tabela 35, há evidências estatísticas suficientes, ao nível de significância de 5%, para garantir que da etapa 1 para a etapa 2, da 1 para a 3 e da 2 para 3 houve uma diminuição significativa nas vazões máximas.

**Tabela 33 – Tamanhos amostrais, coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões para vazões de pico**

<b>Etapa</b>	<b>n</b>	<b><math>X_m</math></b>	<b>s</b>
1	81	206,20	227,01
2	217	129,416	131,135
3	140	67,48	70,83

Fonte: Autor

**Tabela 34 – Estatística de teste e limites da regiões críticas para teste de hipótese das vazões de pico**

<b>Etapa</b>	<b>Estatística de Teste</b>	<b>Região Crítica</b>	
		<b>Lim. Inferior</b>	<b>Lim. Superior</b>
<b>1 e 2</b>	2,8706	-1,9840	1,9840
<b>1 e 3</b>	5,3510	-1,9870	1,9870
<b>2 e 3</b>	5,7735	-1,9669	1,9669

Fonte: Autor

**Tabela 35 – Resultados do teste de hipótese para vazões de pico**

<b>Etapa</b>	<b>Hipótese Nula</b>
	<b>(<math>Q_1=Q_2</math>, <math>Q_1=Q_3</math> ou <math>Q_2=Q_3</math>)</b>
<b>1 e 2</b>	Rejeita-se
<b>1 e 3</b>	Rejeita-se
<b>2 e 3</b>	Rejeita-se

Fonte: Autor

## 5.5.2 Teste de hipótese com maiores coeficientes de escoamento e maiores vazões de pico

### 5.5.2.1 Maiores coeficientes de escoamento

Os tamanhos amostrais, os coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões para os maiores coeficientes de escoamentos são mostrados na Tabela 36

Como a etapa 1 não apresentou o tamanho amostral maior ou igual a 30, requisito para a utilização do teste, foi feita a verificação de normalidade da amostra, sendo analisado o histograma, o diagrama de caixa e o gráfico de quantis normais, como descrito no Anexo B.

**Tabela 36 – Tamanhos amostrais, coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões para maiores coeficientes**

<b>Etapa</b>	<b>n</b>	<b><math>X_m</math></b>	<b>s</b>
<b>1</b>	19	0,301	0,043
<b>2</b>	55	0,365	0,082
<b>3</b>	35	0,497	0,157

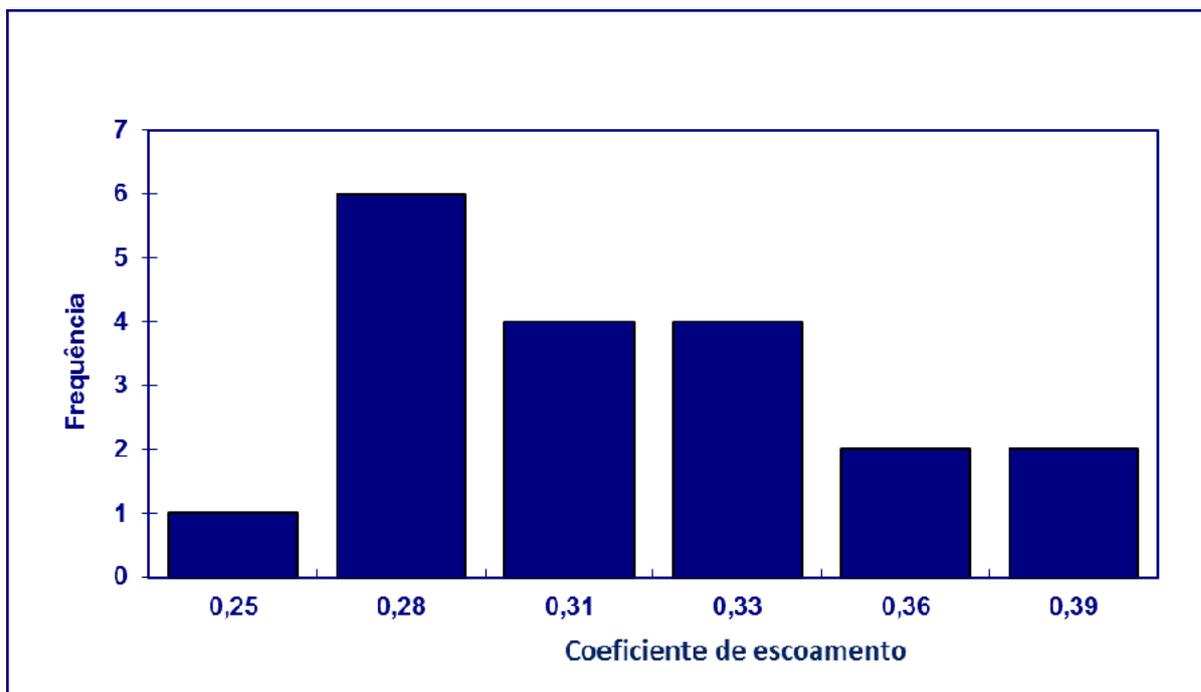
Fonte: Autor

Conforme Figura 37, o histograma, dividido em 5 classes, não se afasta da forma de sino. O diagrama de caixa não exibe a presença de outliers e o gráfico dos quantis normais (Figura 38) se aproxima de uma reta. Logo, o conjunto amostral aparenta vir de uma população normalmente distribuída.

Em todos os casos, como mostra a Tabela 37, as estatísticas de teste caem na região crítica, desta forma, rejeita-se a hipótese nula, chegando-se a conclusão de que, ao nível de 5%, houve evidências suficientes para garantir a mudança nos coeficientes de escoamento.

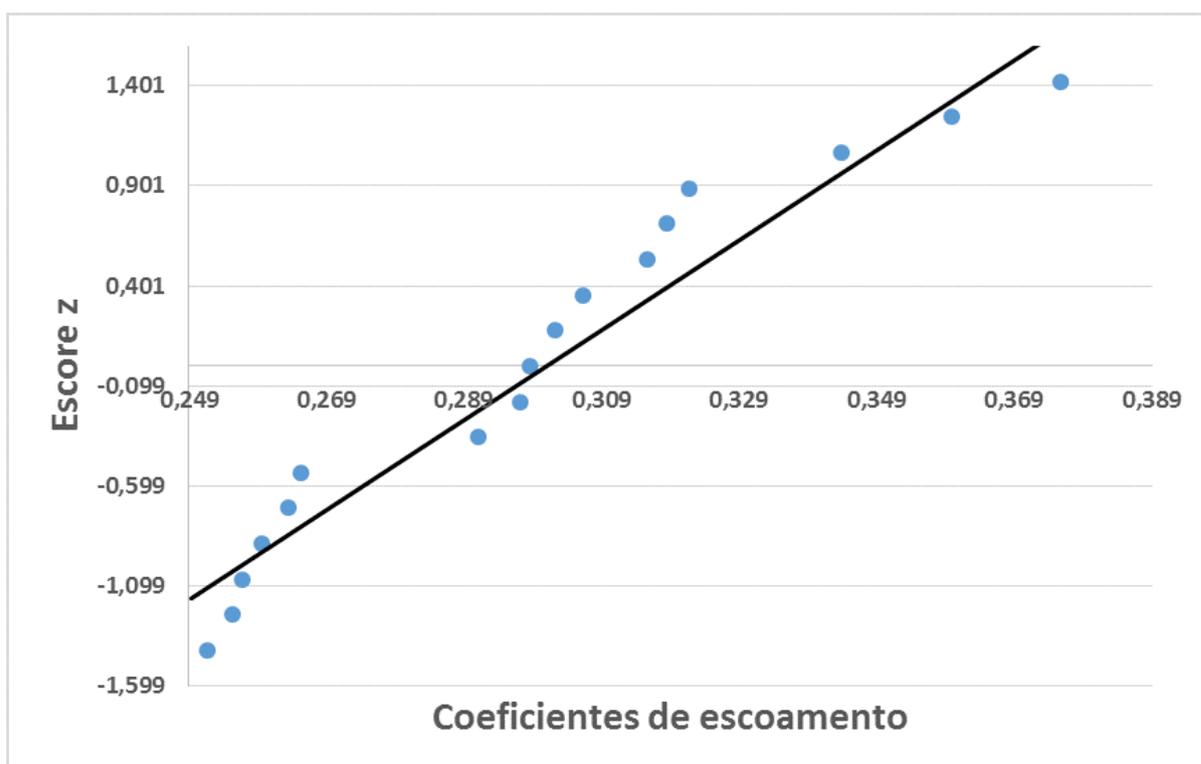
Os resultados obtidos para os testes de hipóteses são mostrados na Tabela 38.

Figura 37 – Histograma para maiores coeficientes de etapa 1



Fonte: Autor

Figura 38 – Gráfico dos quantis normais para maiores coeficientes de escoamento da etapa 1



Fonte: Autor

**Tabela 37 – Estatística de teste e regiões críticas para teste de hipótese com maiores coeficientes de escoamento**

Etapas	Estatística de teste	Região Crítica	
		Lim. Inferior	Lim. Superior
<b>1 e 2</b>	-4,3191	-2,0003	2,0003
<b>1 e 3</b>	-6,9228	-2,0181	2,0181
<b>2 e 3</b>	-4,5914	-2,0141	2,0141

Fonte: Autor

**Tabela 38 – Resultados do teste de hipótese para maiores coeficientes de escoamento**

Etapas	Hipótese Nula ( $C_1=C_2$ , $C_1=C_3$ ou $C_2=C_3$ )
	<b>1 e 2</b>
<b>1 e 3</b>	Rejeita-se
<b>2 e 3</b>	Rejeita-se

Fonte: Autor

#### 5.5.2.2 Coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico

Foi feito também o teste de hipótese para os coeficientes de escoamento que apresentaram as maiores vazões de pico (seção 5.4.2). Os tamanhos amostrais, os coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões estão expressos na Tabela 39.

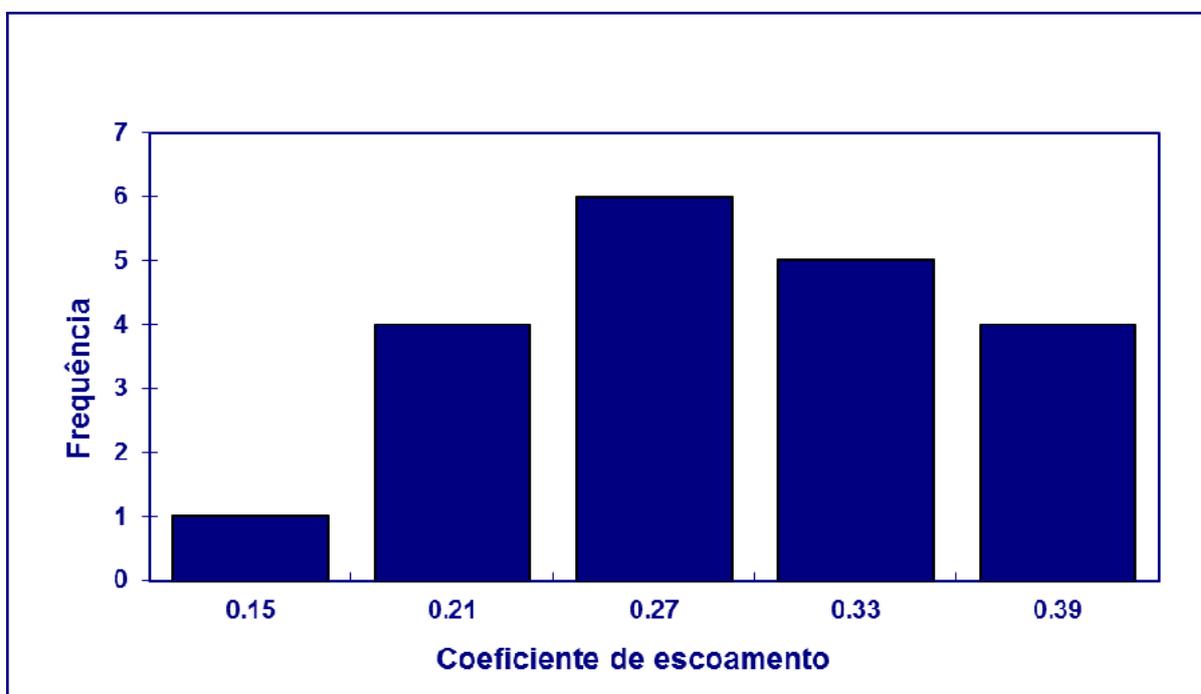
**Tabela 39 – Tamanhos amostrais, coeficientes de escoamento médio e os desvios-padrões para coeficientes com maiores vazões de pico**

Etapa	n	$X_m$	s
1	20	0,267	0,074
2	55	0,311	0,1
3	35	0,354	0,195

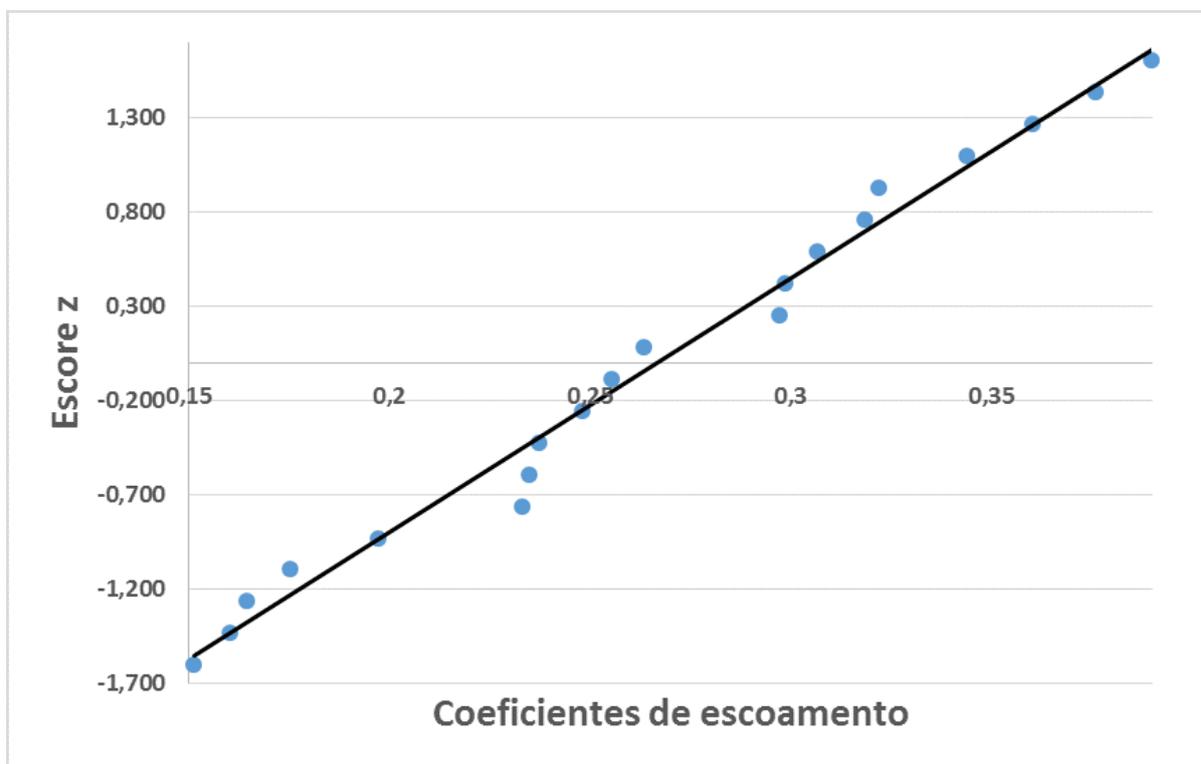
Fonte: Autor

A etapa 1 não apresentou o tamanho amostral maior ou igual a 30, então foi feito a verificação de normalidade da amostra.

No que se refere ao histograma, o mesmo foi dividido em 5 classes e, como pode ser visto na Figura 39, não se afasta da forma de sino. O diagrama de caixa não apresentou a presença de outliers. O gráfico dos quantis normais (Figura 40), por sua vez, aproxima-se razoavelmente da reta. Assim, pode-se concluir que o conjunto amostral aparenta vir de uma população normalmente distribuída.

**Figura 39 – Histograma para coeficientes das maiores vazões de pico da etapa 1**

Fonte: Autor

**Figura 40 – Gráfico dos quantis normais para coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico**

Fonte: Autor

A Tabela 40 apresenta a estatística de teste e os limites que definem a região crítica, para um nível de significância de 5%.

Para os coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico, da etapa 1 para a etapa 2 e da etapa 1 para a 3, as estatísticas de teste se apresentam na região crítica, desta forma, rejeita-se a hipótese nula. Conclui-se, então, que houve evidências estatísticas suficientes, ao nível de significância de 5%, para garantir que houve aumento significativo nos coeficientes de escoamento da etapa 1 para a 2 e da etapa 1 para a 3.

Da etapa 2 para a 3, deixa-se de rejeitar a hipótese nula, pois a estatística de teste está localizada fora da região crítica. Logo, não temos evidência forte para concluir que há qualquer mudança no coeficiente de escoamento da etapa 2 para a etapa 3. A Tabela 41 apresenta um resumo dos resultados encontrados para os coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico.

**Tabela 40 – Estatística de teste e regiões críticas para teste de hipótese com maiores vazões máximas**

Etapas	Estatística de teste	Região Crítica	
		Lim. Inferior	Lim. Superior
1 e 2	-2,0614	-2,0141	2,0141
1 e 3	-2,3589	-2,0117	2,0117
2 e 3	-1,2074	-2,0141	2,0141

Fonte: Autor

**Tabela 41 – Resultados do teste de hipótese para coeficientes de maiores vazões pico**

Etapas	Hipótese Nula
	$(C_1=C_2,$ $C_1=C_3 \text{ ou } C_2=C_3)$
1 e 2	Rejeita-se
1 e 3	Rejeita-se
2 e 3	Não se rejeita

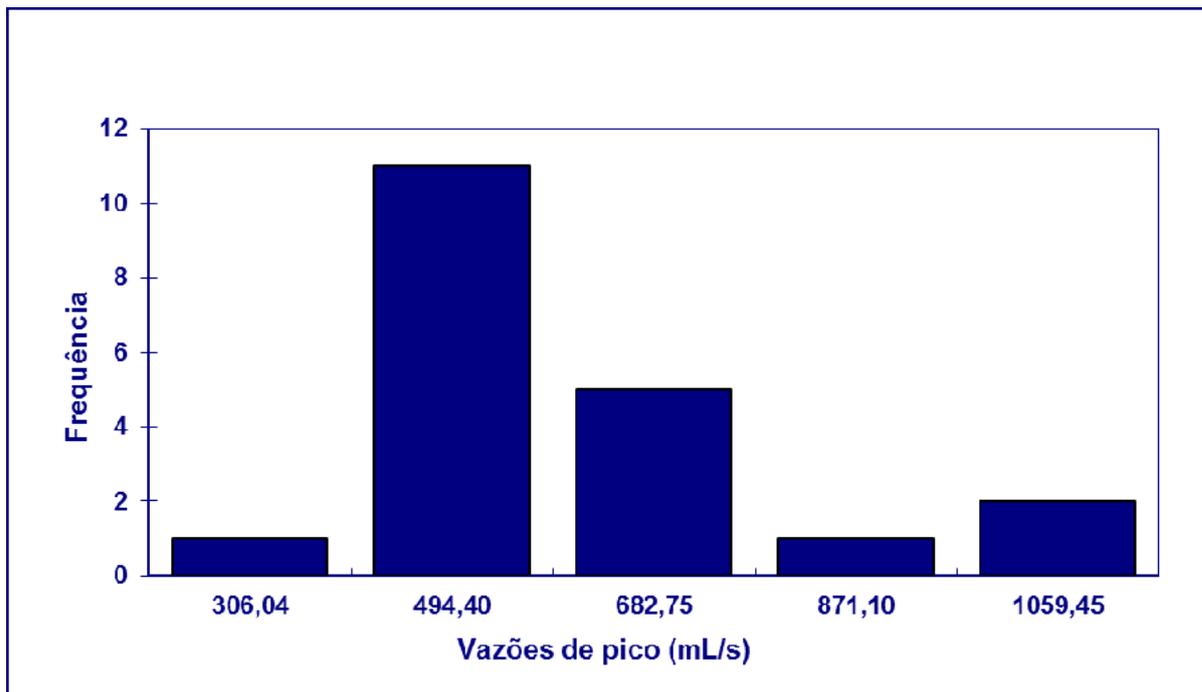
Fonte: Autor

### 5.5.2.3 Maiores vazões de pico

De maneira análoga a seção anterior, como o tamanho amostral da etapa 1 é menor que 30 (Tabela 42), foi feito o teste da normalidade.

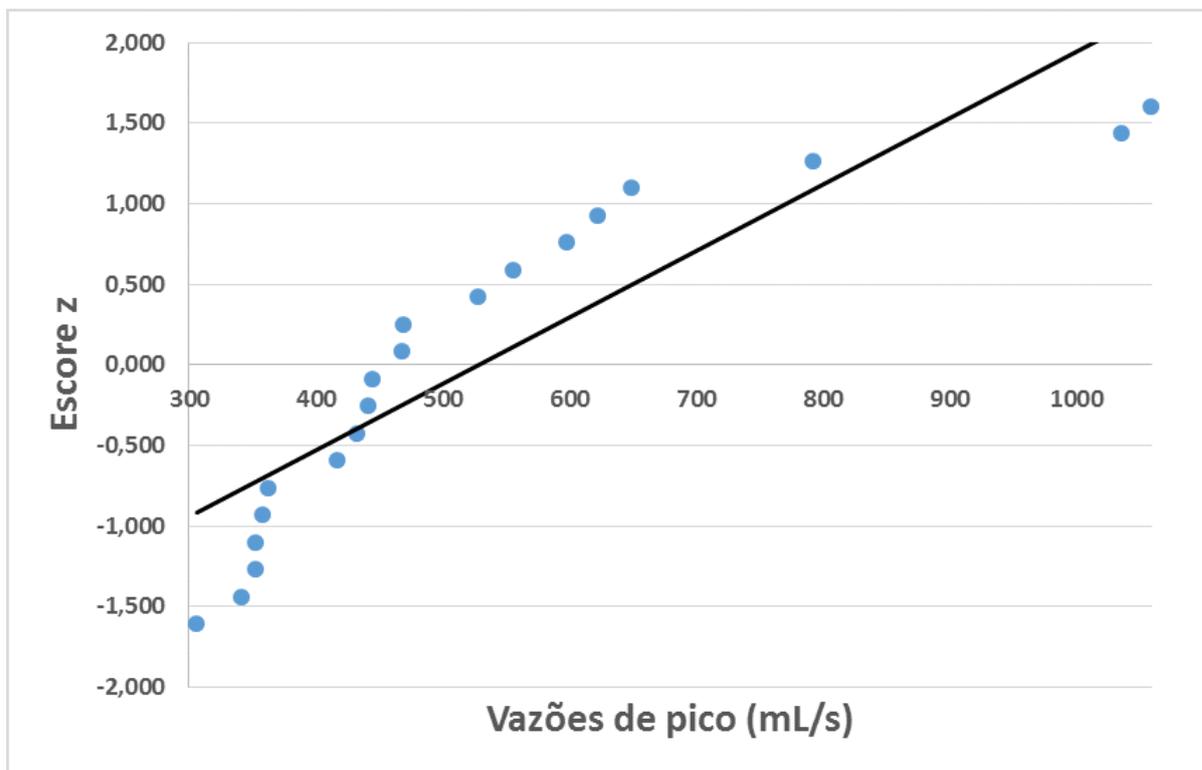
No gráfico dos quantis normais (Figura 42), percebe-se que os pontos se distanciam um pouco da reta. Já o histograma (Figura 41), dividido em 5 classes, em seu trecho final, afasta-se da forma de um sino, em virtude da presença de dois outliers, o que leva a interrupção do teste de normalidade, e, conseqüentemente, do teste “t”.

Figura 41 – Histograma para vazões de pico da etapa 1



Fonte: Autor

Figura 42 – Gráfico dos quantis normais para maiores vazões de pico



Fonte: Autor

Como alternativa ao teste “t”, foi utilizado o teste não-paramétrico de homogeneidade proposto por Mann-Whitney, uma vez que o mesmo só apresenta como exigência que as observações sejam medidas em escala ordinal ou numérica. O procedimento segue descrito no Anexo C.

**Tabela 42 – Estatística de teste e regiões críticas para teste de hipótese das maiores vazões de pico**

Etapa	Estatística de teste	Região Crítica	
		Lim. Inferior	Lim. Superior
1 e 2	-4,912	-1,96	1,96
1 e 3	-6,2040	-1,96	1,96
2 e 3	-6,989	-1,96	1,96

Fonte: Autor

**Tabela 43 – Resultados do teste de hipótese para maiores vazões de pico**

Etapa	Hipótese Nula
	$(Q_1=Q_2, Q_1=Q_3 \text{ ou } Q_2=Q_3)$
1 e 2	Rejeita-se
1 e 3	Rejeita-se
2 e 3	Rejeita-se

Fonte: Autor

Em todos os casos, para um nível de significância de 5%, as estatísticas de teste, mostradas na Tabela 42, ficaram na região crítica, portanto rejeita-se a hipótese que não houve mudança significativa de uma etapa para a outra. Desta forma, pode-se concluir que houve evidências estatísticas suficientes, ao nível de significância de 5%,

que ocorreu uma diminuição significativa da etapa 1 para a 2, da 1 para a 3 e da 2 para a 3.

A Tabela 41 apresenta um resumo com os resultados encontrados para o teste de hipótese para as maiores vazões de pico, de duas em duas etapas.

## 6 CONCLUSÕES

No que se refere à análise comparativa dos coeficientes de escoamento considerando todos os eventos, observa-se, da etapa 1, sem intervenção, para a etapa 2, com o direcionamento do escoamento da água para perto do vertedor, um pequeno aumento, sendo de apenas 5,75%. Igualmente, os indicadores trabalhados mostraram uma discrepância pouco representativa entre as duas etapas.

Os resultados supracitados refletem na análise de incertezas, calculada diretamente nos coeficientes de escoamento e por propagação, onde, no primeiro caso, as faixas dos intervalos de confiança estão bem próximas, e no segundo, apresentam sobreposição de intervalos. O teste de hipótese, por sua vez, não foi conclusivo quanto a mudanças nos coeficientes de escoamento, reafirmando, assim, os resultados obtidos.

A análise comparativa entre as etapas 1 e 3 apresentou resultados similares a análise entre as etapas 2 e 3. Nota-se, para ambas, que há um aumento nos coeficientes de escoamento médio, sendo de 33,33%, da 1 para a 3, e 26,08%, da 2 para a 3. Os indicadores seguem a mesma tendência que a estatística descritiva, ou seja, de modo geral, com o aumento da precipitação, o escoamento tem um crescimento mais expressivo, já com a diminuição da precipitação, o escoamento reduz de forma menos significativa. Na análise de incertezas, para os dois casos, as faixas dos intervalos de confiança apresentam uma diferença notável, o que foi confirmado no teste de hipótese, que apontou, ao nível de significância de 5%, um aumento nos coeficientes de escoamento.

Com base no exposto, sobretudo quando analisadas as diferenças nos coeficientes de escoamento entre as etapas 1 e 3 e as etapas 2 e 3, o redirecionamento do escoamento da coberta para o jardim não apresentou melhoras no que se refere a redução do coeficiente de escoamento. Como possíveis causas para tais resultados, pode-se citar: a pouca representatividade da área da coberta frente a área total em estudo; o regime atípico de chuvas enfrentado na terceira etapa do trabalho; as dimensões da calha não ter sido suficientes para o volume de chuva gerado.

No tocante aos testes estatísticos, os dois métodos de cálculo de incertezas, por propagação e calculada diretamente nos coeficientes, mostraram-se eficazes, uma vez que, quando comparado com os resultados obtidos nos testes de hipóteses, apresentaram resultados semelhantes.

Em se tratando dos maiores coeficientes de escoamento, a mudança da etapa 1 para a 2 ficou mais evidente, crescendo em 21,26%, o que refletiu no teste de hipótese, evidenciando-se mudanças significativas nos coeficientes de escoamento.

Esse comportamento pode ser visto também nos diagramas de caixa, onde o etapa 2 apresenta uma tendência global de estar posicionado mais acima do que o da etapa 1. Da etapa 1 para a 3 e da etapa 2 para a 3, embora, na etapa 3, o escoamento tenha sido direcionado para o jardim, os coeficientes de escoamento aumentaram em, respectivamente, 65,11% e 30,55%. Outrossim, os indicadores apresentaram comportamento similar, com um maior aumento no escoamento que na precipitação.

Nesse contexto, a instalação da calha para o direcionamento do escoamento para bem próximo do vertedor, da etapa 1 para a 2, surtiu efeito, uma vez que houve um diminuição significativa no coeficiente de escoamento. Contudo, da etapa 1 para a 3 e da etapa 2 para a 3, com o direcionamento do escoamento da água para o jardim, segue raciocínio semelhante ao que ocorre com os coeficientes de escoamento com todos os eventos, observa-se que não há uma diminuição nos coeficientes de escoamento.

Quanto às vazões de pico, da etapa 1 para a etapa 2, mesmo com o direcionamento do escoamento para perto do vertedor, houve uma diminuição de 37,23% nas vazões médias de pico. Todavia, em contrapartida, o direcionamento do escoamento da água para o jardim, da etapa 1 para a 3 e da etapa 2 para a 3, as vazões médias de pico reduzem em 67,27% e 47,85% respectivamente. Para as três situações, ao nível de significância de 5%, os testes de hipóteses confirmam as mudanças nos coeficientes de escoamento.

As maiores vazões de pico média exibem comportamento semelhante, sendo reduzida da etapa 1 para a 2, da 1 para a 3 e da 2 para a 3, em 40,24%, 70,71% e 50,99% respectivamente. Igualmente, os testes de hipóteses apontam para uma mudança significativa em todos os casos.

Percebe-se, nos parágrafos anteriores, da etapa 1 para a 3 e da etapa 2 para a 3, uma diminuição significativa nas vazões de pico. Esse tipo de resposta, quando levado em consideração um só lote, pode não representar muito, mas em uma escala com um número maior de lotes pode tornar o sistema de drenagem menos oneroso, por exemplo, diminuindo os diâmetros das tubulações, e evitar cheias ou inundações.

Por fim, foram analisados os coeficientes de escoamento das maiores vazões de pico. Da etapa 1 para a etapa 2, houve um aumento de 16,47%, que foi confirmado no teste de hipótese. Da etapa 1 para a 3 e da etapas 2 para a 3, assim como demais análises comparativas com os coeficientes de escoamento, e seguindo o mesmo raciocínio, houve um crescimento de, respectivamente, 32,58% e 13,82%, porém, na segunda situação, não houve evidências estatísticas suficientes para confirmar a mudança.



## Referências

- ACIOLI, L. A. *Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle de escoamento superficial na fonte*. 2005. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- AGRA, S. G. *Estudo experimental de microrreservatórios para controle de escoamento superficial*. 2001. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- CAMPOS, J. B. N.; BARBASSA, A. P. Comportamento hidrológico de lotes urbanos em escala real sob diferentes condições de uso e ocupação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 2007, Maceió. Maceió, 2007. v. 6.
- CANHOLI, A. P. Drenagem Urbana e Controle de Enchente. In: \_\_\_\_\_. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2005.
- CANHOLI, J. F. *Medidas de controle "in Situ" do escoamento superficial em áreas urbanas: análise de aspectos técnicos e legais*. 2013. 184 p. Dissertação (Engenharia) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FLETCHER, T. D.; ANDRIEU, H.; HAMEL, P. Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, v. 51, p. 261 – 279, 2013.
- FONSECA, M. A. Erros experimentais – uma abordagem pedagógica – parte I. *Boletim Informativo da Sociedade Portuguesa de Química*, v. 95, p. 37 – 41, outubro 2004.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. *Introdução a Mecânica dos Fluidos*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 1995.
- GRACIOSA, M. C. P. *Trincheiras de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana*. 2005. 282 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- IPH/DEP. *Plano Diretor de Drenagem Urbana*. 6. ed. Porto Alegre, 2005.
- LEE, J. G.; HEANEY, J. P. Estimation of Urban Imperviousness and its Impacts on Storm Water Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 129, p. 419 – 426, 2003.
- MARTINS, M. A. F. et al. Comparação entre os métodos linear e não linear para a avaliação da incerteza de medição. *Revista Controle & Automação*, v. 21, p. 557 – 576, 2010.
- OHNUMA JÚNIOR, A. A.; ANDRADE, J. P. M.; ALVES, E. M. Monitoramento quantitativo de águas pluviais em lote domiciliar urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 2007, Maceió. *Encontro Nacional de Águas Urbanas*. Maceió, 2007. v. 6.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, M. S. de. Desempenho de trincheiras de infiltração de água de chuva para controle do escoamento superficial nos lotes urbanos. São Paulo, n. 16, p. 4561 – 4572, setembro 2016.

REPÚBLICA. Brasília, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)>. Acesso em: 12/02/2017.

SAMOHYL, R. W. *Controle Estatístico de Qualidade*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora LTDA, 2009.

SILVA, D. F. *Análise da influência de microrreservatórios em um loteamento e seus efeitos em escala*. 2016. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUZA, V. C. B. de. *Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial*. 2002. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) — Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TASSI, R. *Efeitos dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana*. 2002. 156 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

TOMINAGA, E. N. de S. *Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte*. 2013. 137 p. Dissertação (ENGENHARIA) — ESCOLA POLITECNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: <[file:///C:/Users/Helaelson/Downloads/Dissert\\_Tominaga.pdf](file:///C:/Users/Helaelson/Downloads/Dissert_Tominaga.pdf)>.

TRIOLA, M. F. *Introdução a Estatística*. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA, 2008.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. *Eng, Sanitária Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 655 – 662, out/dez 2016.

YAO, L.; WEI, W.; CHEN, L. How does imperviousness impact the urban rainfall-runoff process under various storm cases? *Ecological Indicators*, v. 60, p. 893 – 905, 2016.

## **Apêndices**

## APÊNDICE A – Planilha de visita de campo

**Tabela 44 – Relatório de Campo**

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
12/07/2014	I	Rp	Rp	-	
15/07/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	D	
18/07/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	D, Lm	
21/07/2014	-	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	-	
22/07/2014	L	-	-	-	Troquei a água e deixei em um nível um pouco mais baixo que a soleira

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
26/07/2014	L	D	D, Rp, Rc, Lm		Completei o direcionamento do escoamento. Coloquei outro sensor para testar (PPP - Levellogger edge)
29/07/2014	-	-	-	-	Análise preliminar dos dados baixados no dia 21 para saber se vale à pena deixar DT = 1 min. Conclusão: deixando o vertedor com água até a soleira, parece ser razoável 1 min, pois dá pra ver a subida do cotograma. Ideia: na próxima visita deixar dois sensores com dois barologgers, sendo um com 1 min e outro com 30 s
30/07/2014	-	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	-	Coloquei em operação os dois sensores, conforme ideia do dia 29/07. Quanto aos dados baixados, relativos à colocação em operação no dia 26/07, parece que o sensor PPP - Levellogger edge não marcou corretamente

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
01/08/2014	-	-	-	-	Renovei a água do vertedor e coloquei água sanitária.
05/08/2014	L	D	D	-	Baixei os dados e retirei os sensores para análise.
07/08/2014	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	Renovei a água do vertedor e coloquei água sanitária. Adotei 30s. Houve chuva entre os dias 05/08 e 07/08 e o provável escoamento proveniente dela foi perdido, pois não havia sensores no local.
10/08/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	D	Coloquei um pouco de silicone na entrada do vertedor para melhorar a entrada do escoamento. Retirei muita areia de dentro dele, pois sábado choveu o dia inteiro. Varri o terraço.

---

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
11/08/2014	-	-	-	-	Análise dos dados comparativos 30 s x 1 min, com os dois sensores colocados no dia 30/07. O Prof. Vladimir, membro da equipe, havia alertado que toda vez que for colocado o sensor, deve-se observar o quanto a profundidade medida corresponde à real. As diferenças nem sempre serão as mesmas, variando de um dia de colocação do sensor para outro, de modo que sempre é interessante deixar o estado inicial do vertedor com o nível até a soleira, pois corresponde a 10,2 cm (0,102 m) de profundidade. Então esta análise visou duas coisas: comparar as medições entre DTs distintos (1 min e 30 s) e os dois sensores (com relação à diferença entre o medido nos dois sensores e o real 10,2 cm). Decidiu-se que as diferenças sempre serão verificadas para que haja sempre uma correção na profundidade medida, e a verificação utilizará dados coletados nos sensores correspondente ao período desde a instalação até um pouco antes do primeiro evento registrado, pois assim se tem a certeza que a água está na profundidade 10,2 cm.

---

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
12/08/2014	L	-	-	-	Renovação da água e limpeza de sedimentos no vertedor. Outra análise será realizada após baixar os dados do monitoramento iniciado no dia 07/08/2014, com intervalo de tempo de 30 s. A análise tomará os dados a cada 30 s e também separou a cada 1 min (simulando o caso de a programação ter sido colocada para 1 min).
13/08/2014	Lv	-	-	-	Limpeza do terraço
18/08/2014	L, Lv	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	-	Soube que houve uma limpeza do terraço com jato de água no dia 13/08. Havia lodo no vertedor, o que resultou em uma limpeza mais demorada. Nas próximas semanas, as análises dos intervalos de tempo deverão terminar.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
23/08/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	D	Programei Dt = 30 s
25/08/2014	L	-	-	-	Deverá aparecer nos dados um abaixamento do nível e depois uma subida.
27/08/2014	Lv	-	-	-	Limpeza do terraço
30/08/2014	L, Lv	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	D, Lm	Soube que houve uma limpeza do terraço com jato de água no dia 27/08. Havia sujeira no vertedor. Programei Dt = 30 s
03/09/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	-	Programei Dt = 30 s. Limpei o vertedor. Não houve eventos significativos, mas isto é confirmado ou não com a análise dos dados de chuva
09/09/2014	L	-	-	-	Deverá aparecer nos dados um abaixamento do nível e depois uma subida

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
12/09/2014	L	-	-	-	Deverá aparecer nos dados um abaixamento do nível e depois uma subida.
13/09/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	-	Programei Dt = 1 min. Limpei o vertedor.
21/09/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	D	Programei Dt = 1 min. Limpei o vertedor.
04/10/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	-	
19/10/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	D, Rp, Rc, Lm	-	Programei Dt = 30 s
27/10/2014	L	D	D	-	Retirei os sensores por um tempo. Faremos uma limpeza no vertedor.
04/12/2014	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	Programei para as 18h, mas coloquei às SSSSS
06/12/2014	L	-	-	-	

---

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
07/12/2014	L	-	-	D	<p>Hora no datalogger diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 36,5 minutos em relação ao netbook.</p>
17/12/2014	-	-	-	D	<p>O vertedor estava com a lâmina um pouco rebaixada, um pouco menos de 1 cm. Coloquei mais água. Minha intenção nesta data era retirá-lo e limpá-lo, mas ameaçou chover. Levei alguns alunos para deixá-los a par de tudo. Quanto aos dados de chuva, a hora no datalogger estava diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 36,5 minutos em relação ao netbook.</p>

---

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
22/12/2014	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	
01/01/2015	I	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	Recoloquei o vertedor no local, coloquei isopor, programei os sensores. Os dados válidos são aqueles a partir das 18h.
04/01/2015	I	D, Rp, Rc, Lm	-	-	Coloquei mais isopor e também silicone na entrada do vertedor
12/01/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Acresentei mais água, pois sempre que vou está um pouco abaixo da soleira. Houve tão pouca chuva que estes dados podem não mostrar eventos.
08/02/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Hora no datalogger diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 12 minutos em relação ao netbook.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
21/02/2015	L	-	-	-	Choveu muito na semana de 16 a 20/02/2015. Estava bem sujo.
28/02/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Hora no datalogger diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 9 minutos em relação ao netbook.
07/03/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Hora no datalogger diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 4 minutos em relação ao netbook.
14/03/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Hora no datalogger diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 4 minutos em relação ao netbook.
21/03/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Hora no datalogger diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 4 minutos em relação ao netbook.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
04/04/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Hora no datalogger diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 8 minutos em relação ao netbook.
21/04/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Hora no datalogger diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 7 minutos em relação ao netbook.
01/05/2015	L, Lv	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Muito sujo, pois houve retirada do telhado da garagem. Houve limpeza do terraço. Hora no datalogger diferente do netbook. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 5 minutos em relação ao netbook.
06/05/2015	L	-	-	-	Bastante sujo
10/05/2015	L	-	-	-	
17/05/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Material de colocação do telhado no chão, na parte de baixo superposta em planta com o telhado. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 8 min e 40 s em relação ao netbook.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
20/05/2015	L	-	-	-	Material de colocação do telhado no chão, na parte de baixo superposta em planta com o telhado.
23/05/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Material de colocação do telhado no chão, espalhado pela manhã do dia 23/05. Aparentemente na chuva da madrugada o material estava como na visita anterior. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 3 minutos em relação ao netbook.
01/06/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 4 minutos em relação ao netbook.
04/06/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 40 s em relação ao netbook.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
07/06/2015	L	-	-	-	
17/06/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 8 min e 17 s em relação ao netbook.
27/06/2015	L	-	-	-	Início da etapa 2: instalação da calha
05/07/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 9 min e 35 s em relação ao netbook. Parte dos dados baixados são da etapa 1.
20/07/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 5 min em relação ao netbook.
02/08/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 6 min em relação ao netbook.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
12/08/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 6 min e 30 s em relação ao netbook.
23/08/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 6 min em relação ao netbook.
29/08/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 2 min em relação ao netbook. Não houve chuva.
06/09/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 4 min e 30 s em relação ao netbook.
12/09/2015	L, Lv	-	-	-	Não houve chuva. Renovei a água do vertedor e acertei a hora do relógio do pluviômetro. A Sandra limpou o terraço no final da tarde, o que pode ocasionar o aparecimento de uma pequena subida na profundidade do vertedor.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
20/09/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 4 min e 20 s em relação ao netbook.
27/09/2015	L, Lv	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 3 min e 40 s em relação ao netbook.
30/09/2015	Lv				
04/10/2015	L, Lv	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	Não houve chuva. Somente acertei a hora do relógio. Água do vertedor suja, pois houve limpeza do terraço no dia 30/09/2015.
11/10/2015	L, Lv	-	-	-	
14/10/2015	Lv	-	-	-	A Sandra limpou o terraço à tarde, o que pode ocasionar o aparecimento de uma pequena subida na profundidade do vertedor.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
15/10/2015	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	A água no vertedor estava muito baixa. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 6 min em relação ao netbook.
25/10/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	A água no vertedor estava muito suja e estava um pouco baixa, cerca de 1 cm. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 6 min em relação ao netbook.
31/10/2015	Lv	-	-	-	
02/11/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	A água no vertedor estava muito suja e estava um pouco baixa, um pouco menos de 1 cm.
08/11/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 3 min e 10 s em relação ao netbook.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
11/11/2015	Lv	-	-	-	
15/11/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	A água no vertedor estava suja e estava um pouco baixa, perto de um 1 cm. O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 2 min em relação ao netbook.
21/11/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 3 min e 10 s em relação ao netbook.
25/11/2015	Lv	-	-	-	
29/11/2015	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	Não houve chuva. Acerto da hora do relógio.
02/12/2015	Lv	-	-	-	Houve uma pequena construção de uma rampa de acessibilidade e mudança do piso da varanda. Assim, houve lavagem do terraço.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
06/12/2015	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	Não houve chuva. Acerto da hora do relógio. Retirei o vertedor para limpeza e manutenção do local.
18/12 em diante					Houve dias com chuva, mas sem monitoramento de vazão.
10/01/2016	I	Rp,Rc	Rp,Rc	-	
14/01/2016	-	-	-	-	A água no vertedor estava muito baixa
17/01/2016	L	-	-	-	A água no vertedor estava muito baixa
20/01/2016	Lv	-	-	-	
21/01/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 11 min em relação ao netbook.

---

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
31/01/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 5 min e 10 s em relação ao netbook.
04/02/2016	L	-	-	-	
14/02/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 7 min e 40 s em relação ao netbook. Os dados do vertedor foram perdidos, pois salvei como dados do barollogger. Na compensação, saíram dados zerados.
21/02/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O relógio do netbook estava errado. Então, adotar o mesmo atraso por dia anterior. Nível da água no vertedor estava cerca de 1 cm abaixo da soleira.

---

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
28/02/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 4 min e 15 s
06/03/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 3 min e 50 s
11/03/2016	-	-	-	-	A água no vertedor estava suja e estava um pouco baixa, perto de um 1 cm
13/03/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um atraso de 3 min e 40 s
20/03/2016	L	-	-	-	
24/03/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	O datalogger do pluviômetro reinicializou de forma automática. Não foi possível verificar a defasagem
25/03/2016	-	-	-	D	O minillogger do pluviômetro registrou até 18/03/2016 às 06:57:18. Não é possível dizer se funcionará.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
02/04/2016	-	-	-	-	Foi retirado o datalogger do plu Sta Mônica e colocado no lugar. Há um período de falha, que começa no dia 20/03 até este dia 02/04/2016
09/04/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	
16/04/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um adiantamento de 50 s
22/04/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um adiantamento de 20 s
01/05/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	
08/05/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	
15/05/2016					O datalogger estava registrando a hora com um adiantamento de 1 min e 25 s

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
22/05/2016	L	-	-	-	
29/05/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	
02/06/2016	L	-	-	-	
07/06/2016	L	-	-	-	
13/06/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um adiantamento de 55 s
25/06/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um adiantamento de 1 min e 30 s
03/07/2016	L	-	-	-	Água muito suja, pois houve limpeza do terraço na semana anterior. Fiz um vídeo com a situação do monitoramento e com a ideia de implantação da 3ª etapa no lote.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
08/07/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um adiantamento de 1 min e 10 s
24/07/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger estava registrando a hora com um adiantamento de 1 min
01 e 02/08/2016	-	-	-	-	Início da etapa 3: redirecionamento da água da calha para o jardim
07/08/2016	L	-	-	-	Água muito suja, pois houve limpeza do terraço na semana anterior. Fiz um vídeo com a implantação da 3a etapa no lote.
11/08/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 1 min.
28/08/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 3 min e 50 s.

---

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
04/09/2016	L	-	-	-	
11/09/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datalogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 1 min. O Barollogger com atraso de 3 min e o Levellogger 4 min. Isto significa que pode ter havido atraso em todas as vezes, no level e no barol, e não foi observado. Fiz um filme no celular para depois verificar a questão da lâmina persistente no vertedor e também o que ele registra em uma chuva bem pequena.

---

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
16/09/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	Não foi registrado chuva. O levelogger estava registrando a hora com 50s de adiantamento em relação ao netbook. Já o barologger, 10 s de atraso.
24/09/2016	L	-	-	-	Água baixa e muito suja. Houve limpeza do terraço na sexta.
02/10/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	O levelogger estava registrando a hora com 1 min e 30s de atraso em relação ao netbook. Já o barologger, 1 min e 40s. O datalogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 2 min.
12/10/2016	L	-	-	-	Houve uso de uma piscina nas proximidades do vertedor, cujo esvaziamento gerou escoamento. Além disso, houve lavagem do terraço

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
16/10/2016	-	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	O levellogger estava registrando a hora com 3 min de atraso em relação ao netbook. Já o barollogger, 2 min e 15s. O datallogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 50s.
02/11/2016					O levellogger estava registrando a hora com 2 min de atraso em relação ao netbook. Já o barollogger, 1 min e 20s. O datallogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 2 min e 30s.
18/11/2016	L	D, Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O datallogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 1 min. O levellogger estava registrando a hora com 3 min e 15 s de atraso em relação ao netbook. Já o barollogger, 2 min e 40 s

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
03/12/2016	-	-	-	D	Retirei os sensores por um tempo para uma limpeza e uma verificação da curva do vertedor. O datalogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 1 min e 40 s.
28/12/2016	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Vertedor e sensores recolocados. Baixei somente dados de chuva. O datalogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 1 min e 30 s.
21/01/2017					
29/01/2017	L	-	-	-	Água baixa, cerca de 1 cm abaixo da soleira
31/01/2017	-	-	-	-	Visita ao lote com alunos. Água baixa (cerca de 1 cm)
05/02/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
19/02/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Visita ao lote com alunos. Teste do tempo de viagem
20/02/2017	L	-	-	-	Água um pouco baixa
05/03/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	
12/03/2017	L	-	-	-	Água um pouco baixa
18/03/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	
25/03/2017	L	-	-	-	
01/04/2017	L	-	-	-	
02/04/2017					Água cerca de 1 cm baixa. Não considerar eventos perto do meio dia. Eu fiz uma filmagem e completei o vertedor em um momento em que choveu um pouco.

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
16/04/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Os dados entre 18/03 e 16/04 não foram registrados corretamente. Provavelmente estes eventos foram perdidos. No dia 09/04/2017 parte da calha caiu. Ainda precisa ser consertada.
23/04/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Água um pouco baixa. Compensação com valores negativos, ou seja, mesmo problema detectado na visita do dia 16/04.
28/04/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	Água um pouco baixa. Compensação com valores negativos, ou seja, mesmo problema detectado nas visitas dos dias 16/04 e 23/04. Fiz um teste com os sensores e confirmou isto.
29/04/2017	-	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	-	Programei um sensor que estava na Biorretenção em substituição ao sensor que estava no lote. Programei para iniciar o monitoramento às 17h, mas a chuva veio antes. O intervalo de tempo adotado foi de 30s

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
07/05/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O intervalo de tempo adotado foi de 30s
09/05/2017	L	-	-	-	O intervalo de tempo adotado foi de 30s
14/05/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	água mais baixa quase 1 cm. O levelogger estava registrando a hora com 25 s de atraso em relação ao netbook. Já o barollogger, 1 min e 35s. O datalogger do pluviômetro estava registrando a hora com um adiantamento de 45s. O intervalo de tempo adotado foi de 30s
29/05/2017	-	-	-	D	
03/06/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Água um pouco baixa no vertedor. O intervalo de tempo adotado foi de 30s
14/06/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O intervalo de tempo adotado foi de 30s

Data	Descrição por equipamento				Observações
	Vertedor	Sensor	Barallogger	Pluviômetro	
24/06/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	Água um pouco baixa no vertedor. O intervalo de tempo adotado foi de 30s
02/07/2017	L	Rp, Rc, Lm	Rp, Rc, Lm	D	O intervalo de tempo adotado foi de 30s. Se houve evento entre 11:30 e meio dia, desconsiderar
15/07/2017					
26/07/2017					Final da etapa 3

sendo: I = instalação; L = limpeza; D = download; Rp = reprogramação; Rc = recolocação; Rs = Reforço no suporte; Lm = limpeza de memória; Lv = lavagem do terraço.

## **Anexos**



## ANEXO A – Estimação do intervalo de confiança

Para a determinação do intervalo de confiança da média populacional será utilizado a distribuição de t de Student, uma vez que o desvio padrão populacional ( $\sigma$ ) não é conhecido. Para tanto, deverão ser atendidos os seguintes requisitos:

- A amostra deverá ser aleatória simples;
- A amostra deverá ser proveniente de uma população normalmente distribuída ou o tamanho da amostra deverá ser maior que 30.

A determinação de um intervalo de confiança para a média, com  $\sigma$  desconhecido, será feita seguindo os seguintes passos (TRIOLA, 2008):

- 1) Verificar se os requisitos supracitados são satisfeitos;
- 2) De posse do grau de liberdade, calculado pela Equação A.1, e do nível de confiança, encontrar o valor crítico  $t_\alpha$  através da tabela de distribuição de t.

$$g = n - 1 \quad (\text{A.1})$$

sendo: g=graus de liberdade; n=tamanho amostral.

- 3) Calcular a margem de erro por meio da Equação A.2;

$$E = t_\alpha \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{A.2})$$

sendo:  $t_\alpha$  =valor crítico; s = desvio padrão amostral; n = tamanho amostral.

- 4) Utilizar a média amostral para encontrar os limites do intervalo de confiança  $x_m - E$  e  $x_m + E$ ;
- 5) Arredondar os limites do intervalo de confiança e colocar em um dos formatos dados pelas Equações A.3, A.4 e A.5.

$$x_m - E < \mu < x_m + E \quad (\text{A.3})$$

$$x_m = E \quad (\text{A.4})$$

$$(x_m - E, x_m + E) \quad (\text{A.5})$$

A estimativa da variância ocorrerá de maneira análoga, entretanto, será utilizada outra distribuição, denominada distribuição qui-quadrado. Os requisitos para a utilização da mesma são:

- A amostra deverá ser aleatória e simples;
- A população deverá ter valores normalmente distribuídos.

Diferentemente da distribuição de  $t$ , utilizada para encontrar a estimativa da média, a distribuição qui-quadrado não é simétrica e, em virtude disso os intervalos de confiança, superior e inferior, serão calculados separadamente.

A determinação do um intervalo de confiança para variância será feita através dos seguintes passos:

- 1) Verificar se são satisfeitos os requisitos para a utilização da distribuição qui-quadrado;
- 2) Calcular grau de liberdade (A.1) e, juntamente com o nível de confiança adotado, encontrar o valores críticos  $X^2_D$  e  $X^2_E$  através da tabela de distribuição qui-quadrado;
- 3) Calcular o limite inferior ( $L_E$ ) e superior ( $L_D$ ) do intervalo de confiança, utilizando as Equações A.6 e A.7 respectivamente;

$$L_E = \frac{(n - 1).s^2}{\chi^2_E} \quad (\text{A.6})$$

sendo:  $n$  = tamanho amostral;  $s$  = desvio padrão amostral;  $X^2_E$  = valor crítico inferior;

$$L_D = \frac{(n - 1).s^2}{\chi^2_D} \quad (\text{A.7})$$

sendo:  $n$  = tamanho amostral;  $s$  = desvio padrão amostral;  $X^2_D$  = valor crítico superior;

- 4) Arredondar os limites do intervalo de confiança e utilizar o formato da Equação A.8.

$$\frac{(n-1).s^2}{\chi_D^2} < \sigma^2 < \frac{(n-1).s^2}{\chi_E^2} \quad (\text{A.8})$$

## ANEXO B – Teste t para duas amostras

Para comparação das médias, serão considerados, para os dois conjuntos de dados, diferentes e desconhecidos desvios padrão populacionais. Os seguintes requisitos deverão ser satisfeitos:

- As duas amostras deverão ser independentes;
- As duas amostras deverão ser aleatórias simples;
- Os tamanhos amostrais para as duas amostras deverão ser grandes (maior que 30) ou as amostras deverão ser oriundas de populações com distribuições normais.

A verificação da normalidade para um tamanho amostral menor que 30 pode ser avaliada por três métodos: o histograma, onde se avaliar se o mesmo apresenta comportamento em forma de sino; o diagrama de caixa, no qual se observa se não há a presença de mais de um outlier; e o gráfico dos quantis normais, onde os pontos devem se aproximar razoavelmente de uma reta.

Em seguida, serão definidas afirmativas (hipóteses) sobre as médias das populações, sendo identificada e representada simbolicamente a hipótese nula, que contém igualdade, e a alternativa, que não contém igualdade.

Posteriormente, será calculada a estatística de teste (t), valor usado para se tomar a decisão sobre a hipótese nula. Por se tratar de teste de afirmativas sobre duas médias populacionais, será utilizado a distribuição t, com a estatística de teste calculada pela Equação B.1.

$$t = \frac{(x_{m,1} - x_{m,2}) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (\text{B.1})$$

sendo:  $x_{m,1}$  = média da primeira amostra;  $x_{m,2}$  = média da segunda amostra;  $\mu_1$  = média da primeira população;  $\mu_2$  = média da segunda população;  $s_1^2$  = variância da primeira amostra;  $s_2^2$  = variância da segunda amostra;  $n_1$  = tamanho amostral da primeira amostra;  $n_2$  = tamanho amostral da segunda amostra.

Em seguida, serão determinados os valores críticos, valores que separam a região crítica (onde rejeitamos a hipótese nula), através da tabela da distribuição t. Para isso, deverá ser definido o nível de significância, que é a probabilidade de a estatística de teste cair na região crítica, e calcular o grau de liberdade pela Equação A.1. Como

temos dois conjuntos de dados será calculado um grau de liberdade para cada conjunto e utilizado o menor dos dois.

Por fim, será verificado em que local se encontra a estatística de teste, se está ou não na região crítica, e, com base nisso, será estabelecido uma conclusão, se rejeita ou deixa de rejeitar a hipótese nula.

Para a comparação de variâncias populacionais, utilizando variâncias de duas amostras, será utilizado o teste F, que utiliza a distribuição F. Para a utilização desse tipo de teste deverão ser atendidos os seguintes requisitos:

- As duas populações deverão ser independentes uma da outra;
- As duas populações deverão ser normalmente distribuídas.

O procedimento para as variâncias será similar ao adotado para médias. Primeiramente, serão definidas as hipóteses sobre as variâncias das populações, identificando e representando simbolicamente a hipótese nula e alternativa.

Dando continuidade, será calculado a estatística de teste F pela Equação B.2.

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (\text{B.2})$$

sendo:  $s_1^2$  = maior das duas variâncias amostrais;  $s_2^2$  = menor das duas variâncias amostrais.

Mais adiante, utilizando a tabela da distribuição F, será encontrado os valores críticos. Para a utilização da tabela, será necessário adotar um nível de significância e calcular o grau de liberdade (Equação A.1) para ambas as amostras.

Com base na estatística de teste e nos valores críticos encontrados, será tomada a conclusão sobre a hipótese nula. Se a estatística de teste cair na região crítica a hipótese nula será rejeitada, caso contrário, deixará de ser rejeitada.

## ANEXO C – Teste de Mann-Whitney

Quando algum dos requisitos do teste “t” não forem atendidos, uma alternativa para testar se duas amostras independentes foram retiradas de populações de médias iguais é teste de Mann-Whitney, sua única exigência é que as observações sejam medidas em escala ordinal ou numérica. O procedimento para a realização do teste segue os seguintes passos:

- 1) Definir hipóteses nula (contém igualdade) e alternativa;
- 2) Organizar dados das duas amostras em ordem crescente, sendo atribuído às observações empatadas a média dos postos empatados;
- 3) Considerar  $n_1$  os números de observações da primeira amostra e  $n_2$  o número de observações da segunda amostra;
- 4) Calcular  $R_1$  e  $R_2$ , soma dos postos das etapas 1 e 2 respectivamente;
- 5) Calcular as estatísticas de Mann-Whitney ( $U_1$  e  $U_2$ ) através das Equações C.1 e C.2;

$$U_1 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_1 \cdot (n_1 + 1)}{2} - R_2 \quad (\text{C.1})$$

$$U_2 = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_2 \cdot (n_2 + 1)}{2} - R_2 \quad (\text{C.2})$$

- 6) Escolher o menor valor entre  $U_1$  e  $U_2$ , se  $n < 20$  utilizar a tabela de valores críticos de Mann-Whitney, caso contrário, utiliza-se para o cálculo de  $z$  (Equação C.3).

$$z = \frac{U - \mu_R}{\sigma_R} \quad (\text{C.3})$$

sendo

$$\mu_R = \frac{n_1 \cdot n_2}{2}$$

e

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$