

# Avaliação da sazonalidade do fenômeno da primeira carga de lavagem em um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais

*Seasonality assessment of the first flush phenomenon in a rainwater system*

Caroline Moreira de Souza<sup>1</sup> , Jaqueline Costa Areas de Almeida<sup>1</sup> , Leticia Delduque Alves<sup>1</sup> ,  
Ryan Rodrigues Domingos<sup>1</sup> , Daniele Maia Bila<sup>1</sup> , Alfredo Akira Ohnuma Júnior<sup>1\*</sup> 

## RESUMO

O escoamento superficial de áreas urbanas é capaz de transportar poluentes para os sistemas de armazenamento de água. O objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração de poluentes no dispositivo de separação inicial, denominado *first flush* (FF), e no reservatório (RR), conforme as estações do ano, em amostras de água de chuva, por meio da Concentração Média do Evento (CME) e das curvas M(V). A metodologia consistiu na análise de 68 amostras coletadas em um sistema de águas pluviais (SAP) na cidade do Rio de Janeiro (RJ), entre 2013 e 2019, e no tratamento estatístico de dados. Foram analisados os parâmetros turbidez (TU), sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade (ALC) e cloreto (CLO) nos dispositivos FF e RR. Os resultados indicaram baixa correlação de dados entre os parâmetros e as estações do ano. No verão, a precipitação propiciou maior diluição dos poluentes, em que os parâmetros TU e STD apresentaram valores menores, quando comparado às outras estações do ano, sobretudo em razão da instabilidade atmosférica. Os parâmetros CLO e ALC indicaram elevada ocorrência da primeira carga de lavagem (PCL) na primavera. O FF apresentou uma CME de turbidez de 73 UNT, enquanto no RR o valor foi de 4,3 UNT. Nos demais parâmetros analisados, o comportamento foi similar, de modo a evidenciar a concentração de poluentes no dispositivo FF, como medida de separar o volume inicial escoado superficialmente. Conclui-se que a instalação do FF é fundamental em sistemas de águas pluviais em razão da redução significativa da CME pelo descarte inicial de poluentes no volume armazenado no RR, independentemente da estação do ano.

**Palavras-chave:** curvas M(V); qualidade de águas pluviais; *first flush*; poluição difusa.

## ABSTRACT

Surface runoff in urban areas is able to carry pollutants to water storage systems. The purpose of this study was to assess the concentration of pollutants in the initial diverter systems called First Flush (FF), and Reservoir (RR) rainwater samples by means of Average Event Means Concentrations (EMCs) and Concentration Curves (CC) in accordance with the seasons of the year. The methodology consisted of an analysis of 68 samples collected from the rainfall system of Rio de Janeiro (RJ), from 2013 to 2019, and statistical data handling. The parameters of Turbidity (TU), Total Dissolved Solids (TDS), Alkalinity (ALK), and Chloride (CHLO) in the FF and RR systems were analyzed. The results showed that there was a low correlation of data between the parameters and seasons of the year. In Summer, precipitation led to a greater dilution of the pollutants since the TU and TDS parameters had lower values than was the case in other seasons of the year, largely as a result of atmospheric instability. The CHLO and ALK showed that the first wash load (FWL) occurred more often in the Spring. The FF had a turbidity EMC of 73 UNT, while in the case of RR, the value was 4.3 UNT. The pattern of behavior was similar in the other parameters that were analyzed and provided evidence that the concentrations of pollutants in the FF system, are a means of separating the initial volume of runoff on the surface. It was concluded that the installation of FF is essential in rainfall systems due to the significant reduction of the EMC by the initial disposal of pollutants in the volume stored in the reservoir, regardless of the season of the year.

**Keywords:** curves M(V); quality of rainwater; first flush; widespread pollution.

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

\*Autor correspondente: akira@eng.uerj.br

**Conflitos de interesse:** os autores declaram não haver conflitos de interesses.

**Financiamento:** Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), nº: E-26/201936/2018; Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Protocolo nº. 628088969079; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Processo nº: 457688/2014-9.

**Recebido:** 24/05/2020 - **Aceito:** 14/09/2021 - **Reg. Abes:** 20210025

## INTRODUÇÃO

O aumento da impermeabilidade do solo e, conseqüentemente, do volume do escoamento superficial tem ocasionado a elevação da lavagem de poluentes em águas superficiais nas áreas urbanas, de modo a provocar o transporte dos poluentes (Alamdari *et al.*, 2018). A remoção de material particulado e outros poluentes presentes na atmosfera depende, entre outros elementos meteorológicos, das condições de precipitação pluviométrica, como: intensidade, duração do evento e quantidade de dias secos que antecedem o evento pluviométrico (Yoon, 2010). Períodos hidrológicos secos e úmidos também podem alterar a concentração de poluentes durante a descarga de águas pluviais (Lee *et al.*, 2004). Dias secos consecutivos antecedentes aos eventos que caracterizam as amostras tendem a evidenciar clima mais seco, propício à deposição de poluentes (Gunawardana *et al.*, 2012), em razão das características meteorológicas, como pressão e umidade, que afetam a dispersão de poluentes (Mimura *et al.*, 2016). Nesse sentido, são evidenciadas relações proporcionais entre o período de estiagem e a quantidade de material particulado depositado nas superfícies (Nakada; Moruzzi, 2014).

Diversos fatores influenciam o transporte e/ou deposição de poluentes atmosféricos durante o escoamento, como as condições meteorológicas, a região analisada e a altitude em relação ao nível do mar (Flues, 2013). As características da superfície de captação das águas pluviais contribuem para maior aderência ou não dos poluentes, além de influenciarem na lavagem da carga poluidora (Mendez *et al.*, 2011; Schets *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014). Telhados com superfícies lisas, de aço galvanizado, por apresentarem menor porosidade que telhados de madeira, concreto e argila, retêm menos poluentes durante a deposição seca e contribuem de forma mais efetiva para a remoção deles nos eventos de precipitação (Lee *et al.*, 2012; Sanjeeva; Puttaswamaiah, 2018).

Determinados parâmetros físico-químicos indicam a presença desses poluentes, entre eles, a alcalinidade (ALC), que é causada por sais alcalinos, principalmente de cálcio e sódio. Na superfície de captação, esse parâmetro é alterado de acordo com o material: em telhas cerâmicas e de fibrocimento, a ALC é maior, em comparação a telhados metálicos (ROCHA, 2009). Os sólidos totais dissolvidos (STD) são constituídos de sais inorgânicos, matéria orgânica, micropoluentes orgânicos, entre outros contaminantes (Von Sperling, 2014). Em períodos de estiagem, os valores desse parâmetro são comumente superiores (Mazza, 2016). A turbidez (TU) está relacionada com o número de dias secos consecutivos antecedentes ao evento pluviométrico, em razão do acúmulo de poluentes na superfície de captação (Rocha, 2009). O cloreto (CLO) pode estar ligado a possíveis atividades industriais próximas ao local de captação e à queima de lixo, e não apenas a fontes marinhas, porém será encontrado em maior concentração próximo a oceanos e durante o período chuvoso, pois o aumento da circulação da brisa marítima contribui para os eventos de precipitação (Silva Filho, 2011).

Determinados estudos revelam a presença de poluentes em amostras de águas pluviais em níveis que inviabilizam o uso para fins diversos (Novak *et al.*, 2014; Kus *et al.*, 2010). A parcela inicial do volume de chuva escoado, denominada *first flush* (FF), tende a apresentar a maior parte do material particulado em comparação ao volume posterior do escoamento (LI *et al.*, 2017), o que pode influenciar na qualidade da água armazenada em sistemas de águas pluviais (Gikas; Tsihrintzis, 2012; Mendez *et al.*, 2011). Nesse contexto, tem sido fundamental verificar quais fatores, condicionantes e características locais são capazes de interferir na qualidade das águas pluviais armazenadas nos dispositivos

FF, na medida em que podem ocorrer variações decorrentes da sazonalidade pluviométrica, que poderão interferir na sua efetividade em reter uma maior parcela de poluentes.

No critério qualitativo utilizado para definir o fenômeno da primeira carga de lavagem (PCL), a parcela de massa total descartada deve ser maior ou igual a fração de volume total escoado durante o evento pluviométrico (Flint; Davis, 2007). A representação desse fenômeno pode ser obtida por análises das curvas  $M(V)$ , que relacionam a carga poluidora e a precipitação efetiva, ao longo do período do evento pluviométrico (Righetto, 2017). A definição de Geiger (1987) é um dos métodos mais utilizados para analisar curvas  $M(V)$ , no qual se verifica a divergência da curva em relação ao bissetor.

A concentração da carga poluidora carregada pode ser quantificada de forma independente pelo cálculo da Concentração Média do Evento (CME), sem considerar a variação temporal do evento de precipitação (Kim *et al.*, 2007). O cálculo da CME não tem relação consistente com uma chuva de alta intensidade pluviométrica, pois não são considerados os dias secos antecedentes ao evento (Kim *et al.*, 2003).

Este trabalho teve como objetivo avaliar, entre as estações do ano, a influência do fenômeno PCL na carga poluidora contida no volume escoado superficialmente e armazenado nos dispositivos FF e reservatório (RR), entre 2013 e 2019, em um sistema de águas pluviais (SAP), na cidade do Rio de Janeiro (RJ). O SAP consiste em componentes de instalações hidráulicas prediais instalados em uma área de captação de uma quadra poliesportiva e é composto de calhas, condutores, filtros e reservatório.

## METODOLOGIA

### Área de estudo e amostragem

O SAP localiza-se no bairro do Rio Comprido, região central da cidade do Rio de Janeiro, nas dependências do Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (CAp-UERJ). A região apresenta alta taxa de urbanização e concentração populacional, com população estimada de 46.723 habitantes (IBGE, 2020), próximo aos bairros da Tijuca, Santa Teresa e Centro (Figura 1).

O bairro apresenta intenso fluxo de veículos, com média de trânsito de 20.603 veículos em dias úteis (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2017), sobretudo pela proximidade do Elevado Engenheiro Freyssinet e da Avenida Paulo de Frontin, via de conexão entre as zonas sul e norte da cidade. Segundo o Instituto Estadual do Ambiente — INEA (2015), os veículos são os maiores responsáveis pela emissão de poluentes atmosféricos na região central da cidade do Rio de Janeiro, próxima do sistema instalado.

O SAP em estudo possui área de captação de cobertura em telhado metálico da quadra poliesportiva de 80 m<sup>2</sup>, composto de: sistema separador de sólidos, Sifão Extravasador (EXT), FF, RR de armazenamento de 2.460 L e pontos específicos de coleta (Figura 2).

O FF instalado é um pequeno reservatório com capacidade de armazenamento de 16 L ou 0,2 mm de precipitação acumulada e funciona como um sistema de descarte dos minutos iniciais da chuva. A qualidade do volume armazenado no FF sofre influência dos poluentes carregados pela precipitação na lavagem atmosférica e depositados na superfície de captação. O FF encontra-se localizado na tubulação do condutor vertical no ponto de coleta a montante do RR.

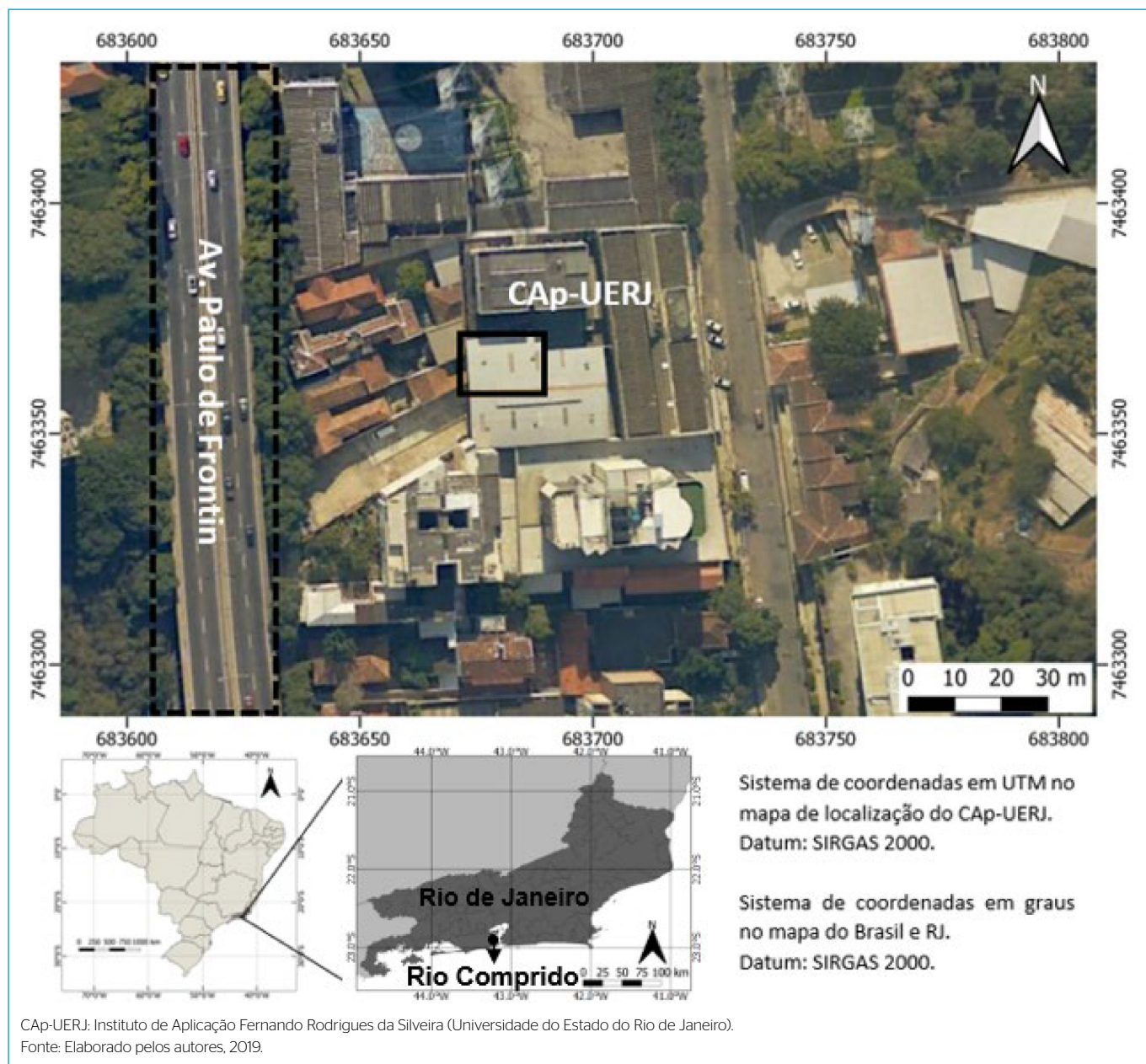


Figura 1 - Localização do sistema de águas pluviais no bairro Rio Comprido, na cidade do Rio de Janeiro.



Figura 2 - Superfície de captação em telhado metálico (à esquerda) e Sistema de Águas Pluviais (à direita).

A amostragem foi realizada no período de seis anos e três meses, entre março de 2013 e maio de 2019. No total, foram coletadas 68 amostras de eventos pluviométricos mensais em cada dispositivo (FF e RR): 17 em cada estação do ano. Ao fim de cada coleta, os volumes dos pontos FF e RR eram esvaziados e os registros fechados. Dessa maneira, a amostra analisada foi referente ao volume precipitado correspondente a 1 L armazenado nos dispositivos.

### Análise e tratamento dos dados dos parâmetros físico-químicos

A qualidade da água pluvial armazenada nos dispositivos FF e RR foi avaliada por meio dos parâmetros TU, STD, ALC e CLO. As análises dos parâmetros foram realizadas no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES), da Faculdade de Engenharia (FEN), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Para TU, foi utilizado turbidímetro modelo TECNOPON TB-1000, e para alcalinidade, a sonda multiparâmetro Aquaread AP-700. As análises de TU seguem o Método 2130 B; as de ALC, o Método 2320 B *Titration Method*; e as de CLO, o Método 4500-Cl – B, do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA e WEF, 2017).

O tratamento estatístico dos dados de qualidade das amostras de águas pluviais consistiu na elaboração de matrizes de correlação de Pearson na linguagem R (R CORE TEAM, 2018), relacionando o parâmetro TU com STD e ALC com CLO em cada estação do ano, por ponto de coleta. A definição da correlação dos parâmetros de qualidade de água é justificada em função da magnitude do evento, bem como da sazonalidade da concentração dos indicadores de poluentes observados. O coeficiente de correlação de Pearson foi calculado conforme a Equação 1, a partir da correlação de todos os parâmetros nas quatro estações do ano e nos dois pontos de coleta (FF e RR), de modo a obter, no total, 28 coeficientes.

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Em que:

$r$  = coeficiente de correlação de Pearson (adimensional);

$x_i$  = resultado de uma análise de um parâmetro em uma estação do ano;

$y_i$  = resultado de uma análise de outro parâmetro na mesma estação do ano que  $x_i$ ;

$\bar{x}$  = média aritmética dos resultados de todas as análises de um parâmetro em uma estação do ano;

$\bar{y}$  = média aritmética dos resultados de todas as análises de outro parâmetro na mesma estação do ano que  $x_i$ .

Utilizou-se o formato elipsoidal para representação gráfica, indicando que quanto menos espessa for a elipse, maior sua aproximação às extremidades da escala, ou seja, maior a correlação. Caso a inclinação seja de 45° e a coloração vermelha, está mais próximo ao coeficiente de correlação igual a 1, de modo a demonstrar que os parâmetros, nas referidas estações do ano, apresentaram comportamentos similares e, portanto, a correlação será positiva. E se a inclinação for de 135° e a coloração azul-escura, o coeficiente está próximo de -1, indicando que os resultados dos parâmetros em cada estação do ano apresentaram comportamentos opostos; logo, a correlação será negativa. Se a elipse estiver representada com pouca coloração, indica que o coeficiente está em torno de zero e não apresenta nenhuma correlação.

### Curvas M(V) e Concentração Média do Evento

Para o cálculo das vazões ou dos volumes efetivos precipitados, foram considerados apenas os dados de eventos pluviométricos que apresentaram volume precipitado maior que 1 mm. Volumes escoados superficialmente e após uma hora sem registros de precipitação foram desconsiderados, por se tratar de outro evento. Os dados pluviométricos foram obtidos da estação pluviométrica da Tijuca, do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2019), distante cerca de 1.500 m da área de estudo.

A distribuição sazonal dos eventos de precipitação obteve a classificação a partir das datas definidas pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (2019), com início do verão (VER) em 21 de dezembro, do outono (OUT) em 20 de março, do inverno (INV) em 21 de junho e da primavera (PRI) em 22 de setembro.

A partir da relação entre a vazão e a massa relativa acumulada de poluentes, obtiveram-se as curvas M(V) ao longo de uma série de eventos distribuídos por estação do ano. A vazão foi calculada pelo Método Racional (Equação 2).

$$Q = 0,278 \times c \times I \times A \quad (2)$$

Em que:

$Q$  = vazão referente a cada evento ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );

$c$  = coeficiente de escoamento superficial;

$I$  = intensidade pluviométrica ( $mm \cdot h^{-1}$ );

$A$  = área da superfície de captação ( $km^2$ ).

Após o cálculo da vazão e obtendo-se o resultado da análise dos parâmetros indicadores de poluentes para cada evento, calcularam-se a vazão e a massa relativa acumulada referente a todos os eventos estudados. Cada evento contribuiu com uma massa de poluentes, representada no eixo das ordenadas, e um volume de água, representado no eixo das abscissas.

Na análise de cada curva M(V), determina-se se houve ocorrência do fenômeno da PCL. Se a curva estiver acima do bissetor do gráfico, significa que ocorreu o fenômeno da PCL; caso esteja abaixo, não é evidenciada a lavagem da atmosfera. O afastamento da curva M(V) em relação ao bissetor indica a magnitude do fenômeno. A curva coincide com o bissetor, caso a concentração seja constante ao longo da soma dos eventos, ou seja, a massa de poluente total é proporcional ao volume escoado total. Estar acima do bissetor indica que uma maior parte da carga de poluentes é carregada por um menor volume de precipitação. Estar abaixo do bissetor indica que a maior carga poluidora é carregada por um maior volume de precipitação.

O impacto das cargas difusas no escoamento superficial é indicado pelo cálculo da CME, que corresponde à massa total de poluente transportada pelo volume total de escoamento, representada na Equação 3.

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^t C(t) \cdot Q(t) dt}{\int_0^t Q(t) dt} = \frac{\sum C(t) \cdot Q(t) \Delta t}{\sum Q(t) \Delta t} \quad (3)$$

Em que:

$C(t)$  = concentração do contaminante no tempo  $t$  ( $mg \cdot L^{-1}$ );

$Q(t)$  = vazão no tempo  $t$  ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );

$\Delta t$  = intervalo de tempo (s).

A CME representa, de maneira ponderada, a concentração de um determinado tipo de poluente para um evento completo de chuva. Os eventos de precipitação também podem ser sintetizados pelo cálculo da média aritmética, já que muitos são consistidos no monitoramento contínuo e de longo prazo, de modo a obter a melhor resposta do valor obtido no cálculo da CME (LIN, 2004; MITCHELL; MCDONALD, 2000). No estudo realizado, as amostras foram coletadas por monitoramento contínuo e separadas por eventos pluviométricos mensais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização dos padrões pluviométricos da região

Para análise dos períodos secos e chuvosos, foi calculada a precipitação média anual, a média mensal anual e o desvio padrão da precipitação média mensal

anual do histórico de dados pluviométricos da estação Tijuca no Sistema Alerta Rio, no período entre 1997 e 2019. Os meses em que as precipitações médias mensais apresentaram resultados acima da precipitação média mensal anual menos o desvio padrão foram considerados como parte do período chuvoso, e os meses que estiveram abaixo caracterizaram o período seco (Figura 3). Desse modo, considerou-se período seco os meses entre junho e agosto, e período

chuvoso os demais meses. As estações VER e PRI apresentaram os maiores valores de altura pluviométrica. O INV e o OUT obtiveram os menores resultados.

A Figura 4 representa os dias secos consecutivos anteriores aos eventos pluviométricos que caracterizaram as coletas das amostras. Cada barra indica um evento de estiagem, em dias secos antecedentes à coleta, totalizando 17 eventos analisados em cada estação do ano.

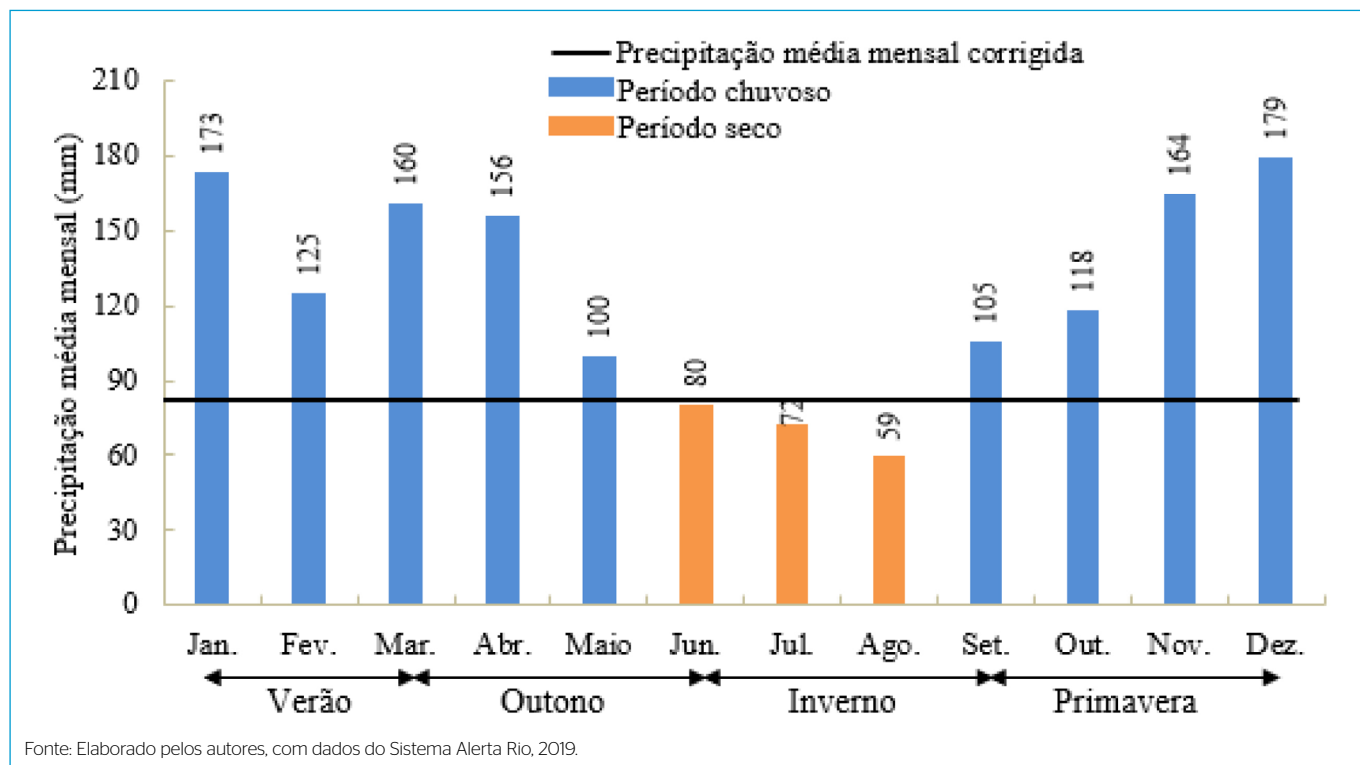


Figura 3 - Precipitação média mensal no período de 1997 a 2019.

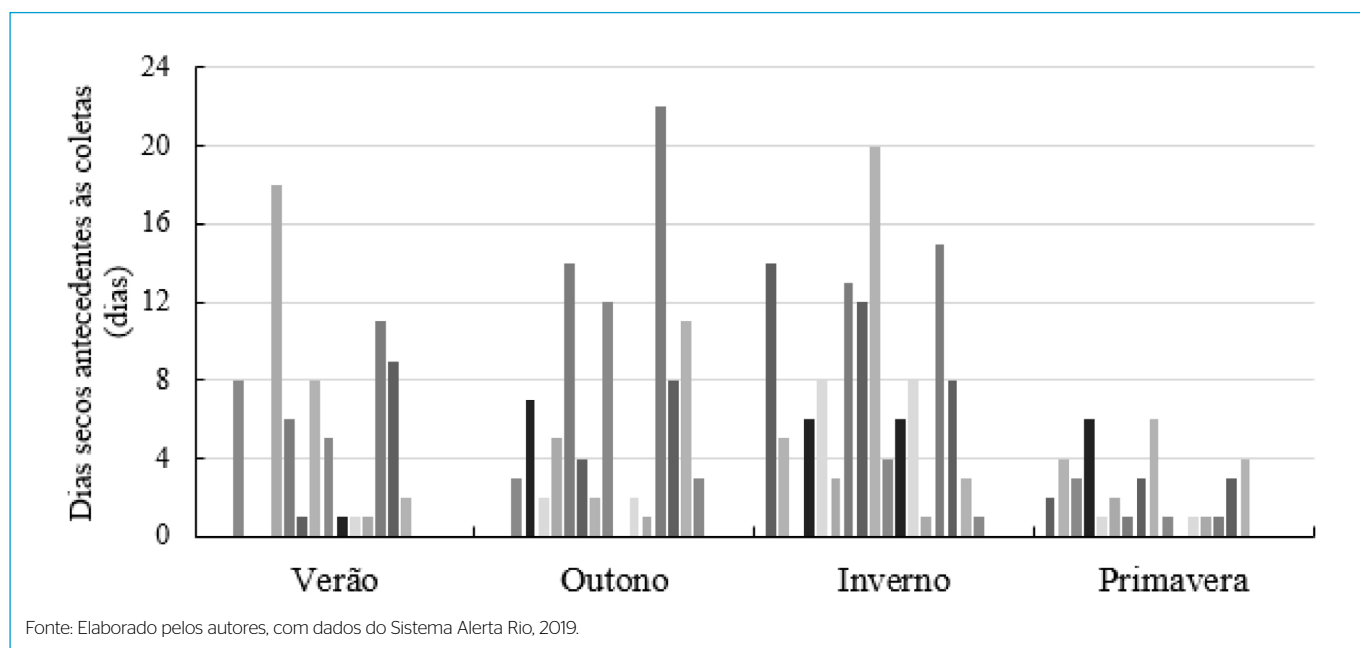


Figura 4 - Dias secos consecutivos antecedentes às coletas de amostras por estação do ano.

O INV caracteriza-se como a estação com mais dias secos antecedentes às coletas (127 dias), seguido do OUT (99 dias), do VER (71 dias) e da PRI (61 dias). A maior média obtida de dias secos que antecedem as coletas ocorreu no INV (7 dias), e a menor média, na PRI (3 dias) (Figura 4).

A Tabela 1 apresenta, de forma cronológica, a data da coleta da amostra e a respectiva intensidade pluviométrica (I), em  $\text{mm.h}^{-1}$ , de cada evento de chuva analisado, por estação do ano.

No geral, nos eventos ocorridos no VER, os valores de intensidade pluviométrica foram superiores às demais estações, portanto, com maior influência na ocorrência do fenômeno PCL. No entanto, de acordo com Mamoon *et al.* (2019), análises de variância identificaram que são poucas as relações entre a intensidade de chuva e as concentrações de poluentes e que, ao invés disso, essa relação é mais bem observada quando obtidos resultados de análises de outros poluentes, como sólidos suspensos totais, carbono orgânico total, metais e coliformes.

### Correlação dos parâmetros

A matriz de correlação de TU e STD no ponto FF não apresentou elevado coeficiente entre as estações do ano, tendo valores próximos de zero. Os dados de maior correlação encontrados foram em TU e STD no VER, STD no INV e TU na PRI (Figura 5). Um comportamento similar foi observado para os mesmos parâmetros no ponto RR, porém, neste ponto, três coeficientes encontram-se maiores que 0,5, como: TU no OUT e no VER, TU e STD no OUT, e STD no INV e na PRI. Não houve coeficiente próximo de -1, a maioria dos coeficientes esteve acima de zero, apresentando coloração azulada (Figura 6). A ocorrência dessa pequena similaridade entre esses parâmetros possivelmente está

relacionada aos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nas amostras, de modo acentuado nas estações em que estes apresentaram maior correlação.

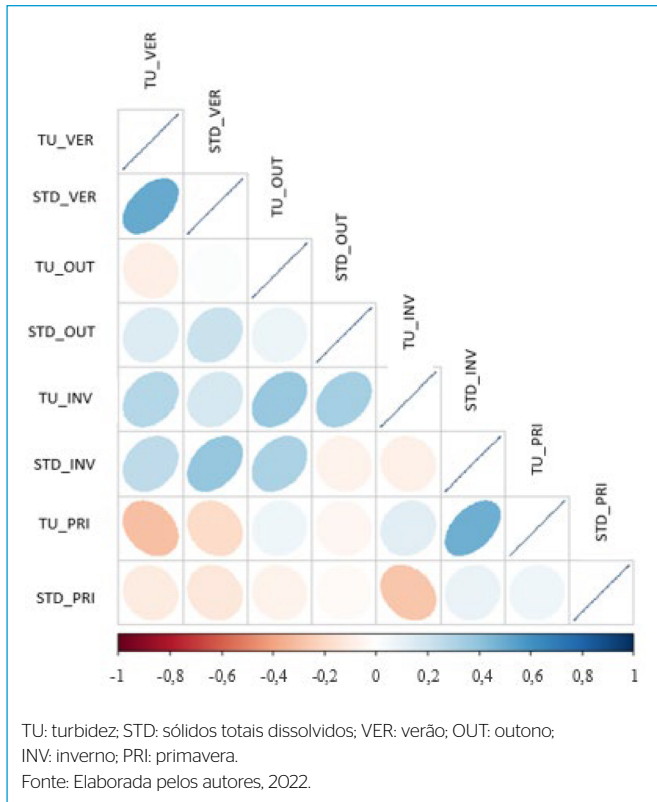
Os coeficientes de CLO e ALC demonstraram estar mais próximos às extremidades da escala, sendo possível perceber pela coloração mais intensa e pela menor espessura das elipses (Figuras 7 e 8). Portanto, esses parâmetros apresentaram uma correlação mais expressiva em comparação à TU e aos STD. Nakada e Moruzzi (2014) também encontraram baixa correlação entre STD e TU na qualidade das águas pluviais de telhados, com valor de 0,092. No ponto FF, oito coeficientes ultrapassaram o valor 0,5 e três estiveram abaixo de -0,5. Além disso, os dados correlacionados aos parâmetros no VER apresentaram correlações negativas, com exceção de um coeficiente; por esse motivo, as duas primeiras colunas apresentaram coloração vermelha. De acordo com Bhurtun *et al.* (2019), períodos de intensidades pluviométricas elevadas no VER caracterizam variações acentuadas de TU, seguidos de quedas constantes em poucas horas, de modo a revelar variabilidade na sua distribuição. Valores elevados de TU foram obtidos por Nakada e Moruzzi (2014), sobretudo nos períodos de estiagens no INV. Os dados de maior correlação foram CLO e ALC na PRI, ultrapassando o resultado de 0,9 (Figura 7), em razão, provavelmente, do início da estabilização do CLO e do equilíbrio da ALC, conforme a diluição de poluentes pela chuva e menos dias secos consecutivos. A qualidade da água de escoamento superficial tende a se deteriorar no VER e na PRI, sobretudo em função das elevadas intensidades pluviométricas observadas nesses períodos, de modo que evidenciam a correlação de determinados parâmetros (BHURTUN *et al.*, 2019). O ponto de maior correlação de ALC ocorreu durante o INV e o VER, considerados, respectivamente, estação seca e estação úmida e com

**Tabela 1 - Intensidade pluviométrica dos eventos de precipitação por estação do ano.**

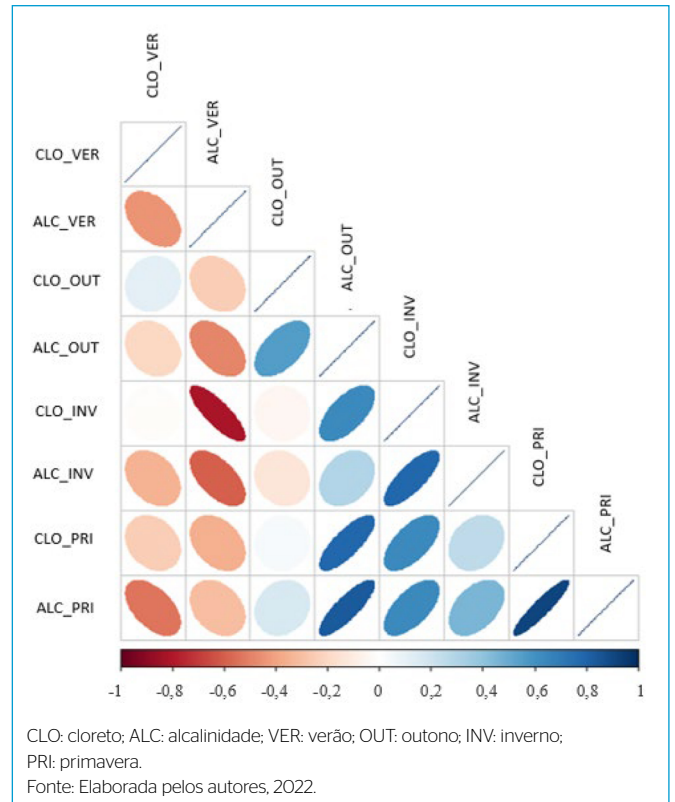
VER		OUT		INV		PRI	
Data da coleta	I ( $\text{mm.h}^{-1}$ )	Data da coleta	I ( $\text{mm.h}^{-1}$ )	Data da coleta	I ( $\text{mm.h}^{-1}$ )	Data da coleta	I ( $\text{mm.h}^{-1}$ )
18/03/2013	0,67	03/06/2013	1,54	03/07/2013	2,82	18/10/2013	3,64
26/03/2013	1,87	17/06/2013	4,56	24/07/2013	3,60	19/11/2013	8,00
06/02/2015	1,55	11/06/2014	3,77	28/08/2013	1,49	12/12/2013	1,94
16/03/2015	9,20	17/07/2014	2,88	02/10/2013	2,93	30/05/2014	3,20
19/03/2015	5,24	24/03/2015	0,56	06/08/2014	0,62	09/10/2014	1,60
08/03/2017	4,40	08/04/2015	2,43	15/08/2014	3,40	12/12/2014	4,80
27/03/2017	3,70	30/04/2015	1,77	25/09/2014	1,33	14/01/2015	1,90
18/01/2018	5,87	08/05/2015	2,90	30/07/2015	0,57	23/10/2015	5,20
31/01/2018	14,80	03/06/2015	2,13	28/08/2015	5,87	03/11/2015	1,77
20/02/2018	0,91	09/07/2015	1,14	16/09/2015	2,62	10/12/2015	3,09
02/03/2018	20,10	15/06/2016	7,80	30/08/2016	2,00	09/11/2016	0,76
09/03/2018	23,73	26/04/2017	3,60	03/08/2017	3,20	27/01/2017	2,07
24/04/2018	0,95	22/05/2017	0,88	29/09/2017	1,38	05/10/2017	0,83
16/01/2019	16,80	23/06/2017	1,51	23/07/2018	0,58	29/11/2017	2,13
14/02/2019	7,35	23/05/2018	4,80	23/08/2018	0,56	22/12/2017	6,89
15/03/2019	0,64	19/06/2018	1,07	17/09/2018	1,28	27/11/2018	2,88
11/04/2019	1,07	21/05/2019	0,78	19/10/2018	10,93	13/12/2018	0,69
<b>Média</b>	6,99	---	2,60	---	2,66	---	3,02
<b>Desvio padrão</b>	7,42	---	1,88	---	2,56	---	2,11

I: intensidade pluviométrica; VER: verão; OUT: outono; INV: inverno; PRI: primavera.

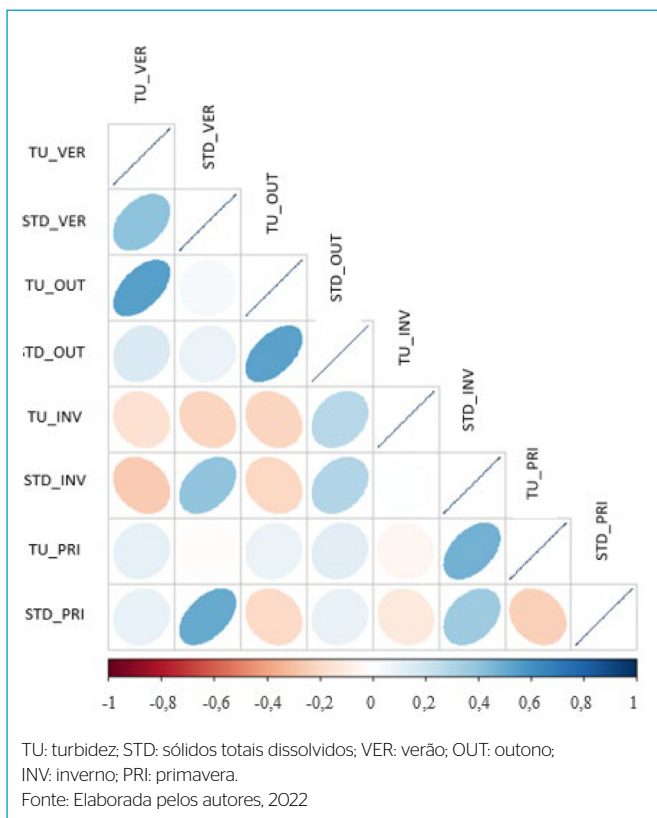
Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.



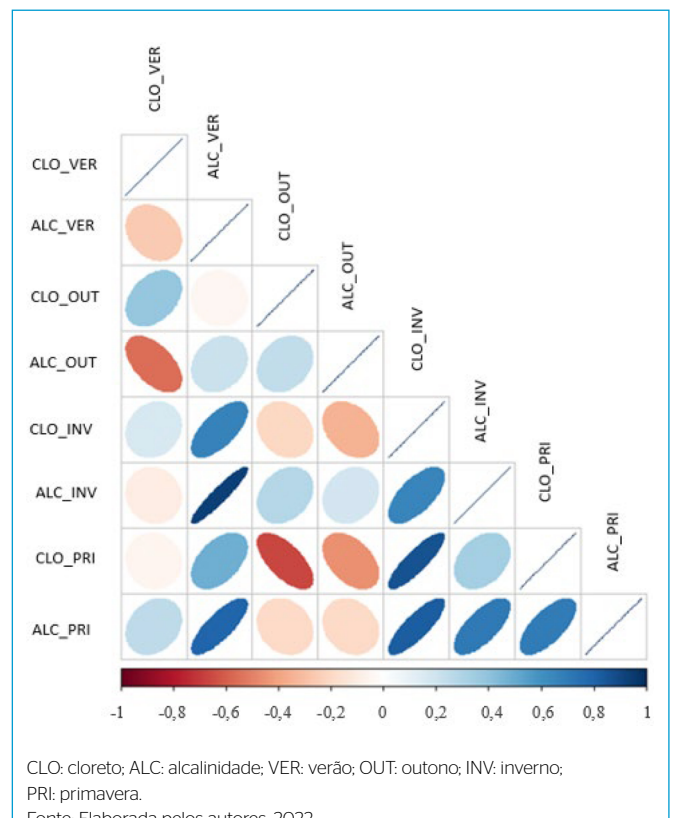
**Figura 5** - Matriz de correlação do ponto *first flush* para turbidez e sólidos totais dissolvidos.



**Figura 7** - Matriz de correlação do ponto *first flush* para cloreto e alcalinidade.



**Figura 6** - Matriz de correlação do ponto reservatório para turbidez e sólidos totais dissolvidos.



**Figura 8** - Matriz de correlação do ponto reservatório para cloreto e alcalinidade.

extremos de temperatura. O ponto de menor correlação ocorreu com o CLO no OUT e na PRI, possivelmente por se situarem como estações de transição, que sucedem/antecedem o INV e o VER (Figura 8).

### Curvas M(V) e Concentração Média do Evento

A partir dos dados coletados no período entre 2013 e 2019, foi possível observar os processos de escoamento da poluição associados a diversos eventos pluviométricos, representados pelas curvas M(V) e pela CME. As curvas M(V), indicadas nas Figuras 9, 10, 11 e 12, referem-se às estações anuais VER, OUT, INV e PRI, respectivamente, para os parâmetros TU e STD.

Nas curvas M(V) do VER (Figura 9) ocorreu o fenômeno PCL quase que em toda a totalidade dos eventos, com exceção de STD no ponto RR. Sistemas de desvio ou de separação de parte do volume precipitado interceptam sólidos e partículas antes da entrada no RR (CAMPISANO *et al.*, 2017; ABASSI; ABASSI, 2011). Desse modo, pode-se destacar que a contribuição do FF foi evidenciada na medida em que houve a separação da massa de poluentes antes da entrada no RR. Os primeiros 20% de volume acumulado destacam-se pela maior magnitude do fenômeno, principalmente no parâmetro TU, justificada pela maior carga na concentração de poluentes em relação ao volume escoado, em razão da contribuição da deposição seca.

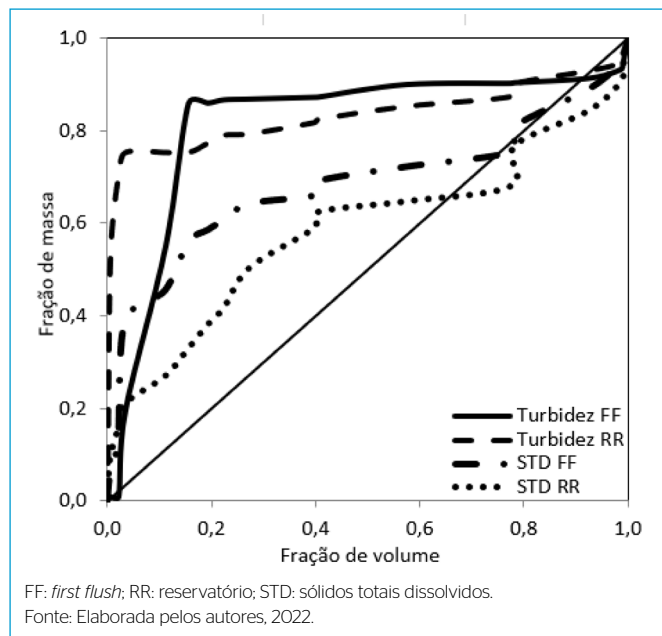


Figura 9 - Curvas M(V) do verão para turbidez e sólidos totais dissolvidos.

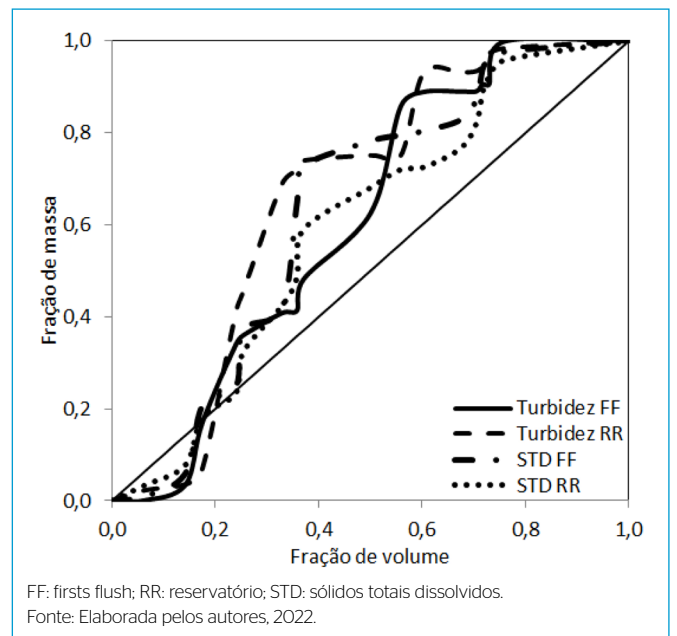


Figura 11 - Curvas M(V) do inverno para turbidez e sólidos totais dissolvidos.

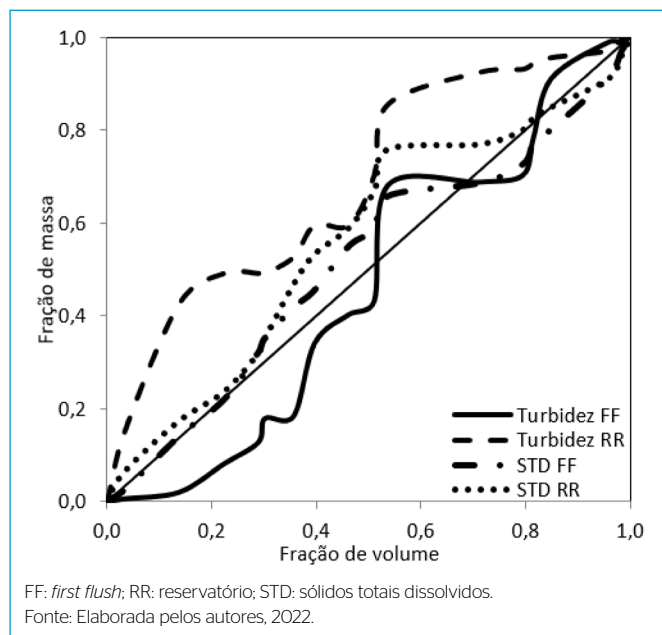


Figura 10 - Curvas M(V) do outono para turbidez e sólidos totais dissolvidos.

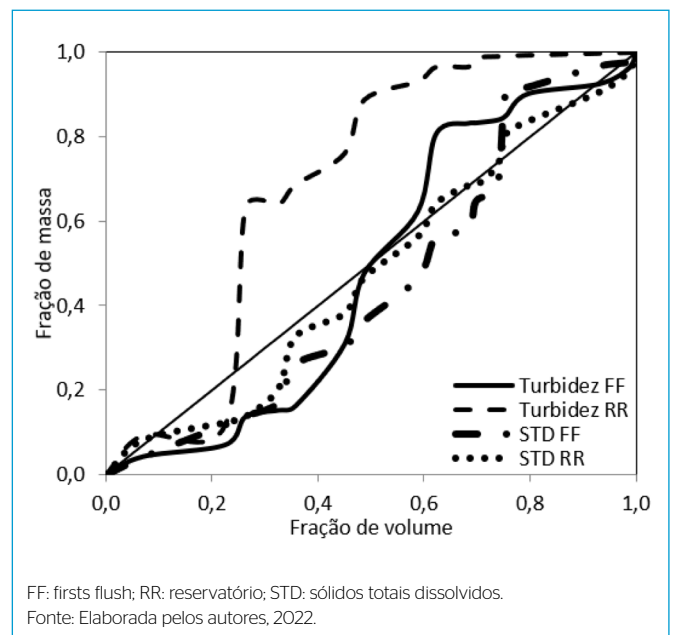


Figura 12 - Curvas M(V) da primavera para turbidez e sólidos totais dissolvidos.



Nesse caso, pode ser evidenciada a lavagem da atmosfera e de poluentes na superfície, em razão dos dias secos antecedentes, que exercem papel fundamental na deposição acumulada e, portanto, na concentração de poluentes no escoamento (CAMPISANO *et al.*, 2017).

No OUT (Figura 10), as curvas ficaram em torno do bissetor, demonstrando proporção aproximada entre o volume escoado e a massa de poluentes acumulados, principalmente, no STD no ponto FF, indicando menor magnitude. A curva referente ao parâmetro TU e o ponto FF indica a PCL em parcela pequena. A curva da TU no RR teve o maior afastamento do bissetor em comparação às demais curvas M(V).

A maioria dos eventos ocorridos no INV (Figura 11) apontou a ocorrência do fenômeno PCL, já que as curvas se encontraram acima do bissetor. Nos primeiros eventos, em até cerca de 20% da fração acumulada, houve ausência da PCL, pois o volume acumulado de precipitação superou a concentração de poluentes. A partir de, aproximadamente, 40% da fração de volume escoado, a magnitude do fenômeno aumentou, indicando que, na acumulação dos eventos, observou-se maior diluição dos poluentes. A separação de 40% do volume escoado superficialmente é fundamental na remoção de poluentes, de acordo com estudos observados na Austrália (ALIAS, 2013), de características climáticas similares a este trabalho, de modo a garantir um tratamento eficaz das águas pluviais. A parte inicial do escoamento, entre 20 e 40% do volume, geralmente tem maior taxa de emissão de massa de poluente do que a parte posterior do escoamento (DI MODUGNO *et al.*, 2015).

Diferentemente das demais estações, em que as curvas dos parâmetros tiveram um comportamento similar, na PRI (Figura 12) houve maior diferença entre TU no FF e TU no RR. Esse comportamento é justificado pela demonstração da evidência da PCL de forma mais acentuada no RR do que no FF, possivelmente em razão de interferências de sólidos suspensos depositados no sistema de reservação. O oposto ocorre com as curvas M(V) do parâmetro STD, pois as frações de volume acumulado e de massa de poluentes obtiveram proporções próximas, com as curvas em torno do bissetor.

As curvas M(V) dos parâmetros ALC e CLO dos pontos FF e RR encontram-se representadas nas Figuras 13, 14, 15 e 16 para as estações VER, OUT, INV e PRI, respectivamente.

No VER, as curvas M(V) demonstraram o efeito da PCL com maior evidência na remoção de CLO no FF. Em relação à ALC, próximo dos 50% do volume escoado, as curvas se aproximaram mais do bissetor, e após essa porcentagem encontraram-se abaixo, indicando a não ocorrência da PCL de, aproximadamente, metade dos eventos até o final (Figura 13). Durante o OUT (Figura 14) ocorreu alta de eventos que não evidenciaram o fenômeno PCL, tendo uma pequena parcela pouco acima do bissetor em alguns eventos para ALC no FF, em torno da metade da série histórica, e, ao final dessa série, para o parâmetro CLO. Nenhum evento referente à ALC no ponto RR ultrapassou o bissetor; logo, não houve a lavagem da atmosfera desse poluente.

As curvas M(V) de CLO e ALC no INV (Figura 15) apresentaram certa inconsistência em razão de o último evento ter apresentado grande intensidade pluviométrica (10,93 mm/h), diferentemente dos demais. Por esse motivo, a curva demonstra um comportamento incomum, com um pico próximo à fração de 30% do volume escoado, evidenciando, de maneira expressiva, a PCL. A inconsistência observada dos parâmetros CLO e ALC no INV reflete a necessidade de amostras a serem analisadas a partir de uma maior série histórica.

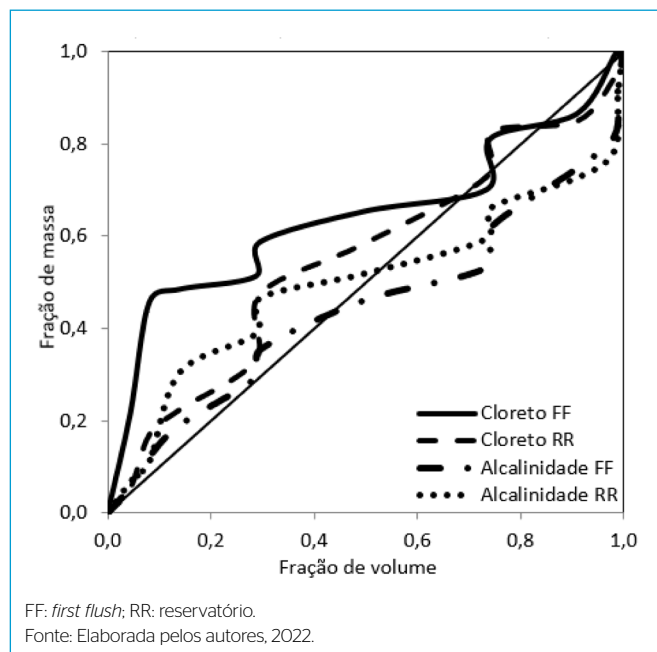


Figura 13 - Curvas M(V) do verão para cloreto e alcalinidade.

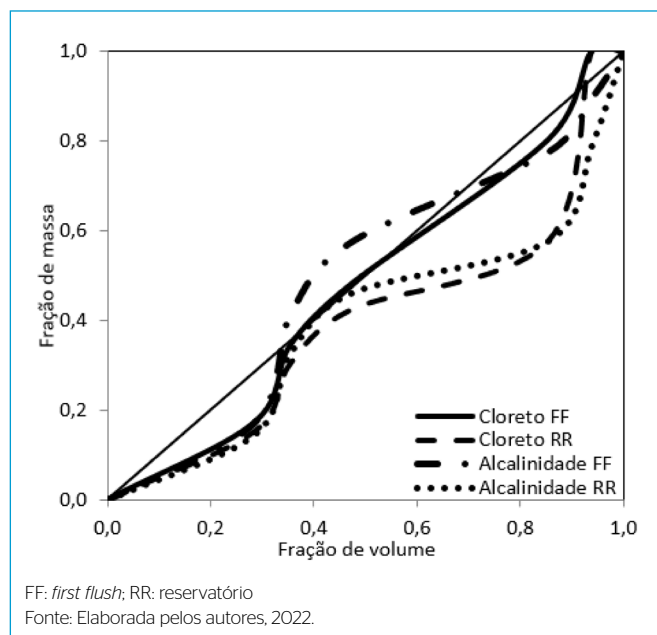


Figura 14 - Curvas M(V) do outono para cloreto e alcalinidade.

As curvas M(V) da PRI (Figura 16) demonstraram ocorrência do fenômeno PCL na maioria dos eventos, por se tratar de uma estação em um período de transição entre uma estação seca e uma estação úmida, representada por um maior volume de chuva, de cerca de 15%, em comparação ao INV.

De modo geral, com exceção do OUT, a falta de similaridade das curvas M(V) de CLO e ALC, em comparação à TU e aos STD, deve-se, provavelmente, à capacidade de remoção desses poluentes, em função da intensidade pluviométrica. Além disso, nota-se uma influência dos elementos

climatológicos de cada estação do ano, como vento e umidade, que podem favorecer o aumento ou a diminuição da deposição dos poluentes. Sabe-se também que o comportamento da qualidade da água do FF depende do local e é afetado, sobretudo, pelas condições da superfície de captação (CHARTERS et al., 2016; AL ALI et al., 2017; MAMOON et al., 2019). A Tabela 2 apresenta os valores da CME analisados de modo sazonal, por parâmetro e pontos de coleta.

No geral, a concentração dos poluentes permanece maior no ponto FF, de modo a revelar a importância da instalação de sistemas de descarte da precipitação efetiva inicial, como medida de tratamento da água da chuva, anterior ao sistema de armazenamento.

Pela análise da média da CME no ponto FF, no VER e no OUT houve maior diluição dos poluentes; portanto, as concentrações da maioria dos parâmetros

foram menores nessas estações, apresentando as menores médias de CME (29,68 e 29,48, respectivamente). Em comparação, a PRI apresentou a maioria dos valores mais altos da CME, obtendo média de 59,37, próxima do resultado encontrado no INV, de 64,25.

As médias dos valores da CME no ponto RR variaram, conforme as estações do ano, de forma similar às do ponto FF. O VER e o OUT apresentaram as menores médias, com resultados próximos, e o INV e a PRI demonstraram aumento da CME. Porém, no ponto FF, a diferença entre a média da CME nas estações foi maior.

Os resultados obtidos da CME podem estar relacionados aos dias secos consecutivos antecedentes ao evento. O VER apresentou um valor baixo da CME e menos dias secos consecutivos, por se tratar de período chuvoso na região, de modo a favorecer as possibilidades de lavagem da atmosfera e da superfície

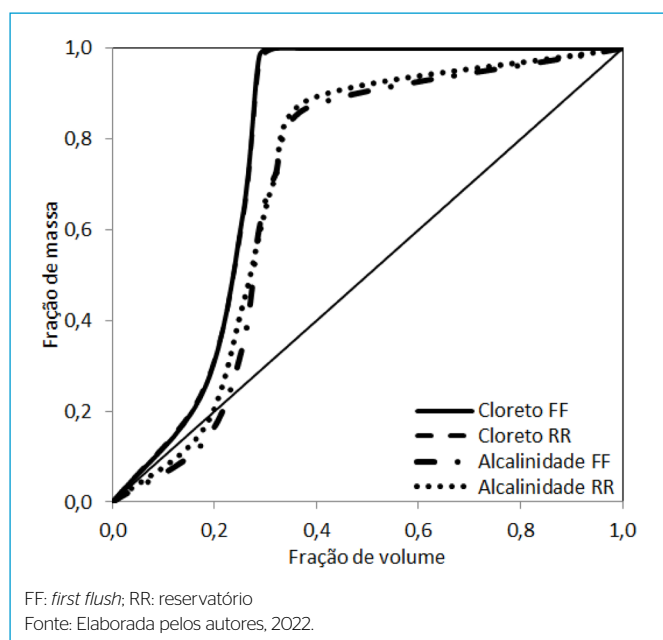


Figura 15 - Curvas M(V) do inverno para cloreto e alcalinidade.

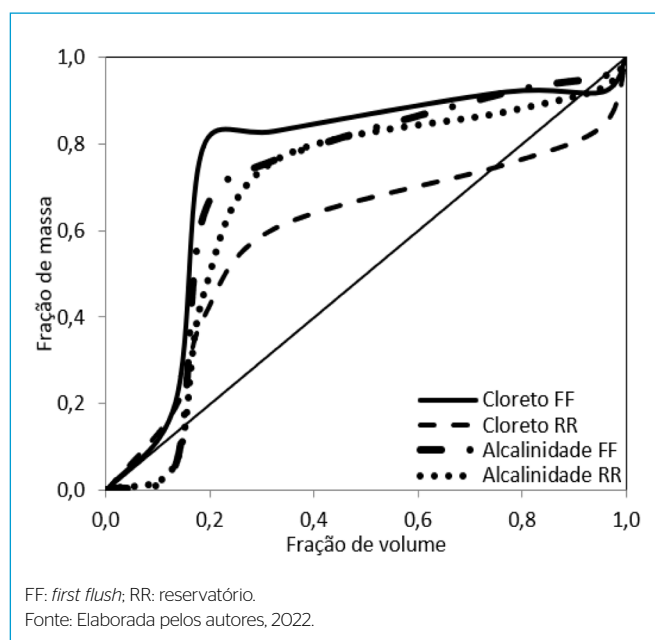


Figura 16 - Curvas M(V) da primavera para cloreto e alcalinidade

Tabela 2 - Concentração média do evento dos pontos first flush e reservatório, e estações do ano dos parâmetros turbidez, sólidos totais dissolvidos, cloreto e alcalinidade.

Parâmetro	Unidade	Ponto	CME VER	CME OUT	CME INV	CME PRI	Média por ponto	Média por parâmetro
TU	UNT	FF	56,49	36,80	83,84	115,15	73,07	38,69
		RR	0,36	2,90	5,81	8,15	4,31	
STD	mg.L <sup>-1</sup>	FF	39,70	52,61	143,92	77,43	78,42	55,74
		RR	26,33	29,47	45,46	30,96	33,06	
CLO	mg.L <sup>-1</sup> de NaCl	FF	713	8,54	8,37	11,58	8,91	6,44
		RR	516	2,08	3,55	5,09	3,97	
ALC	mg.L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub>	FF	15,39	19,98	20,87	33,31	22,39	15,81
		RR	7,77	6,44	7,46	15,26	9,23	
		Média FF	29,68	29,48	64,25	59,37		
		Média RR	9,91	10,22	15,57	14,87		

CME: concentração média do evento; VER: verão; OUT: outono; INV: inverno; PRI: primavera; TU: turbidez; STD: sólidos totais dissolvidos; CLO: cloreto; ALC: alcalinidade; FF: first flush; RR: reservatório.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

de captação, em função do volume de escoamento superficial sobre o telhado (CAMPISSANO *et al.*, 2017; ABASSI; ABASSI, 2011). O inverso foi observado no INV, com maior valor da CME e maior número de dias secos antecedentes aos eventos, em razão da tendência de maior deposição seca de poluentes na superfície do telhado. O maior valor obtido da CME na PRI pode ser justificado por se tratar de estação do ano posterior ao INV, com certa condição de disponibilidade remanescente de poluentes atmosféricos adjacentes à estação seca do INV. O oposto ocorreu no OUT, com menor valor obtido da CME por considerar período posterior à estação chuvosa do VER, e, portanto, com maior possibilidade de diluição de poluentes e, conseqüentemente, menor concentração na carga média do evento.

As diferenças observadas nos resultados médios obtidos do cálculo da CME e nos resultados apresentados nas curvas  $M(V)$  podem ser justificadas por diversos fatores, entre eles: radiação solar, qualidade do material e temperatura da superfície de captação, umidade e parâmetros de qualidade do ar. No entanto, são evidentes os efeitos das amostras do FF na relação com a CME (MAMOON *et al.*, 2019).

## CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a qualidade de eventos de precipitação efetiva ou de volumes escoados superficialmente obtidos de um SAP, no geral, apresentou variações sazonais e intermitentes, com razoável correlação de parâmetros,

como ALC e CLO. A instalação do dispositivo de descarte inicial da precipitação, denominado FF, é fundamental em sistemas de águas pluviais, sobretudo pelos valores da CME indicarem redução significativa do ponto FF ao RR, como medida de retenção e eliminação de parte dos poluentes de eventos pluviométricos.

O volume da precipitação efetiva é fator determinante na diluição da carga poluidora, sobretudo no VER, com elevada remoção de poluentes, evidenciado pelo fenômeno PCL. Recomenda-se avaliação da qualidade da água em dispositivos FF com capacidades de armazenamento de forma desagregada da precipitação efetiva, de modo a comprovar a eficácia de sistemas de águas pluviais, quanto à remoção dos poluentes, em função da carga de lavagem da atmosfera e da superfície de captação do sistema.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Souza, C.M.S.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Validação, Visualização, Escrita – Primeira Redação. Almeida, J.C.A.de.: Análise Formal, Validação, Visualização, Escrita – Revisão e Edição. Alves, L.D.: Análise Formal, Validação, Visualização, Escrita – Revisão e Edição. Domingos, R.R.: Curadoria de Dados, Análise Formal, Software, Visualização. Bila, D.M.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Recursos, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita – Revisão e Edição. Ohnuma Júnior, A.A.: Conceituação.

## REFERÊNCIAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S.A. Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, v. 41, p. 2097-2167, 2011. <https://doi.org/10.1080/10643389.2010.497438>
- AL ALI, S.; BONHOMME, C.; DUBOIS, P.; CHEBBO, G. Investigation of the wash-off process using an innovative portable rainfall simulator allowing continuous monitoring of flow and turbidity at the urban surface outlet. *Sci. Total Environ.*, v. 609, p. 17-26, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.106>.
- ALAMDARI, N.; SAMPLE, D.J.; LIU, J.; ROSS, A. Assessing climate change impacts on the reliability of rainwater harvesting systems. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 132, p. 178-189, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.013>
- ALERTA RIO. Sistema de alerta da prefeitura do Rio de Janeiro. *Sistema de alerta de chuvas intensas e de deslizamentos em encostas da cidade do Rio de Janeiro*. 2019. Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em: 29 jan. 2021.
- ALIAS, N.B. *First Flush Behaviour in Urban Residential Catchments*. 2013. PhD Thesis-Queensland University of Technology. Disponível em: <[https://eprints.qut.edu.au/63811/1/Noraliani\\_Alias\\_Thesis.pdf](https://eprints.qut.edu.au/63811/1/Noraliani_Alias_Thesis.pdf)>. Acesso em: 29 jan. 2021.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. American Water Works. Water Environment Federation. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2017.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; CHEBBO, G.; SAGET, A. Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and first flush phenomenon. *Water Resource*, v. 32, n. 8, p. 2341-2356, 1998.
- BHURTUN, P.; LESVEN, L.; RUCKEBUSCH, C.; HALKETT, C.; CORNARD, J.P.; BILLON, G. Understanding the impact of the changes in weather conditions on surface water quality. *Science of The Total Environment*, v. 652, p. 289-299, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.246>.
- CAMPISANO, A.; BUTLER, D.; WARD, S.; BURNS, M.J.; FRIEDLER, E.; DEBUSK, K.; FISHER-JEFFES, G.H.I.; RAHMAN, A.; FURUMAI, H.; HAN, M. Urban rainwater harvesting systems: research, implementation and future perspectives. *Water Res.*, v. 115, p. 195-209, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>.
- CHARTERS, F.J.; COCHRANE, T.A.; O'SULLIVAN, A.D. Untreated runoff quality from roof and road surfaces in a low intensity rainfall climate. *Sci. Total Environ.*, v. 550, p. 265-272, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.093>.
- DI MODUGNO, M.; GIOIA, A.; GORGOGNONE, A.; IACOBELLIS, V.; LA FORGIA, G.; PICCINNI, A.F.; RANIERI, E. Build-up/wash-off monitoring and assessment for sustainable management of first flush in an urban area. *Sustainability*, v. 7, p. 5050-5070, 2015. <https://doi.org/10.3390/su7055050>.
- FLINT, K.R.; DAVIS, A.P. Pollutant mass flushing characterization of highway stormwater runoff from an ultra urban area. *Journal of Environmental Engineering*, v. 133, n. 6, p. 616-626, 2007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2007\)133:6\(616\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2007)133:6(616))

- FLUES, M.; HAMA, P.; FORNARO, A. Avaliação do nível da vulnerabilidade do solo devido à presença de termelétrica a carvão (Figueira, PR- Brasil). *Química Nova*, v. 26, n. 4, p. 479-483, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000400006>
- GEIGER, W.F. Flushing effects in combined sewer systems. In: *International Conference on Urban Storm Drainage 4*, Lausanne, Switzerland, p. 40-46, 1987.
- GIKAS, G.D.; TSIHRINTZIS, V.A. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *Journal of Hydrology*, v. 466-467, p. 115-26, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.08.020>
- GUNAWARDANA, C.; Goonetilleke, A.; Egodawatta, P.; DAWES, L. Role of solids in heavy metals buildup on urban road surfaces. *Journal of Environmental Engineering*, v. 138, n. 4, p. 490-498, 2012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000487](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000487)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Panorama*. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. *Relatório da qualidade do ar do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: INEA, 2015. Disponível em: <[http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/RQAr\\_2015.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/RQAr_2015.pdf)>. Acesso em: 29 jan. 2021.
- KIM, L.H. Determination of event mean concentrations and first flush criteria in urban runoff. *Korean Environmental Engineering Research*, v. 8, n. 4, p. 163-176, 2003. <https://doi.org/10.4491/keer.2003.8.4.163>
- KIM, L.H.; KO, S.O.; JEONG, S.; YOON, J. Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm. *Science of the Total Environment*, v. 376, p. 178-184, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.12.053>
- KUS, B.G.; Kandasamy, J.K.; Vigneswaran, S.; SHON, H. Water quality in rainwater tanks in rural and metropolitan areas of New South Wales, Australia. *Journal of Water Sustainability*, v. 1, p. 33-43, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10453/18312>>. Acesso em: 02 jun. 2022.
- LEE, H.; LAU, S.L.; Kayhanian, M.; Stenstrom, M.K. Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges. *Water Research*, v. 38, n. 19, p. 4153-4163, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.07.012>
- LEE, J.Y.; BAK, G.; HAN, M. Quality of roof-harvested rainwater: comparison of different roofing materials. *Environmental Pollution*, v. 162, p. 422-429, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.005>
- LI, S.; WANG, X.; QIAO, B.; LI, J.; TU, J. First flush characteristics of rainfall runoff from a paddy field in the Taihu Lake watershed, China. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, n. 9, p. 8336-8351, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8470-2>
- LIN, J.P. Review of published expot coefficient and event mean concentration (EMC) data. *Wetlands Regulatory Assistance Program*, n. 4, v. 3, p. 15, 2004. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/228863128\\_Review\\_of\\_Published\\_Export\\_Coefficient\\_and\\_Event\\_Mean\\_Concentration\\_EMC\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/228863128_Review_of_Published_Export_Coefficient_and_Event_Mean_Concentration_EMC_Data)>. Acesso em: 02 jun. 2022.
- MAMOON, A.A.; JAHAN, S.; HE, X.; JOERGENSEN, N.E.; RAHMAN, A. First flush analysis using a rainfall simulator on a micro catchment in an arid climate. *Sci of the Total Environ*. v. 693, p. 133552, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.358>
- MAZZA, R. *Caracterização físico-química e biológica da chuva armazenada no sistema do Instituto Fernando Rodrigues da Silveira*. 2016. 97 f. Mestrado (Engenharia Ambiental e Sanitária) –Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: CAP-UERJ, 2016.
- MENDEZ, C.B.; Klenzendorf, J.B.; AFSHAR, B.R.; SIMMONS, M.T.; BARRET, M.E.; KINNEY, K.A.; KIRISITS, M.J. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research*, v. 5, n. 5, p. 2049-2059, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.015>
- MIMURA, A.M.S.; ALMEIDA, J.M.; VAZ, F.A.S.; OLIVEIRA, M.A.L.de.; FERREIRA, C.C.M.; SILVA, J.C.J. Chemical composition monitoring of tropical rainwater during an atypical dry year. *Atmospheric Research*, v. 169, p. 391-399, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.11.001>
- MITCHELL, G.; MCDONALD, A., *Urban development and nonpoint source water pollution: a generic assessment tool*. Report, 2000.
- NAKADA, L.Y.K.; MORUZZI, R.B. Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 1-9, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000100001>
- NOVAK, A.C.; GIESEN, V.E.G.; DEBUSK, M.K. *Designing rainwater harvesting systems*. Wiley: New Jersey, p. 151-174, 2014.
- PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. *Fluxo veicular médio em dias úteis*. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://prefeitura.rio/>>. Acesso em: 29 jan. 2021.
- R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, 2018. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/view/6853895/r-a-language-and-environment-for-statistical-computing>. Acesso em: 02 jun. 2022.
- RIGHETTO, A.M.; GOMES, K.M.L.; FREITAS, F.R.S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 6, p. 1109-1120, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017162357>
- ROCHA, B.C.C.M.; ARAÚJO, J.V.G.; REIS, R.P.A. Caracterização de águas de chuva coletadas em coberturas de diferentes materiais visando a concepção de sistemas prediais de aproveitamento de água. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 25*, Recife, 2009.
- SANJEEVA, A.; PUTTASWAMIAH, S.G. Influence of Atmospheric Deposition and Roof Materials on Harvested Rainwater Quality. *Journal of Environmental Engineering*, v. 144, n. 12, p. 04018121, 2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001460](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001460)
- SCHETS, F.M.; Italiaander, R.; van den Berg, H.H.J.L.; Husman, A.M.R. Rainwater harvesting: quality assessment and utilization in The Netherlands. *Journal of Water and Health*, v. 8, n. 2, p. 224-235, 2010. <https://doi.org/10.2166/wh.2009.037>
- TORRES, A.; MENDEZ-FAJARDO, S.; TORRES, A.P.G.; SANDOVAL, S. Quality of rainwater runoff on roofs and its relation to uses and rain characteristics in the Villa Alexandra and acacias neighborhoods of Kennedy, Bogota, Colombia. *Journal of Environmental Engineering*, v. 139, n. 10, p. 1273-1278, 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000746](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000746)
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. *Início das estações do ano (2005-2020)*. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo: IAG, 2019.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Technical support document for water quality-based toxics control. *In*: USEPA. *Office of water*. Washington, DC, 1990.

VIEIRA FILHO, M. *Evaluation of local sources on precipitation chemistry in the cities of São Paulo and Cubatão*. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

VON SPERLING, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*, 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 472 p.

YOON, S.W.; CHUNG, S.W.; OH, D.G.; LEE, J.W. Monitoring of non-point source pollutants load from a mixed forest land use. *Journal of Environmental Sciences*, v. 22, n. 6, p. 801-805, 2010. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60180-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60180-7)

ZHANG, Q.; WANG, X.; HOU, P.; WAN, W.; LI, R.; REN, Y.; OUYANG, Z. Quality and seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic tile and green roofs in Chongqing, China. *Journal of Environmental Management*, v. 132, p. 178-187, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.009>