

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE NA CONCENTRAÇÃO DE POLUENTES EM UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

*Caroline Moreira de Souza*¹; *Leticia Delduque Alves*²; *Alfredo Akira Ohnuma Júnior*³; *Jaqueline Costa Areas de Almeida*⁴; *Gabrielle Nunes da Silva*⁵; *Diogo Fernandes Rosas*⁶; *Daniele Maia Bila*⁷ & *Giovana Proença Bastos*⁸

RESUMO – A variação da qualidade da água em um sistema de aproveitamento de água de chuva depende da concentração de poluentes na superfície de captação e diversos outros fatores. Essa concentração é alterada conforme o volume da precipitação efetiva durante um evento pluviométrico e a relação entre a concentração de poluentes e este volume é representada pelas curvas M(V). A diluição dos poluentes atmosféricos apresenta dispersão temporal, de modo que influenciam na ocorrência do fenômeno *first-flush*. Este trabalho tem como objetivo analisar a influência da sazonalidade na remoção de poluentes em 67 eventos pluviométricos entre 2013 e 2018 em amostras de um sistema de águas pluviais instalado na cidade do Rio de Janeiro - RJ. A metodologia consiste na análise dos parâmetros turbidez e sólidos totais dissolvidos em dois pontos: *first-flush* (FF) e reservatório (RR). Os resultados obtidos das curvas M(V) indicaram a ocorrência da primeira carga de lavagem ou *first-flush* nas diferentes estações do ano, evidenciando o verão com o período de maior intensidade na remoção da concentração de cargas poluidoras.

ABSTRACT– Variations in the quality of water in a rainwater harvesting system depend on the concentration of pollutants in the surface catchment area, as well as other factors. The extent of this concentration is determined by the volume of effective precipitation during a rainfall event and the relation between the concentration of pollutants and the rainfall volume is represented by the M(V) curves. Moreover, the dilution of atmospheric air pollutants shows a temporal dispersion which allows them to exert an influence on the “first flush” wash load. The aim of this study is to analyze the influence of seasonal factors on the removal of pollutants in 67 rainfall events between 2013 and 2018 by examining samples taken from a rainfall system installed in Rio de Janeiro. The results obtained from the M(V) curves show the “first flush” load phenomenon in different seasons of the year, while providing evidence that Summer was the season when there was the greatest removal of the concentrations of pollutant loads.

Palavras-Chave – Curvas M(V); Qualidade de águas pluviais; Sazonalidade

¹ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária da UERJ - moreiracaroline98@gmail.com

² Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária da UERJ - leticiadelduque@gmail.com

³ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da UERJ – (21)99591-7373 – akira@uerj.br

⁴ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária da UERJ - jaqueline.areas@gmail.com

⁵ Doutoranda em Engenharia Ambiental da UERJ – nunes.silva.gabrielle@gmail.com

⁶ Mestrando em Engenharia Ambiental da UERJ – diogo.rosas@gmail.com

⁷ Professora Associada do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da UERJ – (21)2334-0311 Ramal 14/17 – danielabilauerj@gmail.com

⁸ Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária da UERJ - giovana_proenca@hotmail.com

⁹ Rua São Francisco Xavier, 524, Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, Brasil - CEP 20550900

INTRODUÇÃO

Com a rápida expansão dos centros urbanos, ocorrem mudanças na distribuição sazonal da precipitação, o que pode gerar o aumento de eventos extremos, trazendo uma grande quantidade de chuva em um curto período de tempo, ou seja, uma alta intensidade pluviométrica que comprometem a vida e o patrimônio de famílias brasileiras (FELDMAN, 2007)

Em áreas urbanas, a deposição atmosférica é um dos tipos de carga poluidora (ALI; BONHOMME; CHEBBO, 2016). A poluição atmosférica pode ser rapidamente lavada pelos eventos de precipitação pluviométrica e carregada na superfície até os corpos d'água (adaptado KIM et al., 2005). Esses poluentes se acumulam nas bacias em um período de clima mais seco e podem sofrer alterações de características entre as estações do ano (GUNAWARDANA et al.2012).

Características ambientais, como a sazonalidade da precipitação e as condições atmosféricas na região de estudo, condicionam a qualidade do volume do escoamento, de maneira associado à outros aspectos, como na tipologia da cobertura da edificação (ZHANG et al., 2014).

A qualidade da água da chuva tende a ser menor também devido ao projeto e manutenção inadequados do sistema de coleta de águas pluviais (HALIPAH, et al. 2017). Nesse sentido, tem sido fundamental projetar mecanismos capazes de assegurar a dispersão de cargas poluidoras, como sistema separador de fluxo inicial (SFI) da precipitação (GUIMARÃES, et al.; 2016), de modo a caracterizar acessórios de segurança em sistemas de aproveitamento de água de chuva quanto à qualidade da água armazenada em edificações urbanas.

O *first flush* pode ser analisado no período inicial do escoamento superficial na medida em que a concentração de poluentes é mais alta que aquelas observadas com o passar do tempo. Este conceito pode ser relacionado com a determinação da parcela do volume a ser interceptado para tratamento visto conter a maior carga poluidora do evento (FERREIRA, 2008).

Para analisar a variação da qualidade da água durante o evento pluviométrico, de modo a comparar a variação da concentração de poluentes nas estações do ano, podem ser obtidos gráficos capazes de relacionar a dispersão da massa de poluentes pelo volume de chuvas efetivas, conhecido como curvas $M(V)$, de forma sazonal ao evento e aos parâmetros analisados. As curvas $M(V)$ apresentam a relação da fração de massa de poluente removida com a fração de volume escoado ao longo do período do evento de precipitação (RIGHETTO, 2017).

Este trabalho tem como objetivo analisar a influência da sazonalidade na qualidade das amostras de água de chuva armazenadas em um sistema de armazenamento de águas pluviais instalado na cidade do Rio de Janeiro-RJ. A série histórica de eventos de precipitação pluviométrica analisados compreende: março de 2013 a dezembro de 2018, associados aos volumes precipitados e a massa de poluentes, representados pelas curvas $M(V)$.

METODOLOGIA

Área de estudo

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais (SAP), encontra-se localizado no bairro do Rio Comprido, na 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). O bairro apresenta elevada taxa de urbanização e adensamento populacional, adjacente aos bairros da Tijuca, Santa Teresa e Centro (Figura 1).



Figura 1- Localização do sistema na cidade do Rio do Janeiro, RJ (à esq) e identificação da área do telhado (à dir.).

Fonte: GOOGLE EARTH, 2019.

Essa região possui um intenso e constante tráfego de veículos devido à proximidade do Elevado Engenheiro *Freyssinet* e da Avenida *Paulo de Frontin*, uma das principais vias de transição entre as zonas norte e sul da cidade, tendo em média a circulação de 20.603 veículos em dias úteis (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2017).

O sistema de águas pluviais possui área de captação de cobertura em telhado metálico da quadra poliesportiva de 80 m², e conta com sistema separador de sólidos, dispositivo de separação do fluxo de descarte inicial (SFI) ou *first-flush* (FF), sifão extravasor, pontos de coleta e reservatório (RR) de armazenamento de 2460 litros.

O separador de fluxo inicial ou *first flush* é a relação do volume armazenado com a área de cobertura das águas pluviais, correspondente a 0,2 mm (Figura 2).

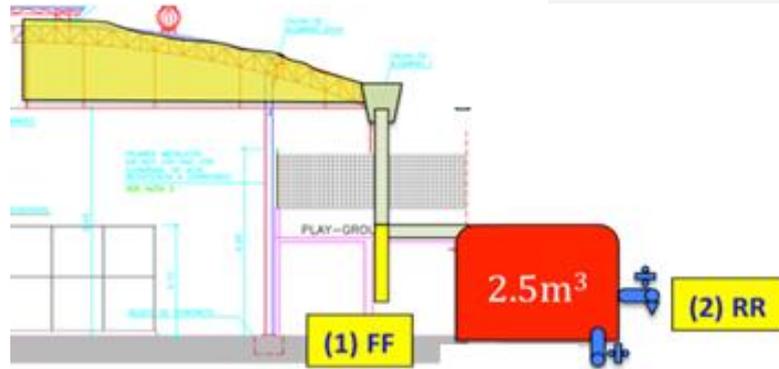


Figura 2 – Vista esquema do sistema de águas pluviais e pontos de coleta. Fonte: Guimarães et.al., 2015.

A precipitação mensal da região de estudo é obtida pelos dados disponíveis no Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2019), da estação Tijuca. A partir de uma média de precipitação durante a série histórica estudada (Figura 3), é possível inferir que os meses entre novembro e março, nas estações primavera e, principalmente, no verão, apresentaram uma pluviosidade mais elevada. Os meses de julho a setembro, durante o inverno, demonstram as menores médias de precipitação.

Portanto, as características pluviométricas da área de estudo, localizada na região metropolitana do Rio de Janeiro, correspondem a características similares ao clima tropical semi-úmido, com verão chuvoso e um inverno mais seco.

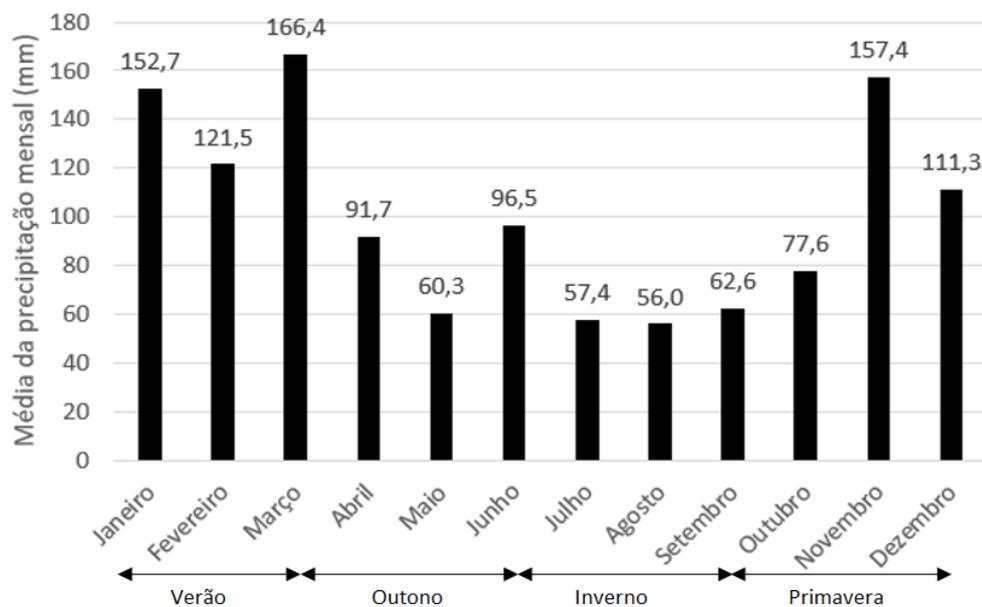


Figura 3 – Média da precipitação mensal dos anos de 2013 a 2018 da Estação Tijuca. Fonte: Autor, 2019.

Procedimento amostral

O período de amostragem e de análises ocorreu de março de 2013 a dezembro de 2018, com um total de 67 amostras coletadas dos pontos *first-flush* (FF) e reservatório (RR). O evento pluviométrico se caracteriza pelo primeiro após cada coleta realizada, a partir do volume precipitado a cada 15 minutos. Os dados pluviométricos constituem precipitação acima de 1 mm, volumes efetivos ocorridos desconsiderando os intervalos de uma hora de registros sem chuvas, a partir de informações obtidas do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2019), da estação pluviométrica da Tijuca, localizada 2 km de distância da área de estudo.

Foram analisados os parâmetros: turbidez e sólidos totais dissolvidos (STD), realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES), da Faculdade de Engenharia (FEN), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), utilizando o turbidímetro modelo *TECNOPON TB-1000*, e sonda multiparâmetro *Aquaread AP-700*, respectivamente. As análises de turbidez seguem o Método 2130 B do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA & WEF, 2012).

A distribuição sazonal é realizada na ordem das estações do ano: verão, outono, inverno e primavera. Segundo o Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (2019), o verão teve início em 21 de dezembro, o outono em 20 de março, o inverno em 21 de junho, e a primavera em 22 de setembro.

A partir da relação entre vazão e massa relativa acumulada de poluentes obtiveram-se as curvas $M(V)$ ao longo de uma série de eventos distribuídos conforme cada estação do ano. Pela análise da curva $M(V)$ é possível determinar a ocorrência do fenômeno de *first flush*. Se a curva estiver acima do bissetor do gráfico, ocorreu *first flush*, se estiver abaixo, não é evidenciado a lavagem da atmosfera pelo *first flush*. O afastamento da curva $M(V)$ em relação ao bissetor está ligado a magnitude do fenômeno.

A curva coincide com o bissetor caso a concentração seja constante ao longo do evento, ou seja, a massa de poluente é proporcional ao volume escoado. 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, portanto requer uma maior área de captação para carrear uma parcela mais expressiva de poluentes.

RESULTADOS

A partir dos dados coletados durante o período estudado, é possível comparar e monitorar processos de escoamento da poluição associados a diferentes eventos de chuva, representados pelas curvas $M(V)$.

As Figuras 4, 5, 6 e 7 representam as curvas M(V) das estações anuais de verão, outono, inverno e primavera. Os pontos de coleta FF e RR do sistema de águas pluviais indicam respectivamente, o volume do *first flush* e do reservatório.

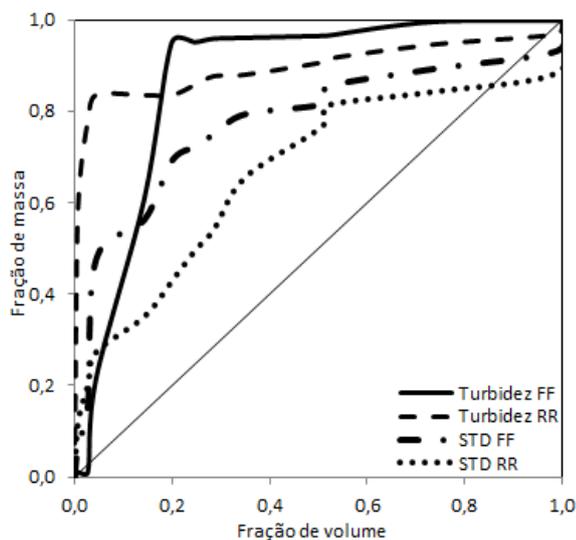


Figura 4 - Curva M(V) do Verão

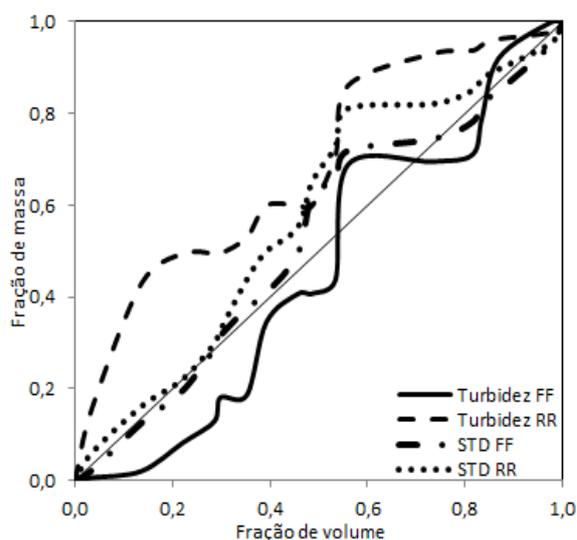


Figura 5 - Curva M(V) do Outono

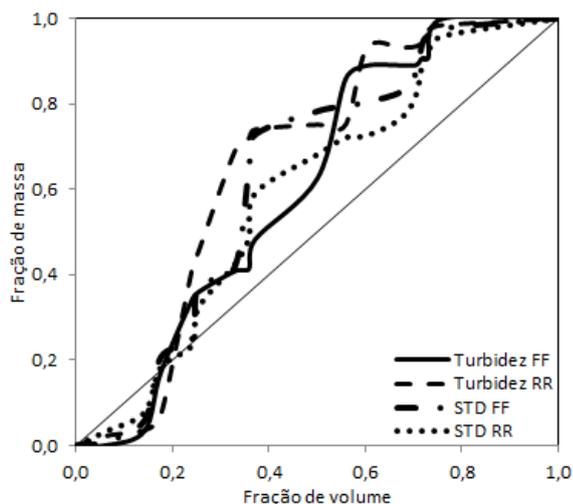


Figura 6 - Curva M(V) do Inverno

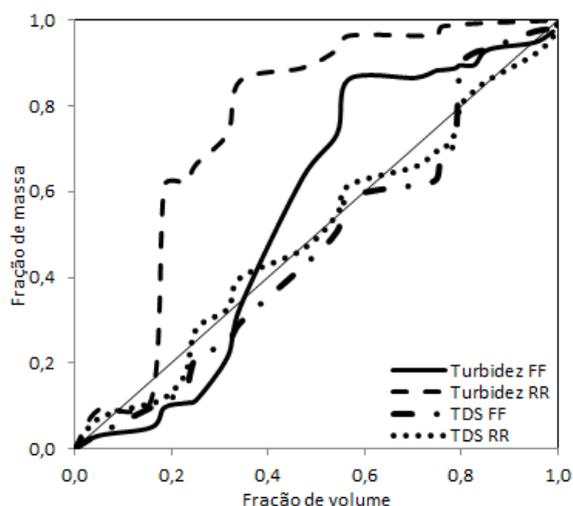


Figura 7 - Curva M(V) da primavera

Figuras: 4, 5, 6 e 7. Fonte: Autor, 2019.

Os eventos ocorridos no verão (Figura 4) se destacam pela evidência do fenômeno da Primeira Carga de Lavagem (PCL) dos parâmetros turbidez e sólidos totais dissolvidos (STD) e pontos analisados. A ocorrência da PCL é justificada porque/quando o volume escoado é inferior em relação a massa acumulada, ou seja, há uma maior carga na concentração da lavagem da atmosfera de modo a carregar maior poluição atmosférica na estação chuvosa.

Na curva M(V) referente ao outono (Figura 5), as curvas ficaram mais próximas ao bissetor, ou seja, de uma relação mais aproximada entre o volume escoado e a massa de poluentes acumulados,

principalmente, na turbidez no ponto FF. Nesse sentido, nota-se uma maior homogeneidade e consistência na distribuição dos dados de volume escoado e massa de poluentes.

O inverno (Figura 6) identifica curvas que se mantiveram acima do bissetor ao longo da maioria dos eventos analisados indicando a ocorrência do fenômeno *first-flush*, sobretudo quando se observa uma semelhança entre o volume escoado e a concentração de poluentes. Até cerca de 20% da fração observada acumulada, o volume supera a massa de poluentes, de modo a demonstrar ausência da PCL em determinados eventos.

A estação da primavera (Figura 7) apresenta diferença no comportamento dos parâmetros turbidez e STD. As curvas de turbidez indicam afastamento em relação ao bissetor, o que sugere a evidência na lavagem da atmosfera. O contrário ocorre com os STD, cujas frações se aproximam do bissetor indicando proporcionalidade da massa de poluentes e volume escoado. Em uma mesma fração de volume a turbidez apresentou valores divergentes nos pontos FF e RR, em razão do acúmulo de possíveis interferências depositadas no sistema de reservação.

De forma geral, o verão, por caracterizar uma estação chuvosa, apresenta uma maior diluição de poluentes devido à instabilidade atmosférica, e um maior volume de precipitação acumulada. No inverno há uma dificuldade de dissipação dos poluentes devido ao menor volume de chuvas e ao fato de que ocorre pouca movimentação vertical e horizontal das camadas de ar, além do fenômeno da inversão térmica que eleva essa concentração (TAMIOZZO *et al.*, 2008).

Nos meses de novembro a março ocorre a estação chuvosa e nos meses de maio a setembro a estação seca. Os meses de abril e outubro, que abrangem as estações outono e primavera, são considerados período de transição, apresentando valores compatíveis com as estações chuvosa e seca, respectivamente (SILVA *et al.*, 2008).

CONCLUSÃO

Este trabalho permite concluir que:

O verão é caracterizado por ser uma estação na qual a intensidade pluviométrica é maior, logo o efeito da deposição úmida é evidenciado pela carga de poluentes na superfície do telhado e a remoção de poluentes é mais efetiva. Por este motivo, os pontos e parâmetros observados neste período obtiveram as maiores relações massa/volume, e o fenômeno da primeira carga de lavagem é observado com maior intensidade.

O inverno e outono, apesar de serem consideradas estações secas, não apresentaram resultados de remoção de poluentes baixos. Isto ocorreu, pois, a média de precipitação não foi pequena como o esperado, o que fez com que a curva não se afastasse tanto do bissetor.

A primavera, também é considerada uma estação chuvosa, não obteve resultados tão efetivos na lavagem de cargas de poluentes, principalmente, nos sólidos totais dissolvidos (STD). Pode-se identificar de forma mais evidente a remoção da carga de turbidez no ponto RR.

REFERÊNCIAS

- ALERTA RIO (2019). 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. Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em 16/01/2019
- ALI, S.A.; BONHOMME, C.; CHEBBO, G. (2016). “*Evaluation of the performance and the predictive capacity of build-up and wash-off models on different temporal scales*”. *Water*, v. 8, n. 312.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22 ed. Washington: APHA.
- ARTINA, S. et al. (Coord.) (1997). *Sistemi di fognatura: Manuale di progettazione*. Milano: HOEPLI, pp. 932.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; CHEBBO, G.; SAGET, A. (1998). “*Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and first flush phenomenon*”. *Water Resource*. v. 32. n.8, pp. 2341-2356.
- DELETIC, A. (1998). “*The First Flush Load of Urban Surface Runoff*”. *Water Research*, n.32, pp. 2462-2470.
- FELDMAN, F. (2007). “*CPIs para as tragédias anunciadas*”. Folha de São Paulo, São Paulo, pp. A3.
- FELICE, J.G.; SILVEIRA, A.; ISIDORO, J.M.O.G.; GONÇALVES, F.A.; DA SILVA, A.M. (2018). “*Simulação do transporte de partículas em suspensão e de poluentes dissolvidos pelo escoamento em superfícies impermeáveis: uma contribuição ao saneamento urbano*”. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.23 n.2, pp. 405-414
- FERREIRA, L.C.A. (2008). “*Variação da qualidade da água do escoamento superficial de duas bacias de drenagem de Natal / RN– Brasil*”. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária)– Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- GUIMARÃES, R.M.; OHNUMA JR, A.A.; PIMENTEL DA SILVA, L; BILA; D.M.; JACOB, R.V.B; ROCHA, B.C.S. (2016). “*Qualidade da água da chuva com barreira de proteção instalada em um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais*”. In: 10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Belém-PA.

- GUIMARÃES, R.M.; OHNUMA JR, A.A.; PIMENTEL DA SILVA, L; GOMES, M.M. (2015). “*Caracterização físico-química e biológica das águas pluviais nos períodos seco e úmido*”. In: 11º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília -DF
- GUNAWARDANA, C., GOONETILLEKE, A., EGODAWATTA, P., DAWES, L., & KOKOT, S. (2012). *Role of Solids in Heavy Metals Buildup on Urban Road Surfaces*. Journal of Environmental Engineering, 138(4), 490–498
- HALIPAH, I.S.; YAMAN, K.; WABAH, R.A.; NAWAI, M.N.M. (2017). *Filtration of Rainwater Harvesting System in Rural Area*. Journal of Engineering Science and Technology 12(2). April 7p.
- KIM, L.; KAYHANIAN, M.; ZOH, K.; STENSTROM, M.K. (2005). *Modeling of highway stormwater runoff*. Science of the Total Environment, v. 348, p. 1-18. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.12.063
- LEE, J.H.; BANG, K.W.; KETCHUM, L.H.;CHOE, J.S.;YU, M.J. (2002). “*First flush analysis of urban storm runoff*”. The science of the total environment, n. 293, pp. 163-175.
- PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO (2017). *Fluxo Veicular Médio em Dias Úteis*. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://prefeitura.rio/>>. Acesso em 29/01/2019
- RIGHETTO, A.M., GOMES, K.M.I, & FREITAS, F.R.S. (2017). “*Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana*”. Engenharia Sanitaria e Ambiental, 22(6), 1109-1120.
- SILVA, A.E.; ANGELIS, C.F.; MACHADO, L.A.; WAICHAMAN, A.V. (2008). “*Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus*”. Acta Amazonica, v.38 n.4, pp. 733 - 742.
- TAMIOZZO, F.P.; ROCHA, G.C.; RIBEIRO, G.A. (Org.). (2008). *Geociências Aplicadas: Diferentes abordagens*. Ubá: Geographica, Consultoria, Estudos e Projetos Ambientais Ltda., 149p.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (2019). *Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas*. Início das estações do ano (2005–2020). São Paulo.
- ZHANG, Q.; WANG, X; HOU, P.; WAN, W.; LI, R.; REN, Y.; OUYANG, Z. (2014). “*Quality and seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic tile and green roofs in Chongqing, China*”. Journal of Environmental Management. v. 132, pp. 178-187.