

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM DA LAGOA
DE DETENÇÃO DO GUARÁ – DF: COMPORTAMENTO NO
AMORTECIMENTO DE CHEIAS E NA ALTERAÇÃO DA
QUALIDADE DA ÁGUA**

ANA CAROLINA VIEIRA DE PAULA

ORIENTADOR: SERGIO KOIDE, PhD

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA
AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**

BRASÍLIA/DF: AGOSTO – 2019

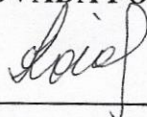
**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM DA LAGOA
DE DETENÇÃO DO GUARÁ – DF: COMPORTAMENTO NO
AMORTECIMENTO DE CHEIAS E NA ALTERAÇÃO DA
QUALIDADE DA ÁGUA**

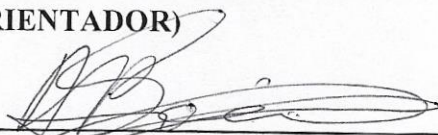
ANA CAROLINA VIEIRA DE PAULA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA
AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.

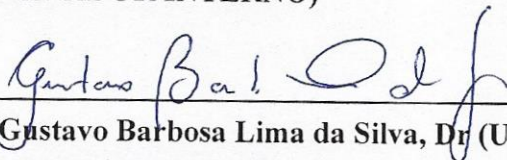
APROVADA POR:



Prof. Sergio Koide, PhD (ENC-UnB)
(ORIENTADOR)



Prof. Alexandre Kepler Soares, PhD (ENC-UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)



Prof. Gustavo Barbosa Lima da Silva, Dr (UFPB)
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 30 DE AGOSTO DE 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

PAULA, ANA CAROLINA VIEIRA DE	
Estudo experimental e modelagem da lagoa de retenção do Guará – DF: Comportamento no amortecimento de cheias e na alteração da qualidade da água. xvi, 156p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2019).	
Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.	
1. Drenagem Urbana	2. Qualidade da Água
3. SWMM	4. Bacia de Detenção
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PAULA, A. C. V. (2019). *Estudo experimental e modelagem da lagoa de retenção do Guará – DF: comportamento no amortecimento de cheias e na alteração da qualidade da água*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM 225/2019, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 156p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Ana Carolina Vieira de Paula

TÍTULO: Estudo experimental e modelagem da lagoa de retenção do Guará – DF: Comportamento no amortecimento de cheias e na alteração da qualidade da água.

GRAU: Mestre

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Ana Carolina Vieira de Paula

anacarolvp93@gmail.com

71.215-300 - Brasília/DF – Brasil

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, sem o qual não seria possível a elaboração deste trabalho ou de qualquer outro.

Aos meus pais, pelo constante amor, incentivo, apoio e compreensão.

Ao meu amor, por todo carinho, por toda ajuda e por sempre acreditar em mim.

Ao meu orientador, Prof. Koide, pela confiança, paciência e constante ensino.

À querida Maria Elisa, pela amizade e por toda ajuda durante esse período.

Aos professores do PTARH, por todo conhecimento transmitido e dedicação.

Ao Junior e Sr. Francisco, pela construção das estruturas de monitoramento na lagoa do Guará.

À amiga Alice, pela disposição em ir comigo a campo e ajuda no que fosse preciso.

À equipe do projeto: Gabriela, Stefanie, Daniel, Rodrigo e Marina. Tanto pelo auxílio nas idas a campo quanto nas análises de laboratório.

Às técnicas do Laboratório de Análise de Águas do PTARH, pela ajuda e suporte.

Ao Cleiton, Carlos Alberto, sr. Francisco e Alberto, por disponibilizarem seus telhados para a instalação dos pluviógrafos.

Agradeço às pessoas e instituições que colaboraram no fornecimento de dados, material, informação e apoio: CAESB, NOVACAP, INMET, ANA, ADASA e ArKIS.

Agradeço à CAPES, ANA, FAP-DF, FINEP, FINATEC e FUNAPE pelo apoio ao projeto de pesquisa a que este trabalho está associado e pela bolsa concedida.

À CHI, pela licença universitária concedida do PCSWMM.

A todos que de alguma forma estiveram ao meu lado durante esse processo, o meu muito obrigado!

RESUMO

ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM DA LAGOA DE DETENÇÃO DO GUARÁ – DF: COMPORTAMENTO NO AMORTECIMENTO DE CHEIAS E NA ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Autora: Ana Carolina Vieira de Paula

Orientador: Sergio Koide

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

A ocupação do espaço urbano ocasiona, em geral, o aumento das áreas impermeabilizadas e a aceleração do escoamento para jusante, provocando maiores picos de vazão e volumes escoados superficialmente. As águas escoadas pela superfície e no interior de condutos do sistema de drenagem carregam sólidos e contaminantes que contribuem de forma substancial para a degradação dos corpos hídricos receptores. De forma a minimizar os efeitos das cheias urbanas, várias medidas vêm sendo adotadas e, dentre elas, destacam-se as lagoas de retenção. No presente trabalho, teve-se por objetivo avaliar o comportamento da lagoa de retenção inserida no Parque Ezequias Heringer, na cidade satélite do Guará/DF, por meio de monitoramento e modelagem utilizando o programa SWMM por meio da interface do PCSWMM, buscando avaliar a eficiência da lagoa quanto ao amortecimento dos picos de vazões e melhoria da qualidade da água pluvial. Para isso, realizou-se o monitoramento de vazões e níveis na entrada e saída da estrutura bem como da precipitação na área de contribuição. Foram analisadas, quanto aos aspectos físico-químicos, 259 amostras da galeria de entrada da lagoa e 234 da saída, todas relacionadas a eventos chuvosos ocorridos na região. A lagoa apresentou eficiência média de redução dos picos de cheia de 95,5%, se mostrando muito eficiente também na remoção de sólidos suspensos da água, com eficiência de 99,1%. Entretanto, em relação aos sólidos dissolvidos e nutrientes, apresentou menores eficiências de remoção, com valores médios de 74,2% e 71,4% para SD e nutrientes, respectivamente. O modelo, em geral, não representou bem a lagoa de retenção no aspecto quantitativo, mostrando-se necessária a obtenção de curva-chave mais representativa para a galeria de entrada da estrutura devido à ocorrência de remanso no interior dessa. Nas simulações de qualidade, o modelo respondeu bem às concentrações de DQO e SS, porém, o mesmo não foi observado para os nutrientes.

Palavras-chaves: medidas compensatórias; poluição difusa; SWMM.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL STUDY AND MODELING OF DETENTION POND OF GUARÁ – DF: BEHAVIOR IN FLOOD DAMPING AND WATER QUALITY CHANGE

Author: Ana Carolina Vieira de Paula

Supervisor: Sergio Koide

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

The occupation of the urban space usually causes an increase of impervious areas and the acceleration of downstream flow, causing larger peak flows and volumes drained superficially. Water drained from the surface and into the drainage system ducts carries coarse solids and contaminants that contribute substantially to the degradation of the receiving water bodies. In order to minimize the effects of urban flooding, several measures have been adopted, including detention ponds. The objective in this study is to evaluate the behavior of the detention pond inserted in the Parque Ezechias Heringer, in the satellite city of Guarά/DF, through monitoring and modeling using the SWMM program through the PCSWMM interface, aiming to evaluate the pond efficiency in damping outflow peaks and improving rain water quality. For this, the flow and levels at the inlet and outlet structure were monitored, as well as the precipitation in the contribution area. Regarding the physicochemical aspects, 259 samples from the pond inlet and 234 from the outlet were analyzed, all related to rain events in the region. The pond presented an average efficiency for peak flow reduction of 95.5%, being also very efficient in removing suspended solids from the water, with an efficiency of 99.1%. However, regarding dissolved solids and nutrients, it presented lower removal efficiencies, with mean values of 74.2% and 71.4% for DS and nutrients, respectively. The model, in general, did not represent well the detention pond, proving to be necessary to obtain a more representative rating curve for the inlet structure due to the occurrence of backwater effect inside of it. In quality simulation, the model responded well to the COD and SS concentrations, however, the same was not observed for nutrients.

Keywords: compensatory measures; diffuse pollution; SWMM.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	ÁGUAS URBANAS	20
3.2	QUALIDADE DA ÁGUA	22
3.3	GESTÃO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS.....	24
3.3.1	<i>Bacias de Detenção</i>	26
3.4	MONITORAMENTO EM DRENAGEM URBANA	30
3.5	MODELAGEM COMPUTACIONAL	32
3.5.1	<i>Storm Water Management Model – SWMM</i>	34
4	METODOLOGIA	42
4.1	ÁREA DE ESTUDO	43
4.1.1	<i>Clima</i>	46
4.1.2	<i>Relevo</i>	47
4.1.3	<i>Tipos de Solo</i>	48
4.1.4	<i>Uso e Ocupação do Solo</i>	49
4.1.5	<i>Rede de Drenagem</i>	54
4.2	MONITORAMENTO	55
4.2.1	<i>Precipitação</i>	56
4.2.2	<i>Vazão</i>	58
4.2.3	<i>Qualidade da água</i>	66
4.3	MODELAGEM.....	69
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
5.1	DADOS DE PRECIPITAÇÃO	75
5.2	DADOS DE VAZÃO	81
5.3	ANÁLISE DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA	86
5.3.1	<i>Condutividade</i>	88
5.3.2	<i>Turbidez</i>	92
5.3.3	<i>Sólidos</i>	96

5.3.4	<i>Demanda Química de Oxigênio</i>	101
5.3.5	<i>Fósforo</i>	105
5.3.6	<i>Nitrogênio</i>	110
5.3.7	<i>Correlação entre parâmetros</i>	115
5.3.8	<i>Cargas e Concentrações Médias por Evento</i>	118
5.4	MODELAGEM QUANTITATIVA.....	123
5.5	MODELAGEM QUALITATIVA.....	130
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	137
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
	APÊNDICES	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Comparação entre o hidrograma típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização (Schueler, 1987 apud Tucci, 2005).	21
Figura 3.2 – Fluxograma explicativo dos módulos do SWMM (Adaptado: Souza, 2014). 35	35
Figura 3.3 – Fenômeno de escoamento superficial no SWMM (Rossman, 2010).....	35
Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia utilizada para a concepção do trabalho.	43
Figura 4.2 – Localização da lagoa de retenção do Guará e sua área de contribuição.	44
Figura 4.3 – (a) Lagoa de estabilização já desativada em 25/06/2005; (b) Bacia de retenção em 12/08/2017. Fonte: Google Earth.	44
Figura 4.4 – (a) Bacia de retenção do Guará com foco na localização das estruturas de entrada e saída; (b) Galeria de entrada; (c) Vertedor e descarga de fundo na saída.	45
Figura 4.5 – Área de contribuição da bacia de retenção do Guará.	46
Figura 4.6 – Mapa de elevação na área de contribuição.	47
Figura 4.7 – Mapa de declividade na área de contribuição.	48
Figura 4.8 - Mapa de uso e ocupação do solo da área em estudo.	49
Figura 4.9 – Cruzeiro Velho.	50
Figura 4.10 – Cruzeiro Novo.	51
Figura 4.11 – Entrada da Agência Brasileira de Inteligência – ABIN.	51
Figura 4.12 – Octogonal.	52
Figura 4.13 – Setor de Oficinas Sul – SOF Sul.	52
Figura 4.14 – Setor de Indústria e Abastecimento – SIA.	53
Figura 4.15 – Setor Sudoeste / HFA.	54
Figura 4.16 – Rede de drenagem pluvial da área de estudo.	55
Figura 4.17 – Localização dos pluviômetros na área de estudo.	56
Figura 4.18 – Pluviômetro no telhado do Centro Comercial Cruzeiro, no Cruzeiro Velho. 57	57
Figura 4.19 – Pluviômetro no telhado do edifício no SHCES 409, Cruzeiro Novo.	57
Figura 4.20 – Pluviômetro no telhado de prédio em AOS 1, Octogonal.	58
Figura 4.21 – Pluviômetro no telhado de prédio comercial em SIA Quadra 5C.	58
Figura 4.22 – Pluviômetro instalado nas proximidades da bacia de retenção, em cima de estrutura da Caesb.	58
Figura 4.23 – Linímetro de boia, modelo Thalimedes. Componentes: Datalogger associado à polia, boia e contrapeso.	59
Figura 4.24 – Linímetro de pressão, modelo WL16. Datalogger conectado ao transdutor de pressão por meio de cabo de 7,6 m.	59
Figura 4.25 - Régua limimétrica instalada: (a) na câmara 1 da galeria de entrada da lagoa de retenção; (b) na saída, próximo à descarga de fundo da lagoa; (c) ao lado do vertedor de saída.	59
Figura 4.26 – Localização dos equipamentos de monitoramento na galeria de entrada da lagoa de retenção do Guará.	60
Figura 4.27 – Localização dos equipamentos de monitoramento na saída da lagoa de retenção do Guará.	60
Figura 4.28 – (a) Construção da estrutura para abrigar o linímetro na galeria de entrada, num sistema de vasos comunicantes; (b) Estrutura finalizada; (c) Linímetro de pressão instalado.	61
Figura 4.29 – (a) Linímetro de boia instalado na saída da lagoa; (b) Vista frontal da descarga de fundo com estrutura do linímetro de boia à esquerda da imagem; (c) Estrutura que abriga o linímetro de boia.	61

Figura 4.30 – (a) e (b) Construção da estrutura que acondiciona o linígrafo de pressão na saída da lagoa de detenção; (c) Vista aérea da estrutura finalizada.	62
Figura 4.31 – (a) Sensor do ADC; (b) Utilização do ADC na saída da lagoa de detenção.	62
Figura 4.32 – Passagem da onda de cheia na galeria de entrada da lagoa de detenção do Guará: (a) Vista para o interior da câmara 3; (b) Vista de cima da galeria.	63
Figura 4.33 – Curva-chave em laço (Adaptado: Chow et al., 1988).	64
Figura 4.34 – Curva-chave determinada no período de monitoramento para a galeria de entrada da lagoa de detenção, onde o ramo ascendente corresponde ao traço de cor azul e, o descendente, ao vermelho.	64
Figura 4.35 – Curva-chave determinada para o orifício de fundo na saída da lagoa de detenção do Guará.	65
Figura 4.36 – Descarga de fundo: (a) Entrada; (b) Saída com direcionamento para tubulação de 1,5 m de diâmetro que desemboca no córrego Guará.	66
Figura 4.37 – Vista aérea da lagoa de detenção do Guará após eventos chuvosos.	66
Figura 4.38 – (a) Amostrador automático ISCO 6712; (b) Parte inferior do amostrador automático, onde as amostras são armazenadas.	67
Figura 4.39 - Embalagem plástica de 1L de capacidade para acondicionar as amostras e suporte azul para encaixe no amostrador automático.	67
Figura 4.40 – Estrutura para alocar o amostrador automático: (a) Na entrada; (b) Na saída da lagoa de detenção do Guará.	68
Figura 4.41 – (a) Boia de nível na posição vertical e tubulação que abriga a mangueira do amostrador e a fiação da boia no interior da câmara 1; (b) Tubulação para a mangueira do amostrador e boia de nível acionada no interior de gaiola de proteção, na saída da lagoa de detenção.	68
Figura 4.42 – Representação da rede de drenagem e sub-bacias no PCSWMM.	70
Figura 4.43 – Polígonos de Thiessen e pluviógrafos na área em estudo.	72
Figura 4.44 – Representação da descarga de fundo no modelo.	73
Figura 4.45 – Representação do vertedor no modelo.	73
Figura 5.1 – Comparação do acumulado mensal de chuva em cada um dos pluviógrafos da área de estudo para os meses de outubro/2018 a março/2019.	75
Figura 5.2 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo do INMET com discretização de 1 hora.	76
Figura 5.3 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo da ANA com discretização de 15 min.	77
Figura 5.4 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo do Cruzeiro Velho com discretização de 5 min.	77
Figura 5.5 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo da Octogonal com discretização de 5 min.	77
Figura 5.6 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo da lagoa do Guará com discretização de 5 min.	78
Figura 5.7 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo do SIA com discretização de 5 min.	78
Figura 5.8 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo do Cruzeiro Novo com discretização de 5 min.	78
Figura 5.9 – Distribuição espacial da chuva no evento do dia 08/12/2018.	81
Figura 5.10 – Hidrograma na galeria de entrada da lagoa de detenção do Guará.	82
Figura 5.11 – Hidrograma na estrutura de saída da lagoa de detenção do Guará.	82
Figura 5.12 – Hidrograma referente ao evento do dia 08/12/2018.	83
Figura 5.13 – Hidrograma referente ao evento do dia 25/02/2019.	83
Figura 5.14 – Hidrograma referente ao evento do dia 16/03/2019.	84

Figura 5.15 – Condutividade Entrada.	89
Figura 5.16 – Condutividade Saída.	89
Figura 5.17 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Condutividade	90
Figura 5.18 - Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para no vertedor de saída: Condutividade	90
Figura 5.19 – Polutograma da condutividade para evento 08/12/2018: Entrada.	91
Figura 5.20 – Polutograma da condutividade para evento 08/12/2018: Saída.	91
Figura 5.21 – Polutograma da condutividade para evento 25/02/2019: Entrada.	91
Figura 5.22 – Polutograma da condutividade para evento 25/02/2019: Saída.	91
Figura 5.23 – Polutograma da condutividade para evento 16/03/2019: Entrada.	91
Figura 5.24 – Polutograma da condutividade para evento 16/03/2019: Saída.	91
Figura 5.25 – Turbidez Entrada.	93
Figura 5.26 – Turbidez Saída.	93
Figura 5.27 – Amostras coletadas na entrada da lagoa do Guará, no evento do dia 04/12/2018. À esquerda da imagem, a primeira amostra coletada.	93
Figura 5.28 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Turbidez.	94
Figura 5.29 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: Turbidez.	94
Figura 5.30 – Polutograma de turbidez para evento 08/12/2018: Entrada.	95
Figura 5.31 – Polutograma de turbidez para evento 08/12/2018: Saída.	95
Figura 5.32 – Polutograma de turbidez para evento 25/02/2019: Entrada.	95
Figura 5.33 – Polutograma de turbidez para evento 25/02/2019: Saída.	95
Figura 5.34 – Polutograma de turbidez para evento 16/03/2019: Entrada.	95
Figura 5.35 – Polutograma de turbidez para evento 16/03/2019: Saída.	95
Figura 5.36 – Sólidos Suspensos Entrada.	97
Figura 5.37 – Sólidos Suspensos Saída.	97
Figura 5.38 – Sólidos Dissolvidos Entrada.	97
Figura 5.39 – Sólidos Dissolvidos Saída.	97
Figura 5.40 – Comparação entre as membranas utilizadas na filtração das amostras. À esquerda, membranas da galeria de entrada. À direita, membranas da saída.	98
Figura 5.41 – Amostras coletadas na galeria de entrada no evento do dia 25/02/2019.	98
Figura 5.42 – Amostras coletadas na saída da lagoa de detenção no evento do dia 25/02/2019.	98
Figura 5.43 - Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Sólidos.	99
Figura 5.44 - Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: Sólidos.	99
Figura 5.45 – Polutograma de sólidos para evento 08/12/2018: Entrada.	100
Figura 5.46 – Polutograma de sólidos para evento 08/12/2018: Saída.	100
Figura 5.47 – Polutograma de sólidos para evento 25/02/2019: Entrada.	100
Figura 5.48 – Polutograma de sólidos para evento 25/02/2019: Saída.	100
Figura 5.49 – Polutograma de sólidos para evento 16/03/2019: Entrada.	100
Figura 5.50 – Polutograma de sólidos para evento 16/03/2019: Saída.	100
Figura 5.51 – DQO Entrada.	101
Figura 5.52 – DQO Saída.	101
Figura 5.53 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: DQO.	103

Figura 5.54 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: DQO.....	103
Figura 5.55 – Polutograma de DQO para evento 08/12/2018: Entrada.....	104
Figura 5.56 – Polutograma de DQO para evento 08/12/2018: Saída.....	104
Figura 5.57 – Polutograma de DQO para evento 25/02/2019: Entrada.....	104
Figura 5.58 – Polutograma de DQO para evento 25/02/2019: Saída.....	104
Figura 5.59 – Polutograma de DQO para evento 16/03/2019: Entrada.....	104
Figura 5.60 – Polutograma de DQO para evento 16/03/2019: Saída.....	104
Figura 5.61 – Fósforo Total Entrada.....	106
Figura 5.62 – Fósforo Total Saída.....	106
Figura 5.63 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Fósforo.....	108
Figura 5.64 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: Fósforo.....	108
Figura 5.65 – Polutograma de fósforo para evento 08/12/2018: Entrada.....	109
Figura 5.66 – Polutograma de fósforo para evento 08/12/2018: Saída.....	109
Figura 5.67 – Polutograma de fósforo para evento 25/02/2019: Entrada.....	109
Figura 5.68 – Polutograma de fósforo para evento 25/02/2019: Saída.....	109
Figura 5.69 – Polutograma de fósforo para evento 16/03/2019: Entrada.....	109
Figura 5.70 – Polutograma de fósforo para evento 16/03/2019: Saída.....	109
Figura 5.71 – Nitrogênio Total Entrada.....	111
Figura 5.72 – Nitrogênio Total Saída.....	111
Figura 5.73 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Nitrogênio.....	112
Figura 5.74 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: Nitrogênio.....	113
Figura 5.75 – Polutograma de nitrogênio para evento 08/12/2018: Entrada.....	114
Figura 5.76 – Polutograma de nitrogênio para evento 08/12/2018: Saída.....	114
Figura 5.77 – Polutograma de nitrogênio para evento 25/02/2019: Entrada.....	114
Figura 5.78 – Polutograma de nitrogênio para evento 25/02/2019: Saída.....	114
Figura 5.79 – Polutograma de nitrogênio para evento 16/03/2019: Entrada.....	114
Figura 5.80 – Polutograma de nitrogênio para evento 16/03/2019: Saída.....	114
Figura 5.81 – Correlação SS e Turbidez: Entrada.....	115
Figura 5.82 – Correlação SS e Turbidez: Saída.....	115
Figura 5.83 – Correlação SD e Condutividade: Entrada.....	116
Figura 5.84 – Correlação SD e Condutividade: Saída.....	116
Figura 5.85 – Correlação DQO e SS: Entrada.....	117
Figura 5.86 – Correlação DQO e SS: Saída.....	117
Figura 5.87 – Correlação nutrientes e SD: Entrada.....	117
Figura 5.88 – Correlação nutrientes e SD: Saída.....	117
Figura 5.89 – Cargas de poluentes que aportam à lagoa de detenção do Guará.....	122
Figura 5.90 – Cargas de poluentes que saem da lagoa de detenção para o córrego Guará.....	123
Figura 5.91 – Comparação entre os hidrogramas da entrada da lagoa para o evento do dia 31/12/2018.....	125
Figura 5.92 - Comparação entre os hidrogramas da saída da lagoa para o evento do dia 31/12/2018.....	126
Figura 5.93 – Hidrogramas observado e simulado para evento do dia 15/11/2018.....	128
Figura 5.94 – Hidrogramas para a entrada da lagoa no evento do dia 08/12/2018.....	129
Figura 5.95 – Hidrograma para a saída da lagoa no evento do dia 08/12/2018.....	129

Figura 5.96 – Hidrogramas observado e simulado para os dias 22 a 26 de dezembro/2018.	129
Figura 5.97 – Hidrogramas para evento do dia 23/12/2018.....	130
Figura 5.98 – Hidrogramas para evento do dia 25/12/2018.....	130
Figura 5.99 – Curva empírica de SS para todos os eventos.....	131
Figura 5.100 - Curva empírica de DQO para todos os eventos.....	131
Figura 5.101 - Curva empírica de amônia para todos os eventos.....	131
Figura 5.102 - Curva empírica de fósforo reativo para todos os eventos,.....	131
Figura 5.103 – Concentrações de SS observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.	132
Figura 5.104 – Cargas de SS observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.....	132
Figura 5.105 – Concentrações de DQO observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.	132
Figura 5.106 – Cargas de DQO observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.....	132
Figura 5.107 – Concentrações de amônia observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.	133
Figura 5.108 – Cargas de amônia observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.	133
Figura 5.109 – Concentrações de fósforo reativo observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.....	133
Figura 5.110 – Cargas de fósforo reativo observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.	133
Figura 5.111 – Concentração de SS para evento 15/11/2018 após calibração.....	134
Figura 5.112 – Concentração de DQO para evento 15/11/2018 após calibração.	134
Figura 5.113 – Concentração de amônia para evento 15/11/2018 após calibração.	135
Figura 5.114 – Concentração de fósforo reativo para evento 15/11/2018 após calibração.	135
Figura 5.115 – Concentração de SS para evento 08/12/2018 após calibração.....	136
Figura 5.116 – Concentração de DQO para evento 08/12/2018 após calibração.	136
Figura 5.117 – Concentração de amônia para evento 08/12/2018 após calibração.	136
Figura 5.118 – Concentração de fósforo reativo para evento 08/12/2018 após calibração.	136

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Comparação da porcentagem de remoção de poluentes por diferentes tipos de bacias de detenção (Iowa, 2009).	27
Tabela 3.2 – Intervalos máximos de medição para a qualidade da água (Adaptado: Browne, 1999).	31
Tabela 3.3 – Cálculos de escoamento no SWMM (Adaptado: Costa, 2013).	37
Tabela 3.4 – Métodos de cálculo da acumulação de poluentes (Adaptado: Rossman, 2015).	38
Tabela 3.5 – Método de cálculo da lixiviação de poluentes (Adaptado: Rossman, 2015)..	39
Tabela 4.1 – Informações sobre a localização dos pluviógrafos.	57
Tabela 4.2 – Resumo dos parâmetros analisados e os respectivos métodos utilizados.	69
Tabela 5.1 – Informações dos eventos de precipitação monitorados.	80
Tabela 5.2 – Resumo dos eventos de qualidade para a entrada da lagoa de detenção.	87
Tabela 5.3 – Resumo dos eventos de qualidade para a saída da lagoa de detenção.	87
Tabela 5.4 – Análise estatística da condutividade para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.	89
Tabela 5.5 - Análise estatística da turbidez para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.	92
Tabela 5.6 – Análise estatística dos sólidos para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.	96
Tabela 5.7 - Análise estatística dos sólidos para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.	102
Tabela 5.8 – Análise estatística do fósforo para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.	106
Tabela 5.9 – Análise estatística do nitrogênio para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.	111
Tabela 5.10 – Concentrações médias gerais dos parâmetros monitorados para entrada e saída da lagoa de detenção.	119
Tabela 5.11 – Concentrações médias por evento para a galeria de entrada.	119
Tabela 5.12 – Concentrações médias por evento para o vertedor de saída.	119
Tabela 5.13 – Eficiências de remoção da lagoa de detenção do Guará nos eventos específicos.	120
Tabela 5.14 – Cargas geradas a montante e jusante da lagoa de detenção para cada evento específico em kg/ha/dia.	123
Tabela 5.15 – Parâmetros estatísticos da modelagem sem calibração do evento do dia 31/12/2018.	124
Tabela 5.16 – Incertezas associadas aos parâmetros e alterações feitas na calibração.	125
Tabela 5.17 – Parâmetros estatísticos da modelagem do evento 31/12/2018 após calibração.	125
Tabela 5.18 – Resultado da modelagem de vazões para a entrada da lagoa de detenção do Guará, antes e após calibração.	127
Tabela 5.19 - Resultado da modelagem de vazões para a saída da lagoa de detenção do Guará, antes e após calibração.	127
Tabela 5.20 – Eficiência do modelo para as simulações de qualidade para evento 15/11/2018.	132
Tabela 5.21 – Coeficientes e funções de washoff utilizadas para cada parâmetro qualitativo avaliado.	134

Tabela 5.22 – Eficiência do modelo calibrado para as simulações de qualidade para evento 15/11/2018.....	134
Tabela 5.23 – Eficiência da verificação para as simulações de qualidade para evento 08/12/2018.....	135

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Adasa	- Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ANA	- Agência Nacional de Águas
CAESB	- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CHI	- <i>Computational Hydraulics International</i>
cm	- Centímetro
CME	- Concentração Média por Evento
CN	- Curva Número
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DF	- Distrito Federal
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
Embrapa	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g	- Grama
GDF	- Governo do Distrito Federal
ha	- Hectares
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
ISE	- <i>Integral Square Error</i>
ISEr	- <i>Integral Square Error rating</i>
kg	- Quilograma
L	- Litro
m	- Metro
mg	- Miligrama
ml	- Mililitro
mm	- Milímetro
Novacap	- Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
NSE	- <i>Nash-Sutcliffe</i>
NT	- Nitrogênio Total
NTU	- Unidade Nefelométrica de Turbidez
PT	- Fósforo Total
R ²	- Coeficiente de correlação linear
s	- Segundo
SCS	- <i>Soil Conservation Service</i>
SD	- Sólidos Dissolvidos
SOF Sul	- Setor de Oficinas Sul
SS	- Sólidos Suspensos
ST	- Sólidos Totais
SWMM	- <i>Storm Water Management Model</i>
Tr	- Tempo de retorno
UnB	- Universidade de Brasília
μS	- Microsiemens

1 INTRODUÇÃO

O aumento da urbanização, caracterizado principalmente pela impermeabilização do solo da bacia de drenagem, bem como os efeitos das mudanças climáticas têm contribuído de modo significativo para o aumento do escoamento superficial, gerando cada vez mais estresse aos sistemas convencionais de drenagem pluvial (Eckart *et al.*, 2017).

Águas pluviais urbanas contribuem de forma substancial para a degradação dos corpos hídricos receptores, transportando sólidos grosseiros e contaminantes associados às partículas sólidas em suspensão bem como às partículas dissolvidas, sendo essa última de difícil remoção (Birch *et al.*, 2006).

Com o intuito de minimizar os efeitos das inundações em áreas urbanas e minimizar os impactos sobre os corpos hídricos receptores, várias medidas de controle vêm sendo estudadas e adotadas. Dentre elas, citam-se as bacias de retenção, medidas estruturais de manejo de águas pluviais, que são utilizadas com frequência em áreas com urbanização consolidada.

As bacias de retenção são obras destinadas tanto ao amortecimento dos picos de cheias por meio da reservação de parte do volume escoado superficialmente quanto à remoção de detritos e poluentes carregados pelos escoamentos, podendo apresentar também funções paisagísticas e recreativas. Ressalta-se que os objetivos de amortecimento e tratamento das águas são, por muitas vezes, conflitantes, tendo em vista que o tempo necessário para atingir níveis satisfatórios de remoção de poluentes é muito superior ao tempo exigido para controle do pico de vazões.

Nesse sentido, de forma a avaliar a eficiência quantitativa e qualitativa de bacias de retenção, foi estudada, com base nesses aspectos, a lagoa de retenção que está inserida no Parque Ezequias Heringer, na cidade satélite do Guará, Distrito Federal. A grande área da estrutura, de aproximadamente 25 ha, e, conseqüentemente, elevada capacidade de armazenamento dessa associados à inexistência de estudos prévios de monitoramento da área e os mais de 10 anos de funcionamento da estrutura motivaram a realização desse estudo.

A lagoa de retenção analisada localiza-se na unidade hidrográfica do Riacho Fundo, bacia de contribuição do Lago Paranoá, apresentando área de contribuição de 7,65 km². A bacia hidrográfica do Lago Paranoá, por sua vez, é a única bacia hidrográfica que se encontra inserida completamente no território do DF, o que favorece o planejamento, a gestão e o manejo das águas pluviais dessa área. O lançamento final, após amortecimento, se dá no córrego Guará.

Para a realização de estudos sobre quantidade e qualidade das águas urbanas, faz-se necessária a aquisição de bons dados hidrológicos e de qualidade da água, por meio do monitoramento, raramente disponíveis. As informações coletadas neste trabalho possibilitarão o desenvolvimento e o aprimoramento de estudos nas bacias hidrográficas, bem como a modelagem dos sistemas de drenagem urbana. O trabalho de monitoramento do estudo em questão foi realizado entre os meses de outubro 2018 a março de 2019, compreendendo a estação chuvosa da região.

Os modelos hidrológicos são ferramentas que auxiliam na compreensão e representação do comportamento em bacias hidrográficas, possibilitando a previsão de condições diferentes das observadas (Tucci, 1998). Entre os modelos hidrológicos cita-se o modelo SWMM – *Storm Water Management Model*, que é capaz de simular o comportamento hidrológico-hidráulico de sistemas de drenagem urbana, tanto em termos de quantidade quanto qualidade da água. Neste trabalho, utilizou-se o modelo SWMM por meio da interface do PCSWMM, tendo sido realizadas calibração e verificação das vazões e da qualidade da água, com base nos dados obtidos do monitoramento.

Este documento está estruturado em seis capítulos. O capítulo 2 expõe os objetivos gerais e específicos desta dissertação. O capítulo 3 apresenta a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica, onde são discutidos os aspectos mais relevantes para a pesquisa. O capítulo 4 trata sobre a metodologia, descrevendo as características da área de estudo e o monitoramento adotado, bem como os aspectos da modelagem. O capítulo 5 apresenta os resultados da pesquisa. O capítulo 6 apresenta as principais conclusões e recomendações para estudos futuros.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar a influência da lagoa de retenção do Guará-DF no comportamento quantitativo e qualitativo das ondas de cheia, por meio de monitoramento hidrológico e de qualidade da água.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a eficiência hidráulica da lagoa de retenção quanto ao amortecimento dos picos de vazão;
- Analisar a eficiência da lagoa de retenção na retenção de sedimentos e na melhoria da qualidade da água;
- Testar o modelo SWMM para simulação do amortecimento de vazões e da qualidade da água em uma lagoa de retenção monitorada.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ÁGUAS URBANAS

De acordo com Tucci (2008), o sistema de abastecimento de água, o sistema de esgotamento sanitário, os resíduos sólidos, a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas compreendem as chamadas águas urbanas. Estes componentes do sistema hídrico estão fortemente inter-relacionados dentro do ambiente urbano e devem ser gerenciados de forma integrada (Tucci, 2005).

O sistema de abastecimento de água engloba os mananciais superficiais e subterrâneos, o tratamento da água captada nestas fontes e sua distribuição à população. O sistema de esgotamento sanitário compreende a coleta dos efluentes (residenciais, comerciais e industriais), seu transporte, tratamento e despejo da água tratada de volta ao corpo hídrico. A drenagem urbana, por sua vez, consiste na rede de coleta da água que se origina da precipitação sobre áreas urbanas, retornando-a aos corpos d'água. As inundações ribeirinhas referem-se ao processo natural do rio de ocupação do seu leito maior, devido a eventos chuvosos extremos (Tucci, 2005).

O crescimento urbano e o conseqüente aumento das interferências antrópicas no meio provocam mudanças no balanço hídrico, tornando-o mais complexo em áreas urbanas (Marsalek *et al*, 2006). A água destinada ao abastecimento humano é, normalmente, oriunda de áreas fora da zona urbana ou até mesmo importada de outras bacias hidrográficas e, após se converter em águas residuais, retorna aos corpos hídricos em quantidades variáveis. Já com relação à água precipitada sobre áreas urbanas, há redução dos processos de interceptação, infiltração e armazenamento superficial, devido ao aumento das áreas impermeabilizadas, que por sua vez provoca aumento dos volumes que são escoados superficialmente até as redes de drenagem, sejam elas naturais ou construídas (Zanandrea, 2016). A diminuição da infiltração acarreta numa diminuição da recarga de águas subterrâneas e numa redução tanto do nível do lençol freático quanto do fluxo de base.

Devido à impermeabilização do solo, à canalização do escoamento e às obstruções ao escoamento – como pontes, aterros, drenagens inadequadas e assoreamento, as águas pluviais se tornam responsáveis por inundações em áreas urbanas, causando diversos

transtornos à população. O volume de água antes escoado lentamente pela superfície, retido pela vegetação e infiltrado no solo, escoava rapidamente até os canais de drenagem, exigindo maior capacidade de escoamento das seções. Como resultado, tem-se um aumento considerável da vazão máxima dos rios, uma antecipação do pico de cheia e um aumento do volume do escoamento superficial (Tucci, 2015). Por meio da Figura 3.1, a seguir, é possível visualizar os impactos da urbanização descritos anteriormente, apresentando uma comparação entre os hidrogramas típicos de uma bacia natural, antes da urbanização, e de uma bacia urbanizada.

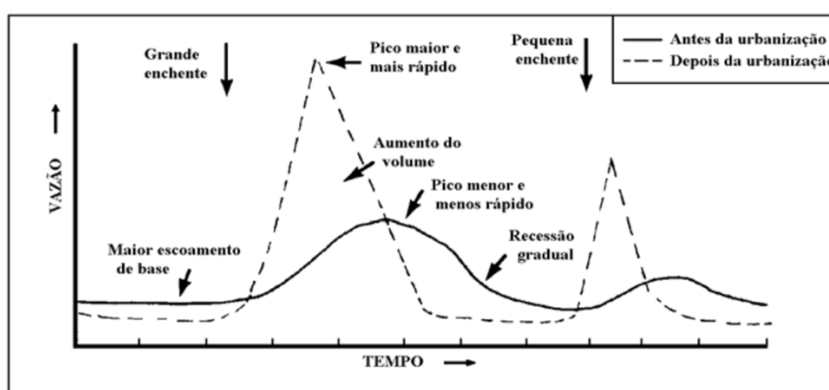


Figura 3.1 – Comparação entre o hidrograma típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização (Schueler, 1987 *apud* Tucci, 2005).

O objetivo principal da drenagem urbana foi, durante muito tempo, promover a retirada da água pluvial em excesso da forma mais eficiente e rápida possível, de maneira a evitar transtornos, prejuízos e inundações. Por este motivo, as ações concentraram-se na execução de projetos e obras de medidas ditas estruturais, onde se destacam obras de captação, como bueiros e bocas-de-lobo; obras de transporte, como galerias e canais; e, obras de retenção, como bacias de retenção e reservatórios de acumulação de águas pluviais (Tucci, 2009; Righetto, 2009).

Apesar de necessárias e até mesmo essenciais para a solução de problemas de inundações urbanas, as medidas estruturais, além de dispendiosas, não são por si só capazes de solucionar de forma eficaz e sustentável os problemas mais complexos de drenagem urbana. É necessária uma compreensão mais integrada do ambiente urbano e das interações entre os sistemas que o compõem para a obtenção de melhores soluções para esses problemas. De acordo com Porto *et al.* (2009), o conceito de drenagem urbana extrapolou o campo restrito da engenharia e se tornou um problema gerencial, com componentes políticos e sociológicos.

3.2 QUALIDADE DA ÁGUA

De modo geral, pode-se dizer que as águas superficiais são as mais vulneráveis à poluição, uma vez que são influenciadas tanto por fenômenos naturais quanto por ações antrópicas, como o lançamento de efluentes sanitários. A qualidade da água de um corpo hídrico é, portanto, principalmente função das condições naturais e de uso e ocupação do solo de sua bacia hidrográfica (Von Sperling, 2007).

Salgado (2013) afirma que a poluição das águas consiste na soma das substâncias que modificam as características físicas, químicas e biológicas do corpo hídrico, podendo ser avaliada por meio dos parâmetros de qualidade da água, tais como pH, sólidos totais, em suspensão e dissolvidos, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade, nitrogênio (nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato), fósforo, coliformes totais, DBO e DQO.

Os principais parâmetros utilizados na caracterização física das águas são: cor, turbidez, sólidos, temperatura, sabor e odor. No âmbito do presente estudo, foram abordados os parâmetros físicos turbidez e sólidos. A turbidez corresponde ao grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra de água, devido à presença de sólidos em suspensão (Piveli e Kato, 2006). Os sólidos presentes na água podem ser classificados em diversas frações, sendo os sólidos totais (ST), os sólidos em suspensão (SS) e os sólidos dissolvidos (SD) as frações abordadas neste estudo.

Os parâmetros químicos da água são diversos, sendo, neste trabalho, abordados o pH, a condutividade, a DQO, o nitrogênio e o fósforo. O pH representa, de forma logaritmizada, a atividade do íon hidrogênio, sendo importante em diversas etapas do tratamento das águas e influenciando na vida aquática. A condutividade, por sua vez, indica a capacidade da água em transmitir corrente elétrica, sendo influenciada diretamente pela concentração de sólidos dissolvidos no meio (Piveli e Kato, 2006; Von Sperling, 2007).

A DQO corresponde à quantidade de oxigênio necessária para promover a oxidação da matéria orgânica, biodegradável ou não, através de um agente químico, o dicromato de potássio. É um parâmetro de grande importância na caracterização do grau de poluição das águas. Quanto ao nitrogênio em sua forma inorgânica, esse pode ser encontrado, nas águas, sob a forma de amônia (livre NH_3 e ionizada NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). O fósforo

bem como o nitrogênio são nutrientes indispensáveis para as algas, de forma que, quando em altas concentrações, podem conduzir a um crescimento exagerado desses organismos, desencadeando processos de eutrofização (Piveli e Kato, 2006; Von Sperling, 2007).

As fontes de poluição dos corpos hídricos receptores podem ser classificadas em pontuais ou difusas, sendo as primeiras caracterizadas pelo conhecimento da localização, carga, natureza e frequência de lançamento de determinado poluente no meio hídrico, enquanto que, nas difusas, essas informações não são conhecidas. A poluição gerada pelo escoamento superficial, associada a eventos chuvosos, é dita de origem difusa, por ser originada de atividades que depositam poluentes de forma esparsa sobre a superfície da bacia hidrográfica, tais como agricultura, deposição seca e atmosférica e poluição das vias (Tucci *et al.*, 2015; Ferreira, 2008).

Os poluentes depositados na superfície da bacia de drenagem durante o período seco incorporam-se ao fluxo do escoamento superficial no período chuvoso, sendo transportados até as áreas receptoras. O processo descrito anteriormente é denominado *washoff* ou lixiviação e é influenciado por fatores como intensidade e volume de chuva, rugosidade do terreno e características do poluente (Ferreira, 2008; Goonetilleke e Thomas, 2003).

A remoção inicial do material acumulado no período entre chuvas, tanto sobre as superfícies quanto no interior das canalizações, é denominada de *first flush* ou primeira carga de lavagem. Devido a esse processo, o pico do polutograma, gráfico que relaciona a variação temporal da concentração de poluentes no escoamento superficial, ocorre, em geral, antes do pico das vazões, indicando que a maior parte da carga poluidora está concentrada no volume inicial escoado (Prodanoff, 2005).

Salgado (2013) realizou a caracterização da qualidade e quantidade das águas e cargas poluidoras do córrego Botafogo, em Goiânia/GO, nos períodos seco e chuvoso. Verificou-se que a DBO, DQO, turbidez e sólidos totais foram bons parâmetros indicadores de primeira carga de lavagem.

Righetto *et al.* (2017) observaram correlações estatisticamente significativas entre o número de dias antecedentes secos e os parâmetros DQO e fósforo total. Nesse mesmo estudo, de nove eventos monitorados, o fenômeno *first flush* foi detectado, por meio de curvas M(V),

em cinco para sólidos totais, sete para sólidos suspensos totais, seis para DQO e em somente três para o parâmetro fósforo total.

3.3 GESTÃO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

O planejamento ou gerenciamento de sistemas de drenagem urbana implica na administração de um problema de alocação de espaço (Sheaffer e Wright, 1982 *apud* Canholi, 2014), tendo em vista que a urbanização desordenada e o uso inadequado do solo provocam redução da capacidade de armazenamento natural dos escoamentos e esses, portanto, demandarão a ocupação de outros locais (Canholi, 2014).

O planejamento e a gestão do uso do solo, a infraestrutura urbana que envolve as águas urbanas, as metas dos serviços tais como conservação do meio ambiente e qualidade de vida e os aspectos institucionais como legislação e gerenciamento dos serviços correspondem aos principais componentes da estrutura de gestão das águas pluviais (GDF, 2009).

A Lei de Saneamento Básico nº 11.445 de 2007 estabelece que a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, bem como a limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas, correspondem ao conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

No DF, a empresa que tem a responsabilidade de avaliação, fiscalização e manutenção dos projetos de drenagem urbana é a Novacap. Esses projetos, por interferirem no meio ambiente e nos recursos hídricos, estão sujeitos à aprovação e fiscalização por parte do IBRAM e regulação por parte da Adasa. Ambos os órgãos, IBRAM e Adasa, estão vinculados à Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal (SEMA), enquanto que a CAESB, o SLU (Serviço de Limpeza Urbana) e a Novacap, à antiga Secretaria de Obras, atual Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos – Sinesp.

Ressalta-se a importância da integração entre a prática de manejo das águas pluviais urbanas e os serviços de limpeza pública e do sistema de drenagem, pois a falta ou deficiência do último interfere diretamente no funcionamento dos sistemas de micro e macrodrenagem, contribuindo para alagamentos e assoreamento dos corpos hídricos receptores. Silva (2013)

avaliou a produção de resíduos sólidos em locais do DF e o impacto dessa sobre as redes de águas pluviais, sendo observada a predominância de resíduos finos (matéria orgânica, silte, areia e argila) em todas as bocas de lobo analisadas.

Existem várias soluções técnicas para o controle de cheias urbanas, podendo essas serem classificadas em estruturais e não estruturais. As medidas estruturais envolvem a construção de obras físicas tais como redes de galerias de águas pluviais, retificação e canalização de corpos d'água, reservatórios ou bacias de detenção/retenção, diques, etc. As chamadas soluções não estruturais possuem um caráter preventivo, de forma a promover uma melhor convivência da população com as cheias, e incluem medidas como o zoneamento urbano, sistemas de alerta e previsão de inundações e seguro enchente. No presente estudo, será dado enfoque no método de controle de cheias baseado nas bacias de detenção.

Os projetos tradicionais de drenagem urbana têm como princípio a rápida evacuação das águas pluviais do meio urbano, de forma evitar transtornos à população. Entretanto, faz-se necessário estabelecer princípios de controle de cheias que considerem que o aumento da vazão devido à impermeabilização não deve ser transferido para jusante.

A limitação do sistema tradicional, também chamado clássico, originou uma nova forma de gestão das águas pluviais, na qual o manejo destas é tratado juntamente com o ordenamento urbano, formando um conjunto de práticas denominadas compensatórias. Tais práticas visam promover a infiltração de águas pluviais e o aumento do tempo de trânsito, com seu armazenamento temporário (Baptista *et al.*, 2011; Milograna, 2009).

No DF, por meio da Resolução nº 9, de 08 de abril de 2011, a Agência Reguladora de Águas (Adasa), determinou que as águas precipitadas sobre os terrenos devem, preferencialmente, sofrer devida contenção e retardamento antes de serem conduzidas para redes de drenagem. A agência também estabeleceu que o lançamento de águas pluviais em corpo hídrico superficial não deve ultrapassar a vazão específica de 24,4 L/(s.ha).

Outro aspecto abordado pela respectiva Resolução é o emprego de reservatórios de qualidade e quantidade, com o objetivo de promover a manutenção da qualidade e quantidade da água do corpo hídrico receptor. Os reservatórios de qualidade são responsáveis por reter o volume de água originado pelo escoamento superficial com o objetivo de reduzir a carga poluente,

enquanto que os reservatórios de quantidade têm por função principal a retenção de água, reduzindo assim as vazões de pico.

É válido ressaltar que, atualmente, existem resoluções como a CONAMA 357/2005, complementada pela Resolução 430/2011, que estabelecem diretrizes para o enquadramento de corpos d'água e lançamento de efluentes nesses. Entretanto, não existem regulamentações específicas estabelecendo condições e padrões para o lançamento de águas pluviais nos corpos hídricos receptores.

3.3.1 Bacias de Detenção

As bacias de detenção constituem medidas estruturais de manejo de águas pluviais, sendo utilizadas com frequência em áreas com urbanização consolidada. São estruturas de acumulação temporária e/ou de infiltração de águas pluviais, atendendo a três funções principais, que são: amortecimento de cheias urbanas como forma de controle de inundações; eventual redução de volumes escoados superficialmente, no caso de bacias de infiltração; e, redução da poluição difusa de origem pluvial (Baptista *et al.*, 2011).

Os objetivos de amortecimento de cheias e tratamento das águas drenadas são, por muitas vezes, conflitantes, tendo em vista que o tempo necessário para atingir níveis satisfatórios de remoção de poluentes é muito superior ao tempo exigido para controle do pico de vazões (Berque & Ruperd, 2000 *apud* Assunção, 2012).

Outras funções para as quais os reservatórios de contenção são empregados são: aspectos estéticos, por meio da criação de espelhos d'água; aspectos recreativos, com o devido monitoramento da qualidade da água; redução da sobrecarga de galerias pluviais; reservação de água para diversos fins, tais como irrigação e controle de incêndios; e, recarga de aquíferos (Assunção, 2012).

Há, comumente, uma distinção entre bacias de detenção e retenção, ora por suas finalidades, ora pela possibilidade de operação de seus dispositivos de saída. Em suma, as bacias de retenção mantêm a água drenada estocada por um longo período, de forma a promover a melhora da qualidade da água por meio da sedimentação de partículas em suspensão. Operam, usualmente, com os dispositivos de saída fechados durante o evento chuvoso. As

bacias de detenção, por sua vez, retêm a água drenada por período relativamente curto, permanecendo o dispositivo de saída (descarga de fundo) em operação durante todo o evento (Baptista *et al.*, 2011).

Além da distinção acima apresentada, as bacias podem ser classificadas quanto à forma, aos usos e à posição em relação ao sistema de drenagem. Quanto à forma, as bacias podem ser a céu aberto ou enterradas. As bacias a céu aberto se subdividem em: com espelho d'água permanente, secas – só armazenam água durante eventos chuvosos – e, de zonas úmidas. Quanto aos tipos, as bacias secas podem ser de fundo impermeabilizado ou não impermeabilizado e de infiltração, sendo essa última destinada a infiltrar todo o volume escoado superficialmente. Quanto à posição em relação ao sistema de drenagem, são classificadas em *in line*, quando a bacia está situada em série com a linha principal de drenagem, e *off line*, quando está em paralelo (Baptista, 2011; Assunção, 2012).

No aspecto qualitativo, a taxa de remoção de sólidos por bacias de detenção com espelho d'água permanente tende a superar a de bacias secas. Além disso, há a questão da morfologia das bacias que, de acordo com Von Sperling *et al.* (2006), influencia em suas capacidades assimiladoras de nutrientes. A Tabela 3.1 apresenta uma comparação entre três diferentes tipos de bacia de detenção no que se refere à eficiência na remoção de poluentes das águas pluviais.

Tabela 3.1 – Comparação da porcentagem de remoção de poluentes por diferentes tipos de bacias de detenção (Iowa, 2009).

Tipo	SS	Nitrogênio	Fósforo	Chumbo	Zinco	DBO
Detenção seca	50-80	0 (dissolvido) 10-30 (total)	0 (dissolvido) 10-50 (total)	35-80	35-70	20-40
Detenção com espelho d'água permanente	70-85	50-70 (dissolvido) 30-40 (total)	50-70 (dissolvido) 50-65 (total)	25-85	25-85	20-40
Bacia de infiltração	60-98	60-98 (total)	60-98 (total)	60-98	60-98	N/A

Troitsky *et al.* (2019) e Walker (1987) sustentam a afirmativa de que bacias de detenção/retenção secas não são tão eficientes na remoção de nutrientes quanto àquelas com espelho d'água permanente. De acordo com Walker (1987), a presença constante de água no interior da estrutura permite que o tratamento (sedimentação, adsorção e absorção) ocorra durante os períodos entre chuvas; aumenta a eficiência da sedimentação, reduzindo o atrito

com o fundo da bacia durante a dissipação da energia do escoamento; e, cria um habitat para algas e outras plantas aquáticas que auxiliam na remoção de poluentes dissolvidos na água.

De acordo com Birch *et al.* (2006), bacias de detenção e retenção se mostram eficientes na remoção de contaminantes como metais e nutrientes associados a partículas sólidas advindos de ruas e estradas. A redução dos poluentes nessas estruturas se dá principalmente por meio da sedimentação, estando a eficiência de remoção vinculada ao tempo de residência e à proporção do volume anual de escoamento pluvial detido efetivamente pela bacia.

Quanto ao maior volume de detenção em uma bacia, este é associado à duração de uma chuva crítica. Essa duração de chuva igualada ao tempo de concentração produz a maior vazão, mas não necessariamente o maior volume. Para definir de forma direta o máximo volume de detenção, em função da frequência (tempo de retorno) e da vazão efluente, é necessária a definição objetiva do tempo de duração da chuva crítica (Franco, 2004).

O bom funcionamento e a vida útil das bacias de detenção estão diretamente relacionados aos critérios operacionais e às medidas de manutenção adotadas. Os custos e facilidades de manutenção de todas as estruturas presentes em uma determinada bacia de detenção devem ser levados em consideração desde a fase de planejamento (Assunção, 2012).

As atividades de manutenção podem ser divididas em preventivas (controle do desenvolvimento de vegetação aquática, melhoria dos serviços de coleta de resíduos sólidos e de limpeza urbana, etc.) e corretivas (limpeza do corpo d'água, correção de estruturas hidráulicas defeituosas, etc.). Von Sperling *et al.* (2006) recomendam o esvaziamento e dragagem periódicos de bacias de detenção/retenção, a cada dez anos, por exemplo, como forma de combater o assoreamento das mesmas. Além disso, é necessária a previsão de acessos ao fundo da bacia e a seus dispositivos de entrada e saída, permitindo a entrada de caminhões e escavadeiras (Baptista *et al.*, 2011).

A seguir são apresentados, sucintamente, alguns estudos que tiveram por objetivo analisar aspectos de bacias de detenção.

Luk (1999) avaliou o desempenho quantitativo e qualitativo de três modelos de bacias de detenção que apresentam dupla funcionalidade (abatimento do pico da vazão e melhora da

qualidade da água) por meio da modelagem com o programa SWMM. Os modelos desenvolvidos por Akan (1992), Griffin *et al.* (1980) e Hartigan (1988) foram testados e comparados na bacia hidrográfica de Emery Creek, na região metropolitana de Toronto. O método de Akan (1992), para determinação do volume de retenção, é fundamentado em processo adimensional de roteamento hidrológico. O modelo proposto por Griffin *et al.* (1980) consiste em um método racional de dimensionamento baseado na retenção de fração pré-determinada de carga de poluentes. O modelo de Hartigan (1988) utiliza método de dimensionamento baseado em eutrofização de lago, onde uma bacia de retenção alagada é representada por um modelo empírico e somente a remoção de nutrientes é considerada. No estudo, o modelo de Hartigan (1988) apresentou melhor desempenho em termos de quantidade e qualidade, entretanto, o método de Griffin *et al.* (1980) também se mostrou aceitável para casos onde há restrições econômicas e de espaço.

Porto (2003) desenvolveu um método gráfico, baseado em cinco parâmetros adimensionais, para a análise preliminar de dimensionamento de uma bacia de retenção que apresenta dois dispositivos de saída, um orifício e um vertedor retangular. A metodologia proposta se mostrou precisa, de dimensionalidade reduzida, capaz de representar diversas situações práticas bem como atender à análise de verificação em estruturas já existentes.

Franco (2004) desenvolveu uma proposta, baseada no método racional, para determinação da duração da chuva crítica para o dimensionamento de bacias de retenção de águas pluviais. A metodologia desenvolvida foi aplicada à bacia hidrográfica do rio Ressaca, na Região Metropolitana de Curitiba/PR, e o resultado comparado com o método do hidrograma unitário do SCS. Apesar da simplicidade, o método proposto ofereceu resultados precisos para bacias de áreas até a ordem de 10 km² e tempos de retorno superiores a 5 anos.

Assunção (2012) também propôs uma metodologia de cálculo de volumes de retenção baseada no método racional, utilizando parâmetros da curva Intensidade-Duração-Frequência. O método proposto foi aplicado à bacia do córrego Andrezinho, em Pirassununga/SP, apresentando bons resultados para uma área de drenagem pequena e urbana.

Campana *et al.* (2007) analisaram a eficiência de duas bacias de retenção, uma seca e outra alagada, localizadas na cidade de Brasília – DF. Observou-se redução média das vazões de

pico em 62,6% e 74%, para a bacia de retenção seca e alagada, respectivamente. Quanto às concentrações de poluentes, constataram-se valores médios de redução entre 1 a 3% para DBO e 41 a 74% para sólidos suspensos.

Birch *et al.* (2006) avaliou qualitativamente a eficiência de uma bacia de retenção/detenção localizada próxima a uma rodovia em Sydney – Austrália. A estrutura estudada apresentou eficiência moderada na remoção de partículas em suspensão, metais (Cu, Mn, Pb e Zn), nitrogênio (NTK e NT) e coliforme fecais, apresentando alta variabilidade dos dados analisados.

3.4 MONITORAMENTO EM DRENAGEM URBANA

O monitoramento consiste no acompanhamento quantitativo e qualitativo, no tempo e no espaço, de um determinado sistema, obtendo, através de pontos de amostragem, dados sobre as variáveis medidas. Segundo Almeida (2013), o efetivo gerenciamento dos recursos hídricos envolve a constante e simultânea avaliação da quantidade e qualidade da água, de forma a conhecer adequadamente o estado dos recursos hídricos, seu potencial e os possíveis problemas agregados de contaminação e poluição.

De acordo com Gomes (2004), para a caracterização das águas de drenagem pluvial devem ser monitorados, além da vazão escoada, os seguintes parâmetros qualitativos: DBO, DQO, fósforo, nitrogênio, coliformes, sólidos em suspensão, metais e óleos e graxas. Garcia (2005) enfatiza a importância da aquisição de dados hidráulicos e hidrológicos, qualitativos e quantitativos, de boa qualidade para a aplicação na modelagem de sistemas de drenagem urbana.

O monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos tem sido feito, tradicionalmente, de forma distinta e separada. Entretanto, há uma forte inter-relação entre os aspectos de quantidade e qualidade da água, de maneira que esses precisam ser tratados de forma integrada no monitoramento. O conhecimento da vazão em período de estiagem é de suma importância para o controle da qualidade da água no corpo hídrico, tendo em vista que, nesta época, aumenta-se a vulnerabilidade à poluição por meio de cargas pontuais. No período chuvoso, as maiores vazões promovem a diluição das cargas pontuais e ocorre o aparecimento de cargas difusas (Righetto, 2009).

O tamanho da área de drenagem e os diferentes tipos de uso e ocupação do solo são fatores fundamentais na determinação do tipo de monitoramento, frequência e localização de pontos de medição. Costa (2013) sugere a coleta de no mínimo seis amostras de qualidade da água, durante 30 min de escoamento, para a representação de um evento chuvoso em ambiente urbano. Browne (1999) afirma que, para o apropriado monitoramento de cargas difusas em áreas urbanas, geralmente são necessárias ao menos quatro amostras no período de ascensão do hidrograma e seis no período de recessão. A Tabela 3.2 apresenta diretrizes para a definição do intervalo de medição em função do tamanho da bacia e do seu grau de permeabilidade.

Tabela 3.2 – Intervalos máximos de medição para a qualidade da água (Adaptado: Browne, 1999).

Área de contribuição (ha)	Intervalo máximo de medição (min)	
	Altamente Impermeável	Altamente Permeável
20	3	4
40	4	7
240	7	20
1200	15	30

Segundo Sanders *et al.* (1983), a localização dos pontos de amostragem é, provavelmente, o fator mais crítico em uma rede de monitoramento de qualidade de água. Caso as amostras coletadas não sejam representativas da massa de água, a frequência de amostragem bem como o modo de interpretação e apresentação dos dados se tornam irrelevantes.

De acordo com Rickert (1991) *apud* Prodanoff (2005), existem quatro razões principais para a coleta de dados de qualidade de água, sendo elas: atingir objetivos sociais (proteção da vida aquática, da saúde humana e de outras classes de uso de água); dar suporte à análise de decisão regulatória (planejamento, gerenciamento, outorgas de uso de água, estabelecimento de padrões e critérios, etc.); definir problemas emergentes ou existentes da qualidade de água (erosão/assoreamento, eutrofização, compostos tóxicos, entre outros); e, permitir o avanço da compreensão científica (definição das condições naturais da qualidade da água, do status atual, das mudanças ou tendências, das causas e efeitos dos problemas de qualidade da água, etc.).

Ao se estruturar um programa de monitoramento, deve-se ter de forma bem clara quais são os objetivos a serem alcançados, de maneira a se obter redes representativas que otimizem a relação custo-benefício. Portanto, um bom projeto de rede de monitoramento é aquele que permite a obtenção de dados confiáveis a custos menores, dentro do objetivo proposto.

A frequência de amostragem é parte fundamental do projeto de redes de monitoramento. Lima (2004) afirma que a frequência fixa de amostragem, usualmente empregada, não é necessariamente a mais adequada, pois pode induzir a erros de avaliação por não considerar as flutuações de vazões ou de qualidade da água. Sendo assim, Lima (2004) considera que o incremento na frequência de amostragem em eventos transientes, tais como períodos chuvosos, é válida para o conhecimento do comportamento das águas superficiais nessas situações.

3.5 MODELAGEM COMPUTACIONAL

Os modelos computacionais são ferramentas muito úteis no gerenciamento das águas pluviais urbanas. Podem ser utilizados na fase de planejamento e de detalhamento de projeto, no caso de manutenção corretiva em que seja necessário realizar obras complementares e na simulação de cenários para a avaliação do comportamento de um sistema de drenagem submetido a determinadas condições de precipitação e uso e ocupação do solo (Righetto, 2009; Canholi, 2014).

De acordo com Tucci (1998), os modelos hidrológicos são ferramentas que auxiliam na compreensão e representação do comportamento de uma bacia hidrográfica, possibilitando a previsão de condições diferentes das observadas. Relacionam os diversos processos físicos observados na natureza como, por exemplo, precipitação, infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial, possibilitando, a partir do conhecimento de algumas variáveis (entradas) envolvidas no processo, a obtenção de outras de interesse (saídas) (Beling, 2013).

A realização de uma modelagem precisa contribui para um melhor entendimento do funcionamento das estruturas em estudo, no caso, bacias de detenção, reduzindo custos de monitoramento e auxiliando no desenvolvimento de projetos futuros mais eficientes (Troitsky *et al.*, 2019).

Os modelos utilizados no gerenciamento dos recursos hídricos podem ser classificados em modelos de comportamento, utilizados para descrever o funcionamento do sistema; modelos de otimização, usados para a obtenção das melhores soluções de projeto; e, modelos de planejamento, que buscam soluções hidráulicas, hidrológicas e econômicas, abrangendo também considerações socioeconômicas e ambientais do sistema (Tucci, 1998).

Os modelos hidrológicos podem ser classificados de diversas formas. Quanto ao tipo de variável, podem ser determinísticos, quando é desconsiderado o conceito de probabilidade, ou estocásticos, quando as variáveis do modelo apresentam comportamento aleatório. Quanto às relações existentes entre as variáveis envolvidas, os modelos se classificam em conceituais, baseados em processos físicos, ou empíricos, baseados em relações empíricas estimadas, obtidas da correlação de dados observados. Quanto à estrutura de discretização da bacia, se classificam em concentrados, quando a bacia é considerada homogênea e suas variáveis não apresentam variabilidade espacial, ou distribuídos, quando as variáveis e parâmetros do sistema variam espacialmente em função das características da bacia. Por fim, os modelos podem ser contínuos, quando os fenômenos são representados continuamente no tempo, ou discretos, quando as mudanças de estado são representadas em intervalos de tempo discretos (Tucci, 1998; Collodel, 2009).

Os procedimentos de análise de sensibilidade e calibração são comumente utilizados na modelagem computacional. A análise de sensibilidade consiste na investigação de quanto sensível é o resultado do modelo às mudanças no valor de um determinado parâmetro. Pode ser utilizada também na verificação da influência de outros aspectos como condições iniciais ou de contorno. A calibração, por sua vez, corresponde a um processo de estimativa e ajuste dos parâmetros do modelo de forma a aproximar seus resultados aos valores observados (Wagener *et al.*, 2004; Shinma, 2015).

Os modelos de simulação de drenagem urbana são compostos, basicamente, por dois módulos sequencialmente conectados: o módulo hidrológico, responsável pela transformação da precipitação em escoamento superficial, e o módulo hidráulico, encarregado de propagar o escoamento através das redes de condutos e canais do respectivo sistema de drenagem (Shinma, 2015). O modelo hidráulico-hidrológico SWMM, empregado nesta dissertação, é descrito a seguir.

3.5.1 *Storm Water Management Model – SWMM*

O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um modelo dinâmico de chuva-vazão utilizado para simular a quantidade e qualidade do escoamento superficial, primordialmente, em áreas urbanas. Permite a simulação tanto de evento chuvoso único quanto de longo prazo (contínuo). Foi desenvolvido em 1971 pela *Environmental Protection Agency* – EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), recebendo diversas atualizações desde então (Rossman, 2015). A segunda versão do modelo foi lançada em 1975 e a terceira, em 1981. A quarta versão, lançada em 1988, dividia-se em nove módulos, sendo quatro módulos computacionais ou de simulação (*Runoff, Transport, Extran* e *Storage/Treatment*) e cinco módulos de serviço (*Statistics, Graph, Combine, Rain* e *Temperature*), além do módulo executivo (Beling, 2013).

Os módulos computacionais *Runoff, Transport, Extran* e *Storage/Treatment* eram responsáveis, respectivamente, pela transformação da chuva em vazão; pelo transporte do escoamento na rede de drenagem, pela qualidade e infiltração; pela modelação hidrodinâmica em condutos e canais; e, pela simulação de processos de tratamento e armazenamento de águas pluviais (Righetto, 2009).

O programa comercial PCSWMM, desenvolvido pela empresa canadense *Computational Hydraulics International* – CHI, utiliza o software SWMM, integrando-o em ambiente de geoprocessamento, sendo assim uma interface amplamente adotada em estudos de gestão de águas pluviais (Tominaga, 2013; Costa, 2013; Beling, 2013; Souza, 2014).

O modelo SWMM simula eventos chuvosos reais com base em dados de precipitação (hietograma) e outras informações meteorológicas, além de considerar as características do sistema (captação, transporte, armazenamento/tratamento), para prever os resultados relativos à quantidade e qualidade do escoamento (Huber & Dickinson, 1992). Consiste num modelo físico, distribuído, de simulação temporal discreta, onde a bacia hidrográfica é representada por um conjunto de sub-bacias hidrográficas e canais/condutos (Beling, 2013).

A quinta versão do SWMM, lançada em 2004, passou a ser estruturada em módulos descritores do ambiente. O módulo Atmosférico é responsável pela precipitação e depósito dos poluentes sobre a superfície do solo; o módulo Superfície do Solo recebe a precipitação

do módulo Atmosférico sob a forma de chuva ou neve e exporta o fluxo de água para os módulos de Águas Subterrâneas e Transporte por meio da infiltração e do escoamento superficial, respectivamente; o módulo de Águas Subterrâneas recebe a infiltração e transfere parte desta para o módulo de Transporte; e, por fim, o módulo de Transporte, por meio de uma rede de elementos de transporte (canais, tubulações, bombas e elementos reguladores) e unidades de armazenamento e/ou tratamento, transporta a água para os exutórios ou para as estações de tratamento (Rossman, 2015). Os módulos descritos anteriormente estão esquematizados na Figura 3.2.

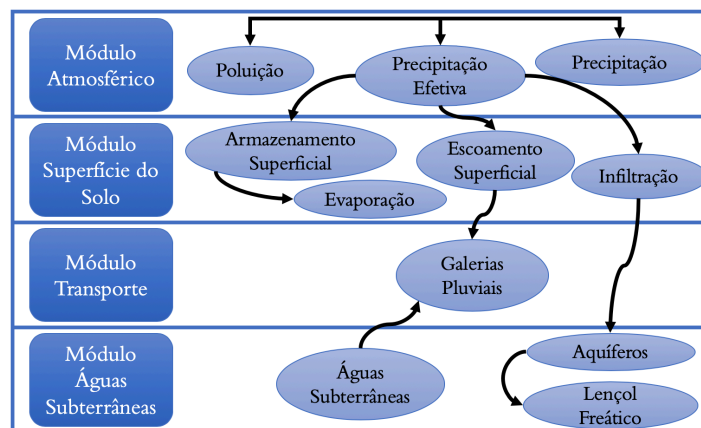


Figura 3.2 – Fluxograma explicativo dos módulos do SWMM (Adaptado: Souza, 2014).

Para a simulação no SWMM, a área de estudo deve ser dividida em sub-bacias, que são áreas menores com características homogêneas. Cada sub-bacia é dividida em áreas permeáveis e impermeáveis. Para o cômputo do escoamento superficial no modelo, cada sub-bacia é tratada como um reservatório não linear (Figura 3.3). A capacidade deste reservatório corresponde ao valor máximo do armazenamento em depressões, isto é, valor máximo armazenável à superfície por alagamento, encharcamento e interceptação. O escoamento superficial por unidade de área “ q ” ocorre quando a profundidade “ d ” da água neste reservatório excede o valor máximo do armazenamento em depressões “ d_p ”, sendo o valor de “ q ” calculado pela equação de Manning (Rossman, 2015).

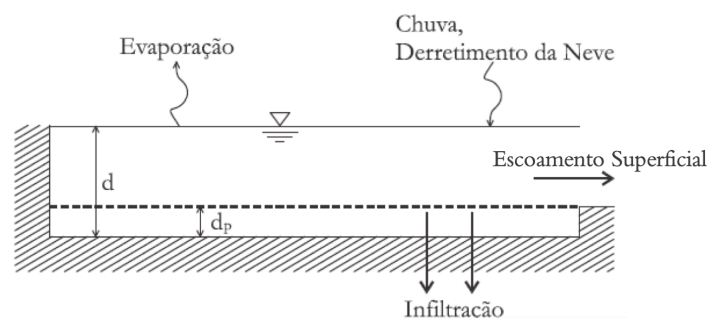


Figura 3.3 – Fenômeno de escoamento superficial no SWMM (Rossman, 2010).

Para a modelagem da infiltração, o SWMM apresenta três métodos distintos: equação de Horton, método de Green-Ampt e método SCS. Este último, devido a sua simplicidade, é um método muito empregado (Costa, 2013; Souza, 2014; Buahin & Horsburgh, 2015; Rosa, 2017), exigindo apenas um único parâmetro: o CN ou Curva Número. Pelo método do SCS, a precipitação efetiva é determinada pela Equação 3.1. O parâmetro S_{max} é dado pela Equação 3.2. Observando essas duas equações, nota-se que o método SCS depende unicamente da determinação do CN, que por sua vez depende do grupo hidrológico do solo, das condições antecedentes de umidade do solo e do uso e ocupação do solo.

$$P_e = \frac{(P - 0.2S_{max})^2}{P + 0.8S_{max}} \quad \text{Equação 3.1}$$

Em que:

P_e – Precipitação efetiva (mm);

P – Precipitação total (mm);

S_{max} – Potencial máximo de retenção (mm).

$$S_{max} = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 3.2}$$

O transporte do escoamento em um conduto é simulado, no SWMM, pelas equações de Saint Venant, podendo ser escolhido o grau de sofisticação usado na solução das mesmas: regime uniforme, onda cinemática e onda dinâmica. O modelo de fluxo em regime uniforme corresponde ao mais simples tipo de transporte hidráulico. Ele simplesmente transfere o hidrograma de entrada no nó de montante do conduto para o nó de jusante, sem atraso ou mudança em sua forma, sendo apropriado apenas para análises preliminares usando simulações contínuas de longo prazo. Escoamentos em regime uniforme não apresentam variação no tempo (Tabela 3.3).

O modelo da onda cinemática resolve a equação da continuidade juntamente com uma forma simplificada da equação da quantidade de movimento em cada um dos condutos. Nesse modelo, entretanto, efeitos como ressalto hidráulico, perdas nas entradas e saídas, remanso e fluxo pressurizado não podem ser simulados. Caso os efeitos mencionados anteriormente não estejam presentes no sistema ou não sejam significativamente importantes, o modelo da

onda cinemática é uma opção suficientemente precisa e eficiente para a modelagem do transporte com tempos longos de simulação.

O modelo da onda dinâmica resolve as equações unidimensionais completas de Saint Venant e, portanto, produz os resultados mais acurados. Permite o armazenamento em condutos, o ressalto hidráulico, perdas nas entradas e saídas, remanso e fluxo pressurizado. Nas simulações, são utilizados pequenos intervalos de tempo, menores que 1 minuto, para manter a estabilidade numérica da análise. (Rossman, 2015). A equação da continuidade é aplicada aos nós para a definição da carga enquanto a equação da quantidade de movimento, aos condutos para a vazão (Roesner *et al.*, 1992). A Tabela 3.3 apresenta os modelos descritos anteriormente para o cálculo de escoamento no SWMM com suas respectivas equações.

Além de modelar a geração e o transporte de fluxos de escoamento superficial, o SWMM também é capaz de representar a acumulação, lavagem, transporte e tratamento de diversas cargas de poluentes associadas a esse escoamento como, por exemplo, sólidos em suspensão, metais, coliformes, matéria orgânica e inorgânica (DBO e DQO) (Rossman, 2015; Beling, 2013). Os processos de acumulação e lixiviação de poluentes são dependentes dos tipos de usos do solo atribuídos às áreas de cada uma das sub-bacias. Os usos do solo compreendem categorias de atividades desenvolvidas (residencial, comercial, industrial ou sem ocupação) ou características superficiais do solo (telhados, gramados, pavimentos, solos sem uso, entre outros).

Tabela 3.3 – Cálculos de escoamento no SWMM (Adaptado: Costa, 2013).

Modelo	Equações
Regime Uniforme	$\frac{\partial}{\partial t} = 0$
Onda Cinemática	Equação da Continuidade: $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$ Eq. Simplificada da Quantidade de Movimento: $gAS_f - gAS_0 = 0$
Onda Dinâmica	Equação da Continuidade: $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$ Eq. da Quantidade de Movimento: $\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAS_f - gAS_0 = 0$

O modelo de qualidade da água do SWMM considera que o interior do conduto se comporta como um tanque de mistura com fluxo permanente. A concentração de um determinado poluente no final de um conduto é obtida por meio da integração da equação de conservação de massa, utilizando valores médios para as grandezas que variam ao longo do tempo como, por exemplo, vazão e volume de água no conduto. A modelagem da qualidade da água no interior dos nós de armazenamento segue o mesmo princípio utilizado nos cálculos em condutos. Já para outros tipos de nós, que não apresentam volume, a qualidade da água na saída do nó corresponde à concentração das misturas de água que entram nesse mesmo nó (Rossman, 2015).

A acumulação corresponde ao processo de deposição de poluentes sobre a superfície do solo durante os períodos sem precipitação na bacia. A quantidade de poluente acumulada sobre o solo é determinada com base no número de dias sem precipitação antecedentes à chuva, podendo ser calculada, no SWMM, por meio de três relações matemáticas, descritas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Métodos de cálculo da acumulação de poluentes (Adaptado: Rossman, 2015).

Método	Descrição	Equação	Variáveis
Função Potência	Acumulação do poluente (B) é proporcional ao tempo (t) elevado a uma potência, até que se alcance um determinado valor máximo.	$B = \text{Min}(C_1, C_2 t^{C_3})$	C_1 : acumulação máxima possível (ML^{-2}); C_2 : constante de crescimento do poluente acumulado; C_3 : expoente do tempo.
Função Exponencial	Acumulação segue um crescimento exponencial que se aproxima assintoticamente a um determinado valor máximo.	$B = C_1 (1 - e^{-C_2 t})$	C_1 : acumulação máxima possível (ML^{-2}); C_2 : constante de crescimento do poluente acumulado.
Função Saturação	A acumulação se inicia de forma linear e gradativamente diminui ao longo do tempo até alcançar um determinado valor de saturação.	$B = \frac{C_1 t}{C_2 + t}$	C_1 : acumulação máxima possível (ML^{-2}); C_2 : constante de semi-saturação (nº de dias necessários para alcançar a metade da máxima acumulação possível).

A lixiviação ou lavagem de poluentes consiste no processo pelo qual o poluente depositado na superfície da bacia durante o período seco antecedente à chuva é incorporado ao fluxo do

escoamento superficial. Este fenômeno está diretamente relacionado com a intensidade e a duração do evento chuvoso (Ferreira, 2008). Durante um evento de precipitação, a superfície molhada atua dissolvendo e solubilizando os poluentes disponíveis, os quais são transportados pelo sistema de drenagem até atingir os corpos d'água (Silva, 2014). O processo de lixiviação é calculado no SWMM das seguintes formas expressas na Tabela 3.5.

O modelo SWMM tem sido aplicado em diversos estudos de redes de drenagem de água pluvial, sendo algumas aplicações típicas a concepção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem para controle de inundações; dimensionamento de estruturas de retenção e seus acessórios para o controle de inundações e proteção da qualidade da água; e, avaliação da eficácia de medidas alternativas na redução de carreamento de poluentes durante as chuvas (Huber *et al.*, 2005).

Tabela 3.5 – Método de cálculo da lixiviação de poluentes (Adaptado: Rossman, 2015).

Método	Descrição	Equação	Variáveis
Lixiviação Exponencial	Carga lixiviada W (MT^{-1}) é proporcional ao produto do escoamento elevado a uma potência, pela quantidade de agente poluente ainda acumulado.	$W=C_1q^{C_2}B$	C_1 : coeficiente de lixiviação; C_2 : expoente de lixiviação; q : escoamento por unidade de área (LT^{-1}); B : acumulação do agente poluente.
Curva de Taxa de Lixiviação	Taxa de lixiviação W é proporcional à vazão de escoamento, elevado a uma potência.	$W=C_1Q^{C_2}$	C_1 : coeficiente de lixiviação; C_2 : expoente de lixiviação; Q : escoamento.
Concentração Média do Evento	Caso especial da Curva de Taxa de Lixiviação.	$W=C_1Q^{C_2}$	C_1 : concentração de poluente lixiviado (massa/litro); C_2 : expoente igual a 1.

A disponibilização do *software* de maneira livre, com seu código fonte, juntamente com a ampla documentação existente sobre a aplicação do SWMM em uma série de situações, especialmente em estudos de drenagem pluvial, bem como os bons resultados obtidos nos diversos estudos que utilizaram o modelo SWMM fomentaram a escolha desse para o trabalho em questão. A seguir, são apresentados sucintamente alguns estudos desenvolvidos com a utilização do SWMM.

Garcia (2005) avaliou o modelo SWMM na bacia hidrográfica do Arroio Cancela, em Santa Maria/RS, sendo realizada a calibração e a análise de sensibilidade do modelo. Foram considerados dois níveis de discretização da bacia: detalhada (dezoito sub-bacias) e simplificada (seis sub-bacias). Na calibração, obteve-se um coeficiente de correlação (R) médio de 0,95 e 0,94 para as discretizações detalhada e simplificada, respectivamente. A porcentagem de áreas impermeáveis e o coeficiente de rugosidade de Manning foram os parâmetros que apresentaram maior sensibilidade na modelagem da bacia.

Collodel (2009) propôs e avaliou onze diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica do Córrego do Gregório, na cidade de São Paulo/SP, empregando o SWMM. Esse detalhamento está associado ao grau de refinamento da malha de drenagem (canais naturais e rede de galerias pluviais). A porcentagem de áreas impermeáveis foi um parâmetro influente tanto sobre a vazão de pico como sobre o volume escoado. O tempo de ocorrência dos picos, por sua vez, não apresentou sensibilidade expressiva a nenhum dos parâmetros. A calibração produziu resultados satisfatórios até mesmo para as configurações mais simplificadas da bacia, com valores do coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NSE) variando entre 0,74 e 0,87.

Beling (2013) modelou quantitativa e qualitativamente a bacia urbana do Arroio Cancela, em Santa Maria/RS. Utilizou-se o pacote de rotinas PEST (*Parameter Estimator*) na calibração dos parâmetros mais sensíveis do SWMM, obtendo valor médio de eficiência de Nash-Sutcliffe de 0,92 para a calibração por eventos do escoamento superficial. Já a calibração e validação dos processos qualitativos foram deficientes, não sendo reproduzida satisfatoriamente a variação das concentrações de SS e DBO₅.

Costa (2013) aplicou o modelo SWMM às sub-bacias do Centro Olímpico e do Iate, localizadas na cidade de Brasília/DF. Constatou-se que o modelo SWMM, após calibração, representou bem eventos chuvosos cujos coeficientes de escoamento são similares. Realizou-se também a modelagem qualitativa de dois parâmetros: DQO e SS. O modelo respondeu satisfatoriamente à simulação das cargas de DQO, porém, os resultados da modelagem de SS foram divergentes.

Tominaga (2013) avaliou o efeito que a implantação de medidas de controle na fonte pode proporcionar no abatimento dos picos de cheia em áreas urbanas densamente ocupadas. A

área de estudo correspondeu à bacia do córrego da Luz, no centro da cidade de São Paulo. As análises das três medidas escolhidas – pavimentos permeáveis, telhados verdes e jardins de chuva – foram feitas utilizando o software PCSWMM. Os cenários avaliados consideraram a situação sem implantação, com implantação individual e implantação combinada das medidas de controle na fonte.

Souza (2014) analisou o comportamento quantitativo e qualitativo das águas de drenagem urbana por meio do monitoramento da precipitação e do escoamento superficial das sub-bacias do Iate Clube e do Centro Olímpico, na cidade de Brasília/DF. Assim como no trabalho de Costa (2013), verificou-se uma resposta menos eficiente do modelo SWMM em simular qualitativamente a área de estudo. Foram avaliados também cenários de implantação de bacias de retenção, onde as bacias instaladas a jusante da rede se mostraram mais eficientes, promovendo reduções entre 10% e 30% do pico de cheia.

Rosa (2017) teve por objetivo avaliar a resposta hidrológica da bacia hidrográfica urbana do córrego do Leitão, em Belo Horizonte/MG, a eventos chuva-vazão em diferentes cenários de uso e ocupação do solo. Realizou-se a modelagem hidrológica por meio do SWMM e a hidráulica pelo modelo HEC-RAS. A calibração foi feita por tentativa e erro e resultou numa média do coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0,72. Durante a calibração, verificou-se a necessidade de aumento da capacidade de infiltração da bacia frente aos parâmetros estimados inicialmente com base na literatura. Portanto, o percentual de áreas impermeáveis e o CN precisaram ser reduzidos.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritas as etapas utilizadas para a concepção do trabalho, que consistiram em: monitoramento quantitativo e qualitativo, tratamento dos dados obtidos e modelagem matemática utilizando o programa SWMM. O fluxograma apresentado na Figura 4.1 esquematiza a metodologia adotada para a concepção do trabalho.

A etapa de monitoramento consistiu na definição dos locais para a instalação dos equipamentos (pluviógrafos, linígrafos e amostradores automáticos), na construção das estruturas que os abrigariam, na aferição e calibração de cada equipamento, instalação desses em campo, promoção de saídas de campo para recolher dados e/ou amostras de água bem como realizar a manutenção dos equipamentos, realização de campanhas para medição de vazão *in loco* na entrada e saída da lagoa de retenção e realização, em laboratório, de análises físico-químicas das amostras obtidas.

O tratamento dos dados consistiu na organização dos dados referentes aos volumes precipitados, às cotas observadas na entrada e saída da lagoa e aos resultados obtidos das análises laboratoriais das amostras de água do escoamento superficial. A partir disso, foi possível elaborar as curvas-chaves para a galeria de entrada e orifício de fundo da lagoa de retenção, os hidrogramas para o período monitorado, construir os hietogramas para cada pluviógrafo, polutogramas, determinar as cargas e as concentrações médias por evento bem como avaliar correlações entre os parâmetros de qualidade.

Para a etapa de modelagem, realizou-se, inicialmente, a caracterização da área de estudo, que envolveu a classificação do uso e ocupação do solo, levantamento de informações sobre a rede de drenagem existente, discretização da área de estudo em sub-bacias e definição das características dessas, determinação dos coeficientes utilizados na modelagem qualitativa, entre outros. Em seguida, procedeu-se à calibração e verificação do modelo.



Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia utilizada para a concepção do trabalho.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo encontra-se inserida na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá, no Distrito Federal, mais precisamente entre as unidades hidrográficas do Riacho Fundo e Lago Paranoá (Figura 4.2). A área drenada pela bacia de detenção possui 7,65 km². A bacia de detenção, por sua vez, está localizada no Parque Ezechias Heringer, na Região Administrativa do Guará – DF, e apresenta área de aproximadamente 24,6 ha.

A bacia de detenção em estudo tem por objetivo amortizar o pico da vazão, diminuindo a energia cinética da água, bem como promover a sedimentação de partículas sólidas presentes nos efluentes líquidos coletados pela rede de drenagem (ArKIS, 2005). O lançamento final da estrutura é realizado no córrego Guará, afluente do córrego Riacho Fundo.

A área do DF abrange sete bacias hidrográficas, sendo elas: Descoberto, Corumbá, São Marcos, Rio Preto, Maranhão, São Bartolomeu e Lago Paranoá. A Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá é formada pelas unidades hidrográficas do Santa Maria/Torto, Bananal, Ribeirão do Gama, Riacho Fundo e Lago Paranoá.

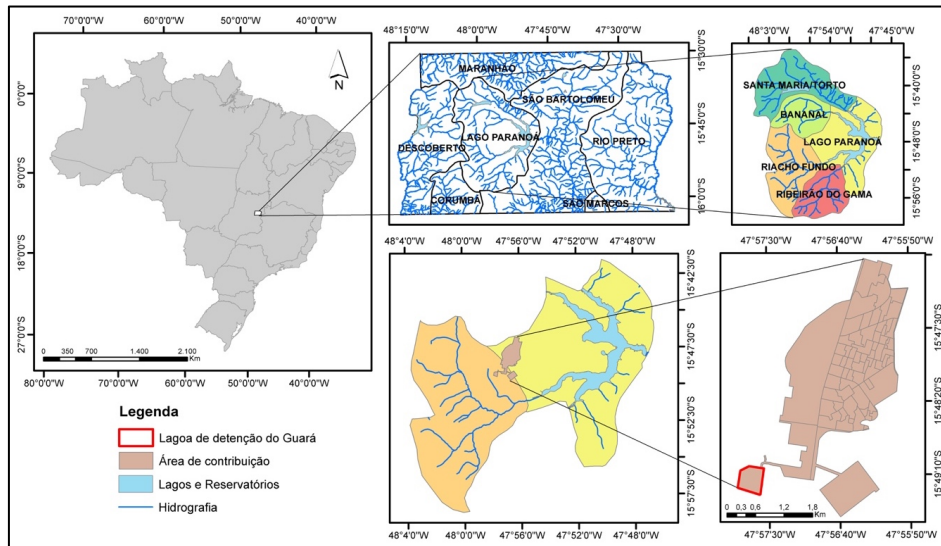


Figura 4.2 – Localização da lagoa de retenção do Guarã e sua área de contribuição.

A lagoa de retenção (Figura 4.3(b)) foi implantada na mesma área de antigas lagoas de estabilização da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, sendo realizados os devidos ajustes para adequar a área ao seu novo fim. A lagoa de estabilização de esgoto que antes ocupava a área (Figura 4.3(a)) foi desativada em 1993, quando a Estação de Tratamento de Esgotos Brasília Sul (ETE Sul) entrou em funcionamento. A lagoa era do tipo australiano, composta por três células anaeróbias seguidas de uma célula maior facultativa. O sistema de lagoas de estabilização constitui-se na forma mais simples de tratamento de esgotos, apresentando como principal objetivo a remoção de matéria carbonácea (Von Sperling, 2002). A obra da lagoa de retenção em estudo foi finalizada em janeiro de 2007, entrando em operação por volta desse período.

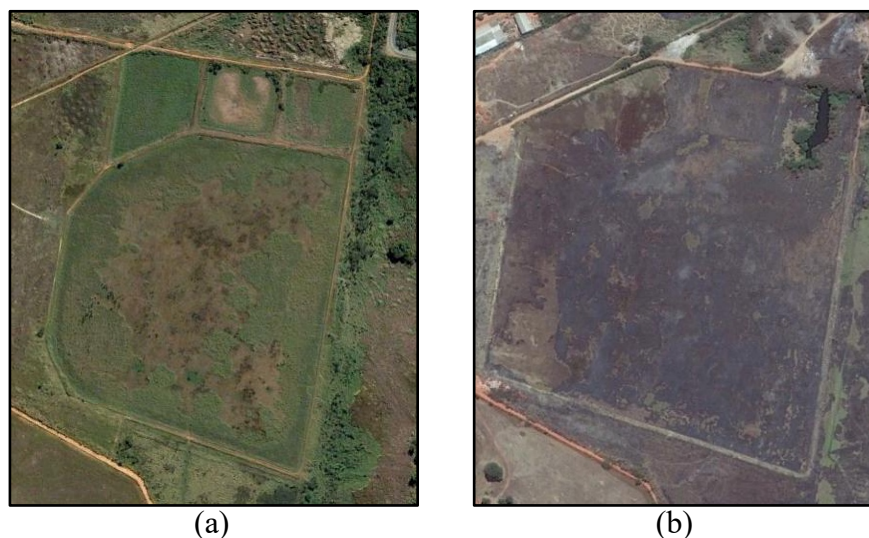


Figura 4.3 – (a) Lagoa de estabilização já desativada em 25/06/2005; (b) Lagoa de retenção em 12/08/2017. Fonte: Google Earth.

A galeria de entrada na bacia de detenção é formada por três células paralelas, cada uma apresentando 2,7 x 2,5 m de seção (Figura 4.4(a)). A estrutura de saída da bacia consiste em um vertedor de 20 m de largura da soleira e uma descarga de fundo de 1 m de diâmetro (Figura 4.4(b)). A cota de fundo da bacia foi projetada em 1079 m e a cota da crista corresponde a 1081 m. Após a detenção na bacia, o lançamento é realizado no córrego Guará por meio de uma tubulação de 1,5 m de diâmetro.



Figura 4.4 – (a) Bacia de detenção do Guará com foco na localização das estruturas de entrada e saída; (b) Galeria de entrada; (c) Vertedor e descarga de fundo na saída.

A área que contribui para a bacia de detenção do Guará abrange as seguintes regiões: Cruzeiro Velho; Cruzeiro Novo; Octogonal; Hospital das Forças Armadas – HFA, no Setor Sudoeste; parte do Setor de Indústria e Abastecimento – SIA; parte do Setor Policial Sul, que engloba a Agência Brasileira de Inteligência – ABIN e o Batalhão de Aviação Operacional – BAvOp; e, parte do Setor de Oficinas Sul – SOF Sul. A delimitação da área de contribuição pode ser visualizada a seguir, na Figura 4.5.

Para a delimitação da área de contribuição, levou-se em consideração o traçado da rede de drenagem existente na área e em suas proximidades bem como a declividade do terreno. O cadastro da rede de drenagem existente para o local foi disponibilizado pela Novacap. Obteve-se também arquivos georreferenciados da rede de drenagem do DF por meio do GeoPortal (SEGETH, 2018). A rede de drenagem da área em estudo será tratada de forma mais detalhada no item 4.1.5

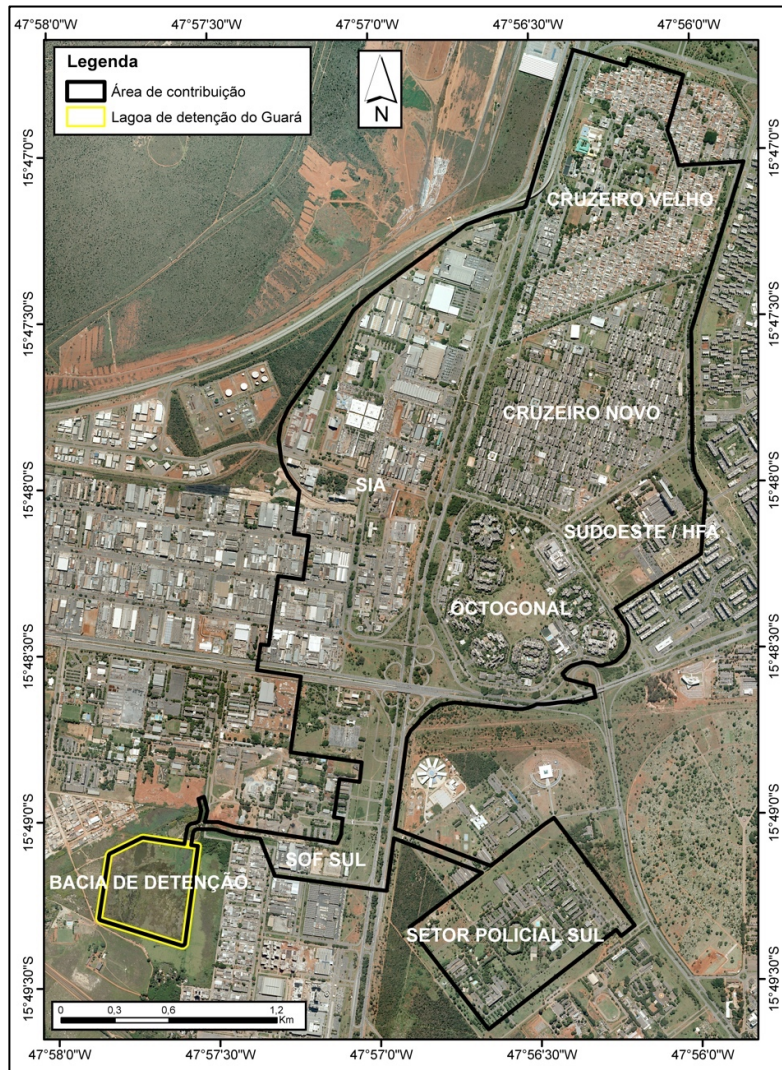


Figura 4.5 – Área de contribuição da bacia de detenção do Guará.

4.1.1 Clima

O clima da região de estudo corresponde ao clima do DF, que é caracterizado pela forte sazonalidade, com dois períodos distintos bem definidos. O período entre maio e setembro é caracterizado pela baixa taxa de precipitação, baixa nebulosidade, alta taxa de evaporação e umidade relativas diárias baixas, podendo atingir valores inferiores a 15%. A estação chuvosa ocorre entre outubro e abril, sendo que os meses de dezembro a março concentram 47% da precipitação anual (Campos, 2004).

A precipitação média anual no DF é de aproximadamente 1.500 mm, existindo uma distribuição irregular de chuvas em função da variação de altitudes. A porção leste apresenta menores alturas pluviométricas, enquanto que as maiores ocorrências de chuvas se dão na porção sudoeste e noroeste. Um efeito anômalo da distribuição das chuvas é observado nos

denominados verânicos de janeiro, quando ocorre um período de estiagem em plena estação chuvosa (Ferrante *et al.*, 2001; Campos, 2004).

Segundo a classificação climática de Köppen, o Distrito Federal pode apresentar os seguintes tipos climáticos, em função da altitude: Tropical Aw, quando a temperatura média do mês mais frio é superior a 18° C, ocorrendo em locais cujas cotas altimétricas são abaixo de 1.000m; Tropical de Altitude Cwa, quando a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18° C e superior a 22° C no mês mais quente, com altitudes entre 1.000 m e 1.200 m; e, Tropical de Altitude Cwb, quando a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18° C e inferior a 22° C no mês mais quente, abrangendo cotas altimétricas acima de 1.200 m (Ferrante *et al.*, 2001).

4.1.2 Relevo

O modelo digital de elevação da área de estudo (Figura 4.6) foi gerado a partir de curvas de nível espaçadas de 5 em 5 metros disponibilizadas no GeoPortal (SEGETH, 2018). A máxima altitude observada na área corresponde a 1.148,8 m, enquanto que a mínima é de 1.080 m, localizada na bacia de retenção do Guará.

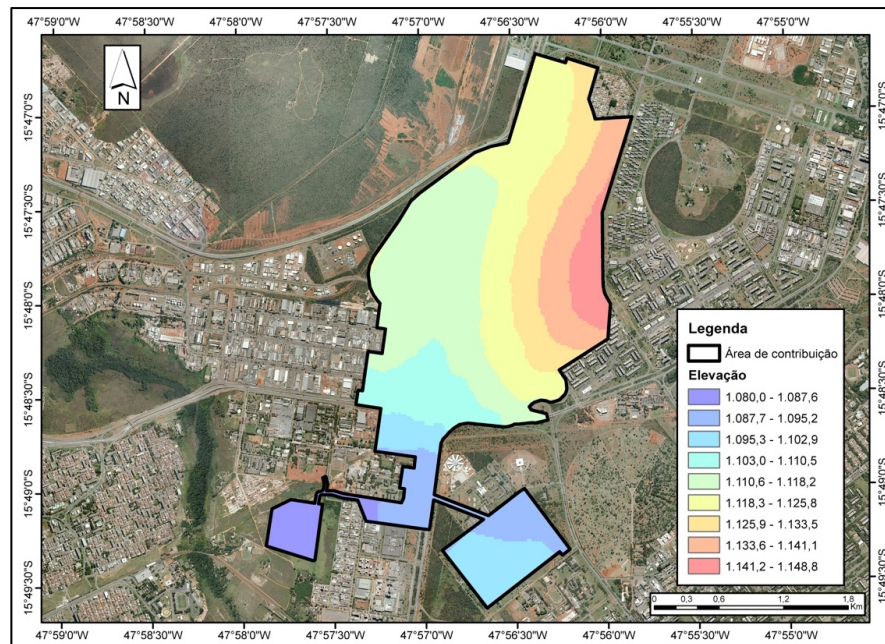
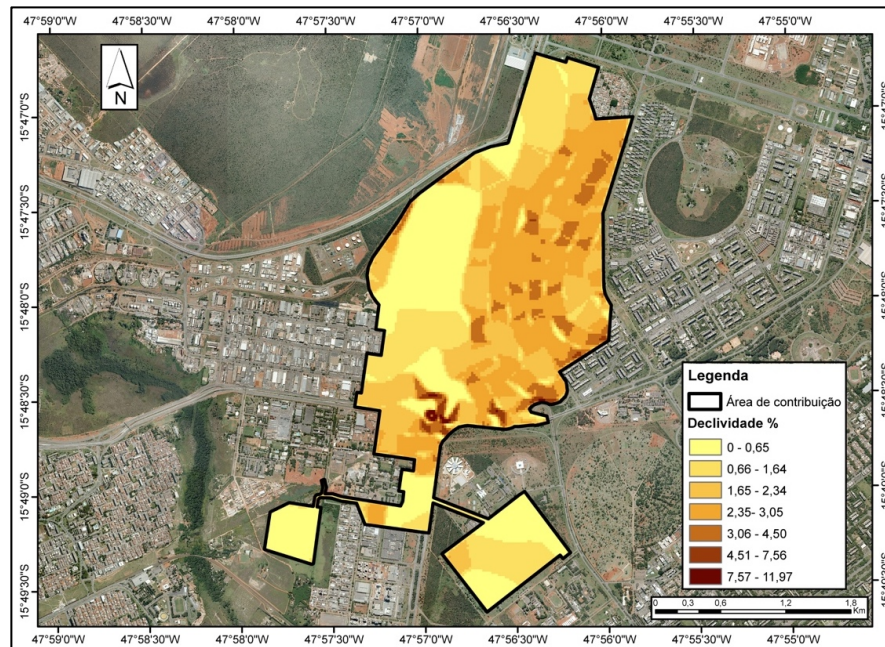


Figura 4.6 – Mapa de elevação na área de contribuição.

A partir do modelo digital de elevação, elaborou-se o mapa de declividade para a área de estudo (Figura 4.7). Observa-se que a declividade da região varia entre 0 e aproximadamente

12%. Considerando a classificação de Uberti *et al.* (1991), o terreno da área de estudo pode ser dividido em: plano (0 a 3%), suavemente ondulado (3 a 8%) e ondulado (8 a 20%). A declividade média da região é de 1,62%, sendo, portanto, uma área de baixa declividade.



4.1.3 Tipos de Solo

Para a identificação das classes de solos presentes na área de estudo, utilizou-se o mapa de solos fornecido pela Embrapa ao DPI/INPE. A única classe de solo encontrada na área de estudo é o Latossolo Vermelho. Os Latossolos, que ocupam pouco mais da metade da área do DF, caracterizam-se por sua elevada porosidade e permeabilidade, desenvolvendo-se em regiões planas a suavemente onduladas. São solos altamente intemperizados, espessos, pouco férteis e, geralmente, com vegetação associada de cerrado e cerradão (Ferrante *et al.*, 2001; Reatto *et al.*, 2004). Por serem muito permeáveis, favorecem a recarga de aquíferos locais e regionais.

Quanto ao grupo hidrológico, observou-se que toda a área em estudo pertence ao grupo hidrológico A. Os solos pertencentes ao grupo A são caracterizados pela baixa produção de escoamento superficial e elevada infiltração. São caracterizados por serem solos arenosos profundos com pouco silte e argila. Entretanto, ressalta-se que, apesar do solo ser permeável, a área em estudo é muito urbanizada.

4.1.4 Uso e Ocupação do Solo

A classificação da área quanto ao uso e ocupação do solo foi feita manualmente por meio do software ArcGIS 10.3. Os polígonos foram elaborados sobre a Ortofoto de abril de 2013, de resolução espacial de 24 cm, disponibilizada pela Terracap. O mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo é apresentado na Figura 4.8.

A partir da classificação quanto ao uso e ocupação do solo, verificou-se que a área em estudo é composta aproximadamente por: 1% de calçada, 2% de solo exposto, 6% de vegetação muito densa, 19% de vegetação pouco densa, 19% de campo aberto, 25% de edificações, 25% de vias asfaltadas, além dos 3% ocupados pela bacia de detenção.

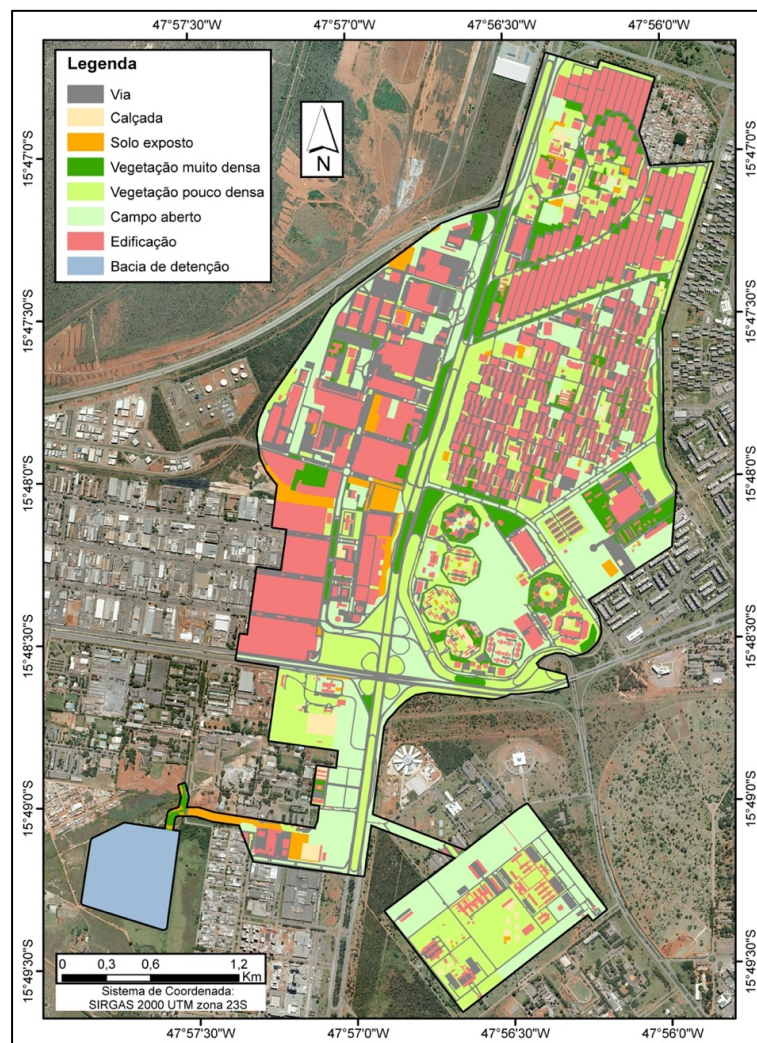


Figura 4.8 - Mapa de uso e ocupação do solo da área em estudo.

A região em estudo engloba tanto áreas residenciais quanto comerciais e industriais, apresentando, em geral, boa arborização. A região do Cruzeiro Velho, ao norte da área de

contribuição, é caracterizada por casas residenciais geminadas, enquanto que o Cruzeiro Novo é composto de prédios residenciais de 4 andares. Já o SIA é caracterizado por ser uma região industrial, comercial e de serviços, apresentando uma maior impermeabilização do solo que as demais regiões da área de estudo.

A Octogonal é uma região formada por quadras organizadas em condomínios fechados. No total, existem oito áreas octogonais, mas a AOS 3 (Área Octogonal Sul) nunca foi construída, sendo, atualmente, uma área verde. Os prédios residenciais nessa localidade têm, em média, 6 andares. As Figuras 4.9 a 4.15, a seguir, caracterizam as regiões da área de estudo.



Figura 4.9 – Cruzeiro Velho.



Figura 4.10 – Cruzeiro Novo.



Figura 4.11 – Entrada da Agência Brasileira de Inteligência – ABIN.



(a) AOS 1.



(b) AOS 5.



(c) Terraço Shopping.



(d) Comércio em AOS 1/2.



(e) Equipamentos de esporte e lazer.



(f) Centro Educacional em AOS 1/4.

Figura 4.12 – Octogonal.



Figura 4.13 – Setor de Oficinas Sul – SOF Sul.



(a) SIA Trecho 03.



(b) Próximo a SIA Quadra 5C.



(c) Bunge Alimentos SIA Trecho 05.



(d) Supermercados em SIA Trecho 16.



(e) Comércio em SIA Trecho 08.



(f) Feira dos Importados SIA Trecho 07.



(g) Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS em SIA Área de Serviços Públicos Lote A.

Figura 4.14 – Setor de Indústria e Abastecimento – SIA.

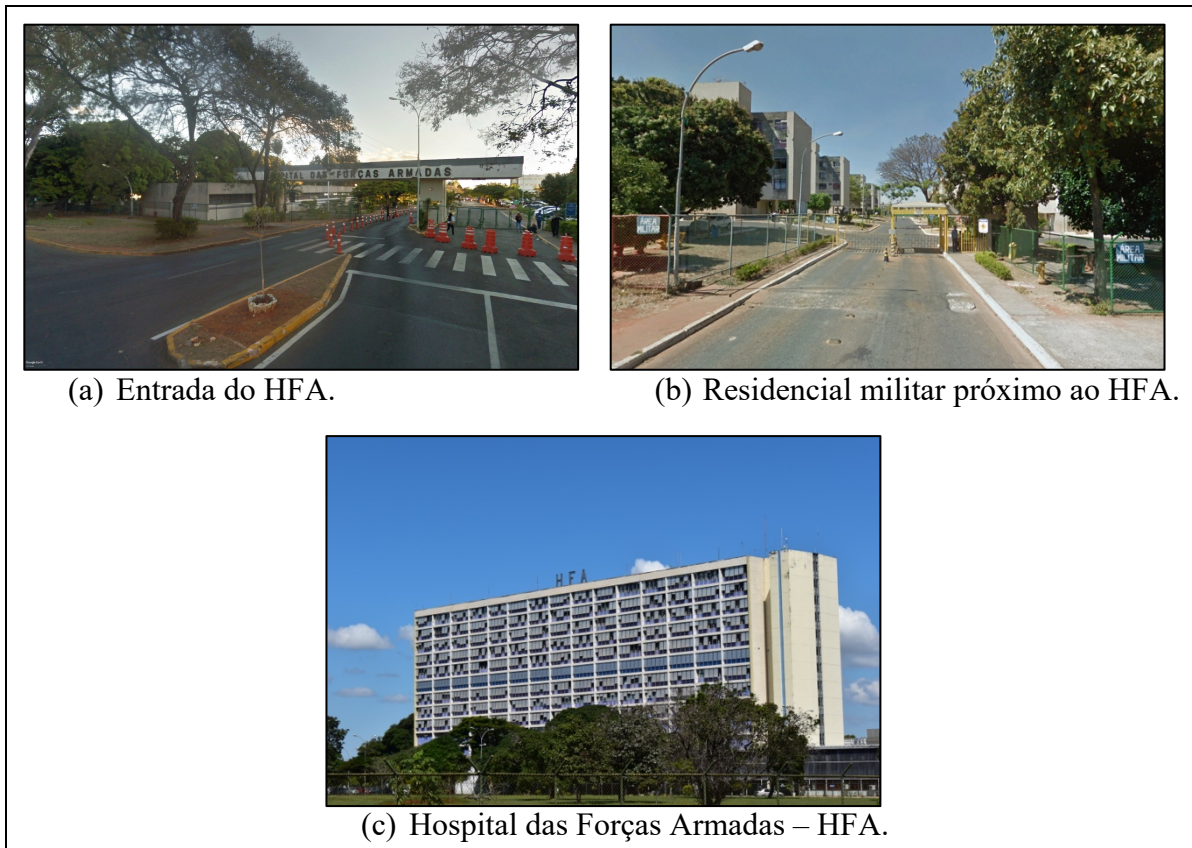


Figura 4.15 – Setor Sudoeste / HFA.

4.1.5 Rede de Drenagem

A rede de drenagem da área em estudo possui aproximadamente 66,2 km de condutos circulares e 5,2 km de galerias, totalizando 71,4 km de extensão. Os diâmetros dos condutos circulares variam de 400 mm a 1.500 mm. Os tubos de 400 mm de diâmetro são os mais presentes na rede de drenagem analisada, correspondendo a 42% da extensão total da rede. A Figura 4.16 apresenta a rede de drenagem pluvial da área de estudo.

De acordo com o PDDU (GDF, 2009), os condutos de diâmetro interno de 400, 500 e 600 mm são em concreto simples, enquanto que os de diâmetro de 800, 1.000, 1.200 e 1.500 mm são em concreto armado. As galerias, por sua vez, são de concreto armado, moldadas *in loco*. A rede analisada possui aproximadamente 1.230 poços de visita. A declividade máxima no trecho final da rede, isto é, na galeria tripla, é inferior a 0,3%, portanto, muito baixa.

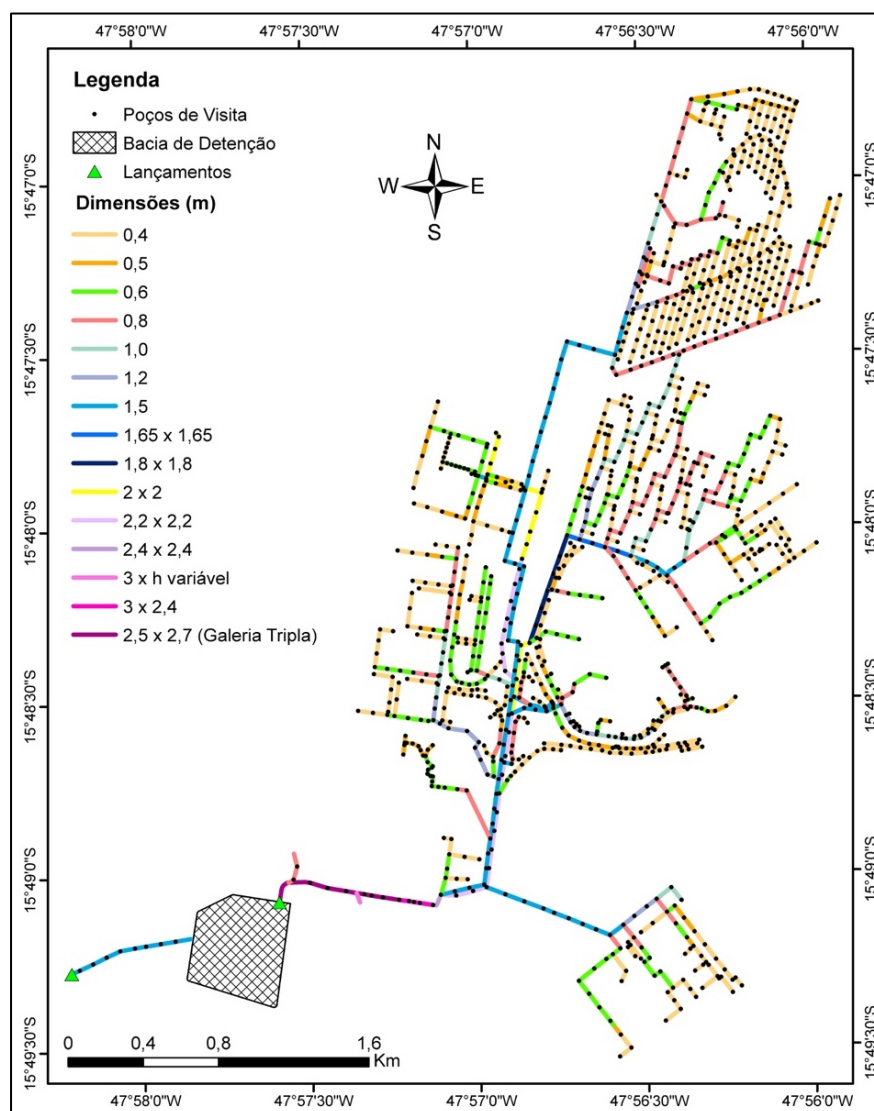


Figura 4.16 – Rede de drenagem pluvial da área de estudo.

4.2 MONITORAMENTO

O monitoramento foi realizado entre os meses de outubro de 2018 a março de 2019. Para esta etapa, fez-se necessária a prévia construção das estruturas que abrigariam os equipamentos utilizados no monitoramento quali-quantitativo da bacia de detenção do Guará, tendo em vista que essa bacia nunca havia sido estudada anteriormente.

Realizou-se a seleção dos pontos de monitoramento e a instalação de linígrafos (de boia e de pressão), pluviógrafos e amostradores automáticos em campo, sendo os primeiros responsáveis pelo registro das cotas de nível nas estruturas de entrada e saída da bacia de detenção, os segundos pelos volumes precipitados na área de contribuição e, os terceiros, pela coleta de amostras de água para posterior análise em laboratório.

Foram realizadas, também, campanhas para a medição de vazão *in loco* durante eventos chuvosos de forma a permitir a elaboração das curvas-chave, essenciais para viabilizar a análise da eficiência da bacia de retenção do Guará quanto aos aspectos quantitativos e qualitativos.

4.2.1 Precipitação

Para a medição da precipitação, realizou-se a instalação de cinco pluviômetros de balança da marca *ONSET*, modelo RG3-M, em pontos estratégicos da área de estudo (Figura 4.17). Além disso, utilizou-se também dados de precipitação fornecidos pela Agência Nacional de Águas – ANA e pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, de estações pluviométricas monitoradas por esses órgãos.

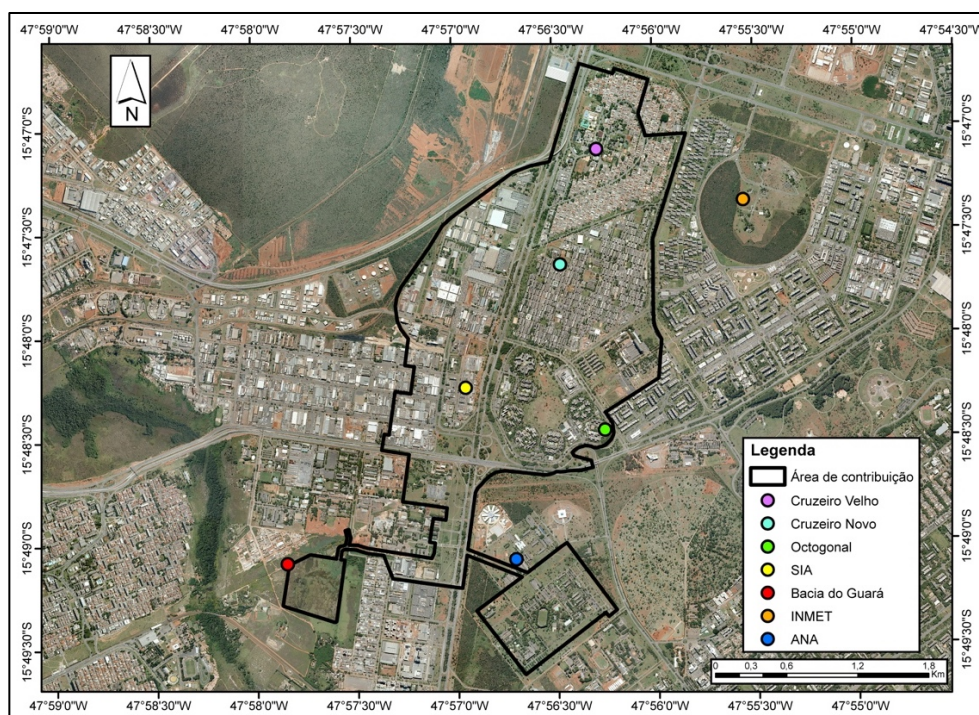


Figura 4.17 – Localização dos pluviômetros na área de estudo.

Para a seleção dos pontos onde seriam instalados os pluviômetros do projeto, levou-se em consideração o posicionamento na área de estudo, de forma a se obter uma boa representatividade dos eventos chuvosos. Facilidade de acesso e segurança, tanto dos equipamentos quanto dos operadores, também foram levadas em consideração no momento da escolha da localização.

Os pluviógrafos estão instalados nos seguintes pontos: Centro Comercial Cruzeiro – Cruzeiro Velho; SHCES Quadra 409 – Cruzeiro Novo; AOS 1 – Octogonal; SIA Quadra 5C; próximo a lagoa de retenção em estudo; na sede do INMET; e, na sede da ANA. Os dados do pluviógrafo do INMET são disponibilizados num intervalo de tempo de 1 hora, os da ANA num intervalo de 15 minutos, enquanto que os demais estão discretizados de 5 em 5 minutos.

Na Tabela 4.1 estão expostas algumas informações quanto a localização dos pluviógrafos em campo, tais como latitude, longitude e altitude aproximada dos equipamentos. As Figuras 4.18 a 4.22 apresentam fotos dos pluviógrafos em seus respectivos locais de instalação. Os cinco pluviógrafos instalados pelo estudo em questão foram acoplados a bases de concreto que possuíam hastes roscadas, que tinham por objetivo tanto fornecer estabilidade aos equipamentos quanto permitir ajuste de altura e nível.

Tabela 4.1 – Informações sobre a localização dos pluviógrafos.

Localização	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Cruzeiro Velho	15°47'06.72" S	47°56'16.45" O	1152
Cruzeiro Novo	15°47'39.92" S	47°56'27.75" O	1147
Octogonal	15°48'27.73" S	47°56'14.98" O	1153
SIA	15°48'15.21" S	47°56'56.60" O	1126
Bacia do Guará	15°49'05.57" S	47°57'50.38" O	1091
INMET	15°47'21.63" S	47°55'32.72" O	1161
ANA	15°49'05.2" S	47°56'42.0" O	1098



Figura 4.18 – Pluviógrafo no telhado do Centro Comercial Cruzeiro, no Cruzeiro Velho.



Figura 4.19 – Pluviógrafo no telhado do edifício no SHCES 409, Cruzeiro Novo.



Figura 4.20 – Pluviógrafo no telhado de prédio em AOS 1, Octogonal.



Figura 4.21 – Pluviógrafo no telhado de prédio comercial em SIA Quadra 5C.



Figura 4.22 – Pluviógrafo instalado nas proximidades da bacia de detenção, em cima de estrutura da Caesb.

4.2.2 Vazão

Para o monitoramento fluviométrico da lagoa de detenção do Guará, realizou-se a instalação de dois linígrafos de boia (Figura 4.23) da marca *OTT HydroMet*, modelo Thalimedes, sendo um localizado na galeria de entrada da lagoa e o outro próximo à descarga de fundo na saída da estrutura. Foi colocado na saída, também, um linígrafo de pressão, modelo WL16, fabricante *Global Water*, com comprimento de cabo de 25 pés (Figura 4.24), indo do vertedor de saída até o fundo da lagoa, com o objetivo de monitorar o nível dessa no caso de vertimento.

Realizou-se, também, a instalação de três réguas linimétricas, uma para cada linígrafo, sendo alocadas nas proximidades desses (Figura 4.25). Os linígrafos e suas respectivas estruturas podem ser visualizados nas Figuras 4.28 a 4.30.



Figura 4.23 – Linígrafo de boia, modelo Thalimedes. Componentes: Datalogger associado à polia, boia e contrapeso.



Figura 4.24 – Linígrafo de pressão, modelo WL16. Datalogger conectado ao transdutor de pressão por meio de cabo de 7,6 m.

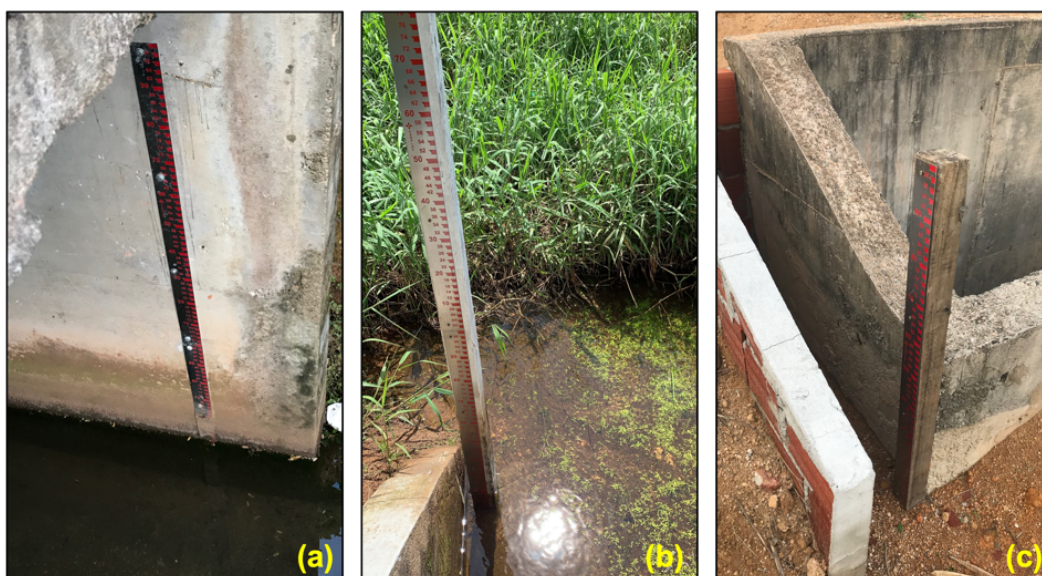


Figura 4.25 - Réguas linimétricas instaladas: (a) na câmara 1 da galeria de entrada da lagoa de retenção; (b) na saída, próximo à descarga de fundo da lagoa; (c) ao lado do vertedor de saída.

Devido a problemas operacionais, realizou-se substituição do linígrafo de boia instalado na galeria de entrada por um linígrafo de pressão, semelhante ao instalado próximo ao vertedor. As Figuras 4.26 e 4.27 fornecem uma visão geral da localização dos equipamentos de monitoramento instalados na entrada e na saída da lagoa de retenção em estudo, respectivamente. A estrutura que abriga o linígrafo de pressão da entrada (Figura 4.28) é conectada ao canal, mais especificamente à câmara 1, por meio de sistema de vasos

comunicantes. A estrutura foi construída objetivando a instalação de um linígrafo de boia e, por esse motivo, a existência de dois tubos de PVC de 10 mm de diâmetro, sendo um para a boia e o outro para o deslocamento do contrapeso, onde o primeiro tubo possui conexão direta com o canal e, o segundo, não possui. Após a troca do linígrafo de boia pelo de pressão, somente o tubo que possuía conexão com a galeria foi utilizado.



Figura 4.26 – Localização dos equipamentos de monitoramento na galeria de entrada da lagoa de detenção do Guará.



Figura 4.27 – Localização dos equipamentos de monitoramento na saída da lagoa de detenção do Guará.

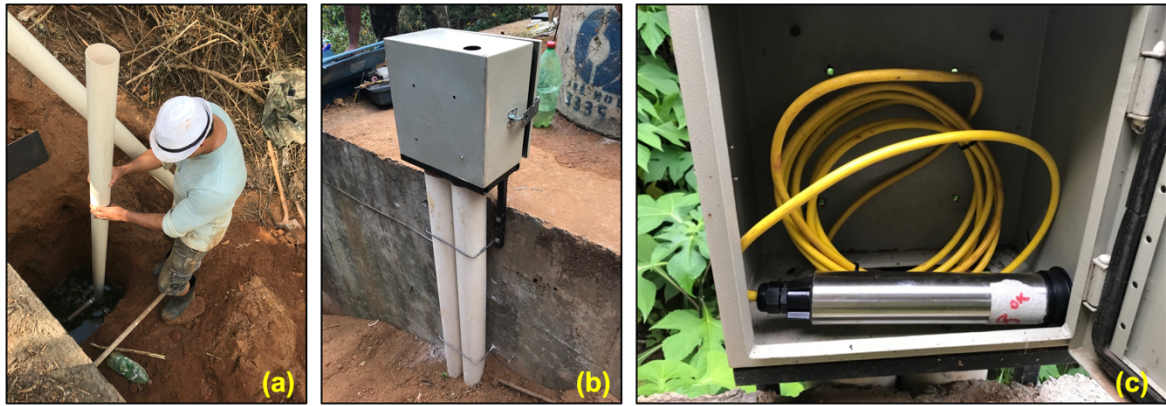


Figura 4.28 – (a) Construção da estrutura para abrigar o linígrafo na galeria de entrada, num sistema de vasos comunicantes; (b) Estrutura finalizada; (c) Linígrafo de pressão instalado.

Na saída da lagoa, os tubos da estrutura que abriga o linígrafo de boia (Figura 4.29) possuem comprimento aproximado de 1,80 m. A tubulação de PVC na qual a boia está inserida foi perfurada de forma a permitir a livre entrada e saída de água do tubo. Para dar estabilidade aos tubos, esses foram fixados a uma placa metálica que por sua vez foi fixada ao chão. No topo dos tubos, instalou-se uma caixa metálica para proteção do *datalogger* e polia, sendo o mesmo feito para o linígrafo na entrada da lagoa.

O linígrafo de pressão instalado nas proximidades do vertedor (Figura 4.30) foi armazenado dentro de tubo de PVC de 60 mm de diâmetro que se estende até ao fundo da lagoa de detenção.



Figura 4.29 – (a) Linígrafo de boia instalado na saída da lagoa; (b) Vista frontal da descarga de fundo com estrutura do linígrafo de boia à esquerda da imagem; (c) Estrutura que abriga o linígrafo de boia.

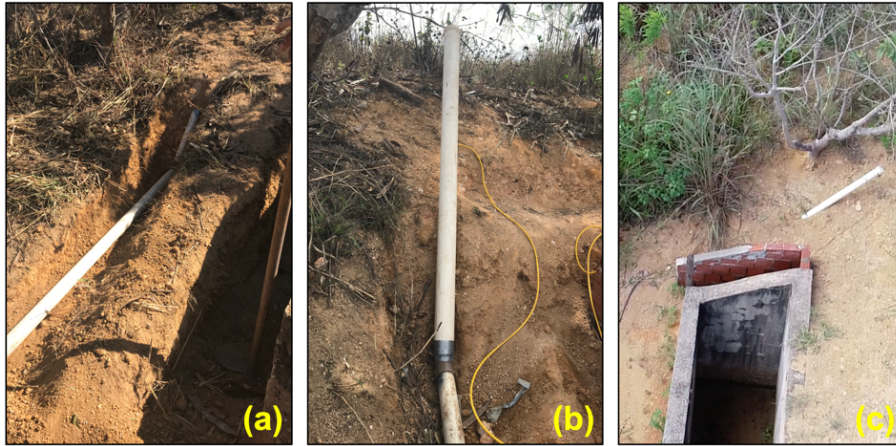


Figura 4.30 – (a) e (b) Construção da estrutura que acondiciona o linígrafo de pressão na saída da lagoa de detenção; (c) Vista aérea da estrutura finalizada.

Para a determinação das vazões de entrada e saída da lagoa de detenção nos eventos de precipitação, utilizou-se os dados obtidos pelos linígrafos associados às curvas-chave da galeria e do orifício de fundo. A curva-chave é construída a partir da medição de velocidade em uma determinada seção para diferentes cotas. Para a obtenção de uma curva-chave representativa, faz-se necessária a medição em diversos pontos.

Para as medições de vazão na galeria de entrada e na descarga de fundo, utilizou-se o equipamento ADC (*Acoustic Digital Current meter*) da marca *OTT*, que determina a velocidade do fluxo por meio de efeito Doppler (Figura 4.31). Os transdutores do equipamento emitem sinais ultrassônicos que são refletidos de volta ao sensor por meio de bolhas de ar ou partículas em suspensão que estejam na coluna d'água.



Figura 4.31 – (a) Sensor do ADC; (b) Utilização do ADC na saída da lagoa de detenção.

Na galeria de entrada, as medições de velocidade utilizando o ADC foram feitas em três verticais para cada uma das câmaras, a 60% da profundidade indicada pela régua linimétrica. As verticais foram espaçadas igualmente em 0,675 m. No momento da passagem da onda de cheia pelo canal, devido à rápida alteração dos valores de cota, optou-se por realizar a medição somente na vertical central da câmara 2. Durante os períodos de nível mais estável, as medições foram feitas nas três verticais das três câmaras. Foram realizadas medições de vazão *in loco* para dois eventos chuvosos.

A Figura 4.32 apresenta o momento da passagem da onda de cheia na galeria de entrada da lagoa de retenção do Guará. Devido ao acúmulo de água parada na entrada da lagoa associado às baixas declividades do trecho final da rede de drenagem, verificou-se a ocorrência de remanso na galeria. Durante o todo o período do estudo, incluindo o período de estiagem, a galeria de entrada da lagoa apresentou água em seu interior. A menor cota observada foi de 28 cm em 07/09/2018. As estruturas de dissipação na entrada da lagoa ficaram submersas durante todo o período analisado.



Figura 4.32 – Passagem da onda de cheia na galeria de entrada da lagoa de retenção do Guará: (a) Vista para o interior da câmara 3; (b) Vista de cima da galeria.

Sefione (2002) afirma que o efeito de remanso, fenômeno que ocorre quando o escoamento de montante sofre influência pelo escoamento de jusante, é uma das causas para o chamado laço na curva-chave. A curva-chave em laço ocorre quando há uma relação não-unívoca entre cotas e vazões, ou seja, quando são verificadas diferentes vazões para uma mesma cota, como mostrado na Figura 4.33. A curva em regime uniforme representa a relação biunívoca,

onde cada cota corresponde a uma única vazão e vice-versa. Ainda de acordo com Sefione (2002), a passagem de uma onda de cheia num trecho de rio com baixa declividade, onde no momento ascensional a vazão é maior, bem como a existência de seções ou controles instáveis e controle de jusante variável são outros fatores que provocam o laço na curva-chave.

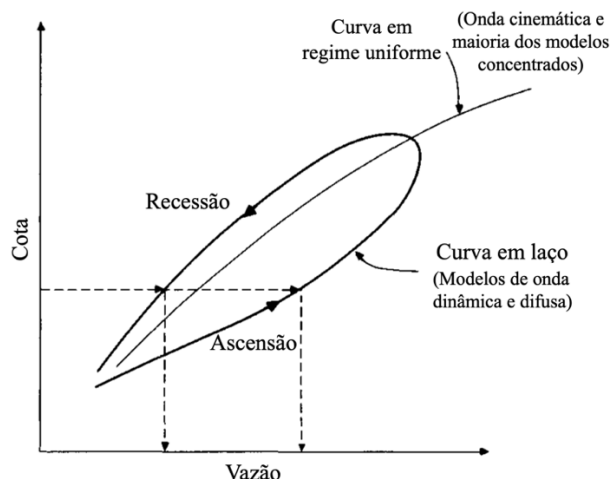


Figura 4.33 – Curva-chave em laço (Adaptado: Chow *et al.*, 1988).

Nesse sentido, tendo-se verificado a ocorrência de vazões distintas para uma mesma cota na galeria de entrada da lagoa de detenção, a depender da fase de ascensão ou de recessão, realizou-se a elaboração de duas curvas-chave para o canal, sendo uma representativa do ramo ascendente, com vazões mais elevadas, e, a outra, do ramo descendente, com vazões menores (Figura 4.34).

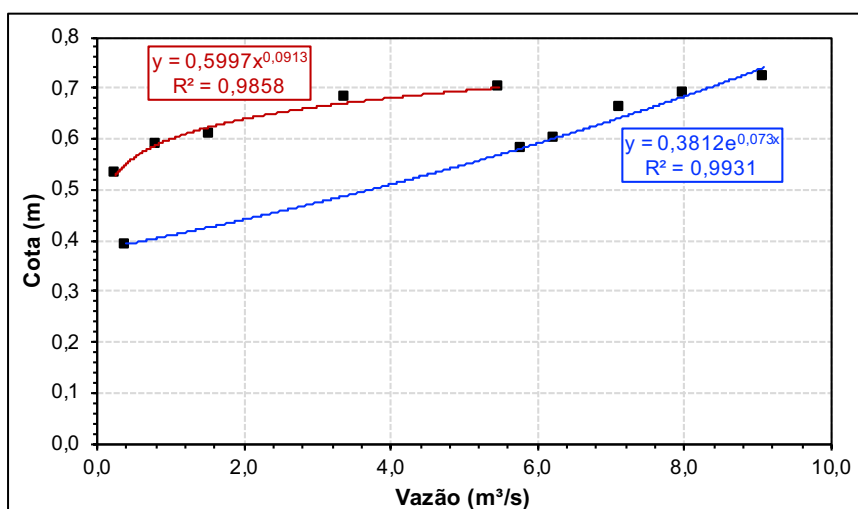


Figura 4.34 – Curva-chave determinada no período de monitoramento para a galeria de entrada da lagoa de detenção, onde o ramo ascendente corresponde ao traço de cor azul e, o descendente, ao vermelho.

Realizou-se a extrapolação superior da curva-chave da galeria de entrada, tanto para o ramo ascendente quanto descendente, utilizando o método de Stevens, devido ao fato de o canal apresentar uma seção transversal conhecida e uniforme.

Quanto às medições de velocidade na saída da lagoa de detenção, dividiu-se a seção transversal da descarga de fundo em sete verticais espaçadas igualmente em 0,125 m. Em cada uma das verticais, realizou-se a medição da velocidade do fluxo com o ADC em 20, 40, 60 e 80% da profundidade marcada pela régua linimétrica.

Assim, foi possível determinar a velocidade média para cada vertical, sendo essa multiplicada pela área de influência da vertical correspondente para a obtenção da vazão parcial da respectiva vertical. A vazão total, para uma determinada cota, consiste no somatório das vazões parciais calculadas, possibilitando a construção da curva-chave apresentada na Figura 4.35.

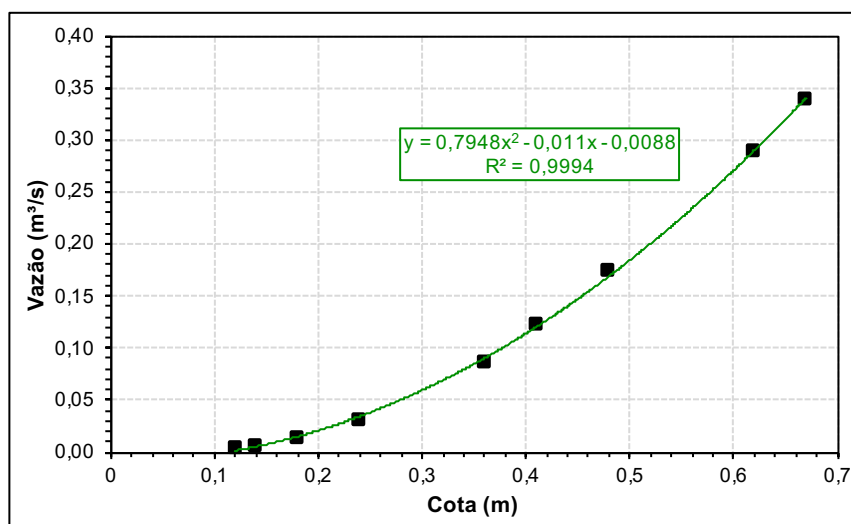


Figura 4.35 – Curva-chave determinada para o orifício de fundo na saída da lagoa de detenção do Guará.

A Figura 4.36 mostra a descarga de fundo da lagoa de detenção do Guará, de 2,25 m de comprimento, em funcionamento após chuvas no final do mês de março de 2019, quando a régua linimétrica estava marcando 70 cm. O nível da água na saída da lagoa é mais estável do que na galeria de entrada, o que favoreceu a medição de velocidade em várias verticais e profundidades. A Figura 4.37 apresenta uma imagem aérea da lagoa após eventos chuvosos, onde é possível observar o acúmulo de água em regiões no interior dessa.



Figura 4.36 – Descarga de fundo: (a) Entrada; (b) Saída com direcionamento para tubulação de 1,5 m de diâmetro que desemboca no córrego Guará.



Figura 4.37 – Vista aérea da lagoa de retenção do Guará após eventos chuvosos.

4.2.3 Qualidade da água

Para o estudo da qualidade da água pluvial na lagoa de retenção do Guará, foram utilizados dois amostradores automáticos ISCO 6712 (Figura 4.38). As localizações dos amostradores na entrada e na saída da lagoa podem ser visualizadas, respectivamente, nas Figuras 4.26 e 4.27. Os amostradores foram configurados para coletar 24 amostras de 900 ml cada, em intervalos pré-definidos. Após os eventos de chuva, foram realizadas saída de campo para recolher as amostras, sendo essas encaminhadas ao Laboratório de Análise de Águas – LAA, do PTARH, para a realização das análises dos parâmetros físico-químicos dessas.



Figura 4.38 – (a) Amostrador automático ISCO 6712; (b) Parte inferior do amostrador automático, onde as amostras são armazenadas.

As amostras coletadas pelo amostrador automático eram armazenadas em embalagens plásticas descartáveis como a da Figura 4.39. As embalagens plásticas eram fixadas ao suporte azul e o conjunto era inserido na parte inferior do amostrador, como ilustrado na Figura 4.38(b). No laboratório, as análises de DQO, pH, condutividade, turbidez e sólidos eram realizadas no mesmo dia da coleta das amostras em campo. Quanto aos parâmetros nitrogênio e fósforo, reservava-se 200 ml de amostra filtrada acondicionada em embalagem limpa para preservação e posterior análise.



Figura 4.39 - Embalagem plástica de 1L de capacidade para acondicionar as amostras e suporte azul para encaixe no amostrador automático.

Os amostradores automáticos foram armazenados no interior das estruturas de concreto apresentadas nas Figura 4.40. A bomba de sucção do equipamento é acionada por meio de um sensor de nível que, no estudo em questão, corresponde a uma boia de nível elétrica. De forma a evitar a coleta da água parada presente no interior da galeria de entrada, posicionou-se a boia de nível de maneira que o amostrador automático somente iniciasse a coleta quando

a cota no interior do canal atingisse 50 cm ou mais. Na saída da lagoa, a altura da boia de nível foi modificada ao longo do período de monitoramento. As boias de nível já instaladas e em funcionamento podem ser visualizadas na Figura 4.41.



Figura 4.40 – Estrutura para alocar o amostrador automático: (a) Na entrada; (b) Na saída da lagoa de detenção do Guará.



Figura 4.41 – (a) Boia de nível na posição vertical e tubulação que abriga a mangueira do amostrador e a fiação da boia no interior da câmara 1; (b) Tubulação para a mangueira do amostrador e boia de nível acionada no interior de gaiola de proteção, na saída da lagoa de detenção.

Inicialmente, a mangueira do amostrador encontrava-se instalada na câmara 1, mas, em fevereiro de 2019, essa foi modificada para coletar as amostras na câmara 2. Essa alteração foi feita em função da diferença existente no aspecto da qualidade da água do escoamento superficial observado nas três câmaras da galeria de entrada durante evento chuvoso, na qual

a câmara 3 apresentou água visualmente mais poluída, seguido da câmara 2, enquanto que a câmara 1 apresentou escoamento mais limpo.

Os parâmetros estudados, seus métodos de análise e os respectivos equipamentos utilizados podem ser visualizados na Tabela 4.2. Os procedimentos de análise seguiram as diretrizes do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995) ou do fabricante do equipamento utilizado.

Tabela 4.2 – Resumo dos parâmetros analisados e os respectivos métodos utilizados.

Parâmetro	Unidade	Método	Equipamento
Turbidez	NTU	Nefelométrico	Turbidímetro
Sólidos Totais	mg/L	Gravimétrico	Balança de precisão
Sólidos Suspensos	mg/L	Gravimétrico	Balança de precisão
pH	-	Eletrométrico	pHmetro
Condutividade	µS/cm	Condutivimétrico	Condutivímetro
DQO	mg/L	Colorimétrico em refluxo fechado	Espectrofotômetro; Reator
Amônia	mg/L	Nessler	Espectrofotômetro
Nitrito	mg/L	Diazotização	Espectrofotômetro
Nitrato	mg/L	Redução de Cádmio	Espectrofotômetro
Fósforo Total	mg/L	Digestão ácida com persulfato de potássio	Espectrofotômetro; Reator
Fósforo Reativo	mg/L	Ácido ascórbico	Espectrofotômetro

4.3 MODELAGEM

Para a modelagem matemática das vazões e poluentes na lagoa de detenção do Guará, utilizou-se o modelo SWMM por meio da interface do software PCSWMM, concedida pela CHI por meio de licença universitária.

Os modelos de processos selecionados para a simulação corresponderam às opções Chuva/Vazão, Fluxo e Qualidade da Água. O modelo de infiltração adotado para as simulações foi o da Curva Número do SCS, em vista da facilidade de obtenção de dados. Para o método de transporte, isto é, método de escoamento na rede de drenagem, adotou-se o modelo da Onda Dinâmica, por esse apresentar uma resolução completa das equações de Saint-Venant e, portanto, possibilitar a modelagem do efeito de remanso.

A área de contribuição foi dividida em sub-bacias, que são unidades hidrológicas de terreno cuja topografia e elementos do sistema de drenagem conduzem o escoamento diretamente para um único ponto de descarga. As sub-bacias foram delineadas no PCSWMM por meio da ferramenta *Watershed Deliniation Tool* com base no Modelo Digital de Elevação elaborado para a área, apresentado na Figura 4.6. Foram geradas 677 sub-bacias.

Após a delimitação das sub-bacias, foi necessário indicar seus respectivos pontos de saída ou descarga, podendo esses corresponderem aos nós do sistema de drenagem (poços de visita) ou a outras sub-bacias. Realizou-se a inserção, no modelo, das informações acerca a rede de drenagem existente, essas informações correspondem aos condutos, seus respectivos comprimentos e seções transversais, totalizando 1.219 condutos; aos poços de visita, que somam 1.215, e suas respectivas cotas de tampa e de fundo; à bacia de detenção, descarga de fundo e vertedor. A Figura 4.42 ilustra os elementos inseridos no modelo.



Figura 4.42 – Representação da rede de drenagem e sub-bacias no PCSWMM.

Para uma definição inicial da largura das sub-bacias (*width*), adotou-se a metodologia empregada por Garcia (2005) e replicada por Collodel (2009), que assume o valor da largura do retângulo equivalente para a representação deste parâmetro.

$$l_e = \frac{k_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad \text{Equação 4.1}$$

$$k_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Equação 4.2}$$

Em que:

l_e – Largura do retângulo equivalente (m);

A – Área da sub-bacia (m^2);

k_c – Coeficiente de compacidade;

P – Perímetro da sub-bacia (m).

Utilizou-se o método dos polígonos de Thiessen, tendo como base a localização dos pluviógrafos instalados em campo, para a definição e caracterização da distribuição espacial da chuva nas sub-bacias do modelo (Figura 4.43). Não foi considerado, nesse processo, o pluviógrafo do INMET.

Considerou-se, para cada uma das sub-bacias, a precipitação que abrangesse a maior parte de sua área. Isso foi possível devido às pequenas dimensões dessas. O pluviógrafo do Cruzeiro Novo abrange aproximadamente 27,5% da área de estudo; o do SIA, 25,5%; o do Cruzeiro Velho, 15,7%; o da ANA, 15,0%; o da Octogonal, 12,3%; e, por fim, o da Bacia do Guará, 4,0%.

Os valores de precipitação obtidos dos seis pluviógrafos foram fornecidos ao modelo no formato volume (mm) e em intervalos de tempo de 15 min para o equipamento da ANA e 5 min para os demais.

A partir do uso e ocupação do solo elaborado para a área de estudo e das informações sobre os grupos hidrológicos existentes nessa, foi possível realizar, em programa SIG, o

cruzamento das informações de forma a associar um valor de CN a cada polígono com informação de uso e tipo de solo. Visto que em uma mesma sub-bacia podem coexistir diferentes tipos e usos do solo e, conseqüentemente, diferentes valores de CN, no PCSWMM, o valor da curva número para cada sub-bacia foi obtido por meio de ponderação de área através da ferramenta *Area Weighting*.

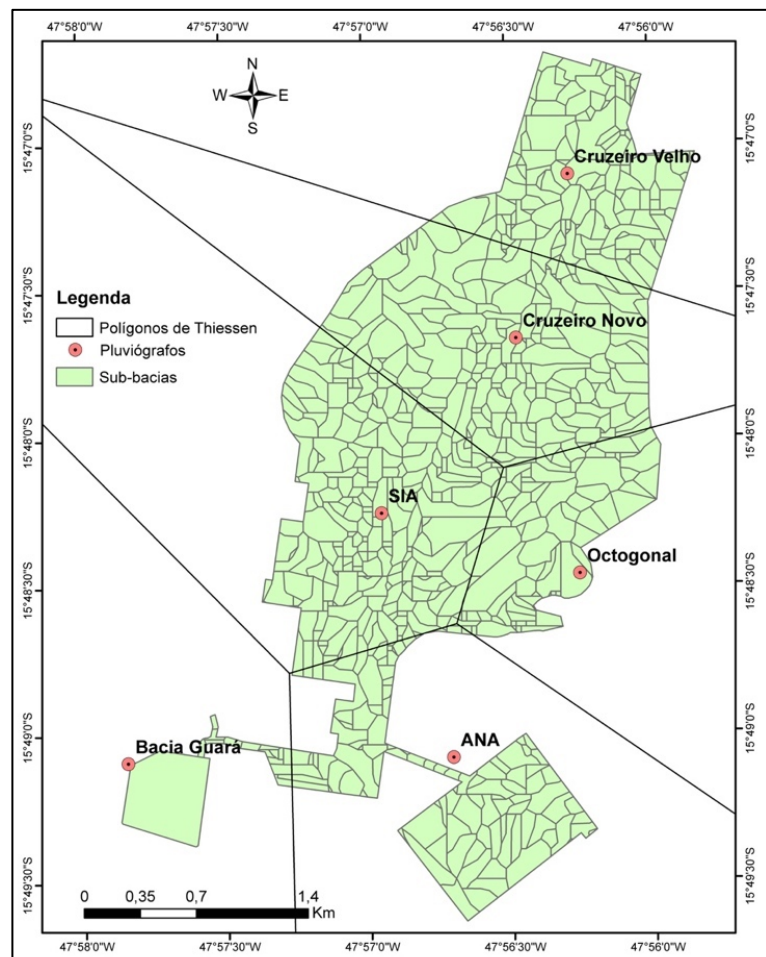


Figura 4.43 – Polígonos de Thiessen e pluviógrafos na área em estudo.

Por recomendação do manual do modelo, como neste estudo foi realizado um cálculo médio do CN para cada sub-bacia, não foram atribuídas porcentagens de áreas permeáveis e impermeáveis a essas, caso contrário, o modelo contabilizaria em duplicidade as áreas impermeáveis. Isso se dá porque o programa somente aplica os modelos de infiltração (SCS, Horton e Green-Ampt) às áreas permeáveis (James *et al.*, 2010).

Adotou-se valor de rugosidade para os condutos de 0,015. Assumiu-se 7 dias para o tempo necessário para o solo saturado secar, com valores típicos variando entre 2 e 14 dias. O valor inicial para armazenamento em depressões de áreas permeáveis foi definido como sendo

equivalente à abstração inicial (I_a) do SCS, ou seja, $I_a=0,2\cdot S$, onde o S é determinado pela Equação 3.2. Seguindo recomendação de Rossman (2016), o coeficiente de rugosidade de áreas permeáveis foi adotado como 0, de maneira a prevenir atraso no fluxo do escoamento superficial.

Para a modelagem da bacia de detenção do Guará, optou-se pela curva de armazenamento do tipo tabular, através de uma relação linear, em que as paredes da lagoa são consideradas perpendiculares ao fundo, de forma que em todas as alturas a área ocupada pela água é a mesma. Para a descarga de fundo, observou-se, em campo, que essa apresenta uma leve declividade contrária ao fluxo de aproximadamente 5 cm (Figura 4.44). Para o vertedor de saída (Figura 4.45), sabe-se que esse se encontra a 1,5 m do fundo da lagoa e possui comprimento de 20 m; a cota de crista da lagoa do Guará é de 1081 m e, portanto, 0,5 m acima do vertedor.

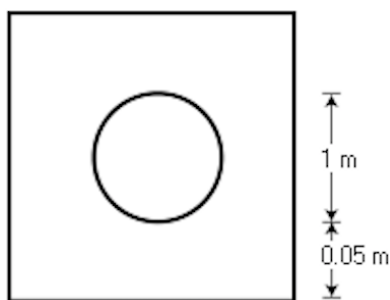


Figura 4.44 – Representação da descarga de fundo no modelo.

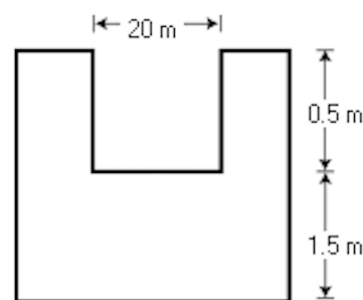


Figura 4.45 – Representação do vertedor no modelo.

Para a análise da eficiência da modelagem, compara-se os valores observados, obtidos durante o monitoramento, com os dados simulados pelo modelo, no caso, o PCSWMM. Os parâmetros estatísticos utilizados nessa avaliação corresponderam ao Coeficiente de Determinação (R^2), ao Coeficiente de Eficiência Nash-Sutcliffe e ao ISEr.

O coeficiente de determinação descreve o grau de colinearidade entre os dados observados e simulados, com seus valores oscilando de 0 a 1. Quanto mais próximo a 1, melhor a performance do modelo.

O coeficiente Nash-Sutcliffe (NSE) é um dos mais utilizados para a avaliação da eficiência de modelos hidrológicos, podendo variar de $-\infty$ a 1, sendo que NSE igual a 1 equivale ao valor da eficiência máxima. É determinado pela seguinte expressão:

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum(Q_{\text{obs}} - Q_{\text{sim}})^2}{\sum(Q_{\text{obs}} - \bar{Q})^2} \quad \text{Equação 4.3}$$

Em que:

Q_{obs} – Vazão observada;

Q_{sim} – Vazão simulada;

\bar{Q} – Média das vazões observadas.

O ISEr – *Integral Square Error rating* corresponde a uma avaliação do parâmetro estatístico ISE, variando entre “Excelente” e “Ruim”. Representa a integral do quadrado do erro num determinado tempo. Quanto menor o valor do ISE, melhor o ajuste entre as vazões observadas e simuladas. É calculado pela seguinte equação:

$$\text{ISE} = \frac{\sqrt{\sum(Q_{\text{obs}} - Q_{\text{sim}})^2}}{\sum Q_{\text{obs}}} \quad \text{Equação 4.4}$$

Em que:

Q_{obs} – Vazão observada;

Q_{sim} – Vazão simulada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Como apresentado no tópico 4.1.1, o clima do Distrito Federal é caracterizado pela forte sazonalidade, apresentando dois períodos distintos bem definidos. O período entre maio e setembro é marcado por baixas taxas de precipitação. Já a estação chuvosa está compreendida entre os meses de outubro a abril, sendo que os meses de dezembro a março concentram quase metade da precipitação total anual para a região.

Tendo como base a normal climatológica 1961-1990 para a cidade de Brasília, pode-se observar pela Figura 5.1 que, enquanto os meses de outubro e novembro excederam a média histórica de 166,6 mm e 231,1 mm, respectivamente, os meses de janeiro e fevereiro apresentaram volumes de chuva abaixo do esperado. Em todos os pluviômetros analisados, o mês de janeiro apresentou acumulado mensal inferior a 50 mm de chuva, muito abaixo dos 247,4 mm da normal climatológica para o mesmo mês.

As instalações dos cinco pluviômetros monitorados por este projeto foram realizadas durante o mês de outubro de 2018 e, por esse motivo, os dados dos respectivos equipamentos para esse mês em específico não se encontram na Figura 5.1.

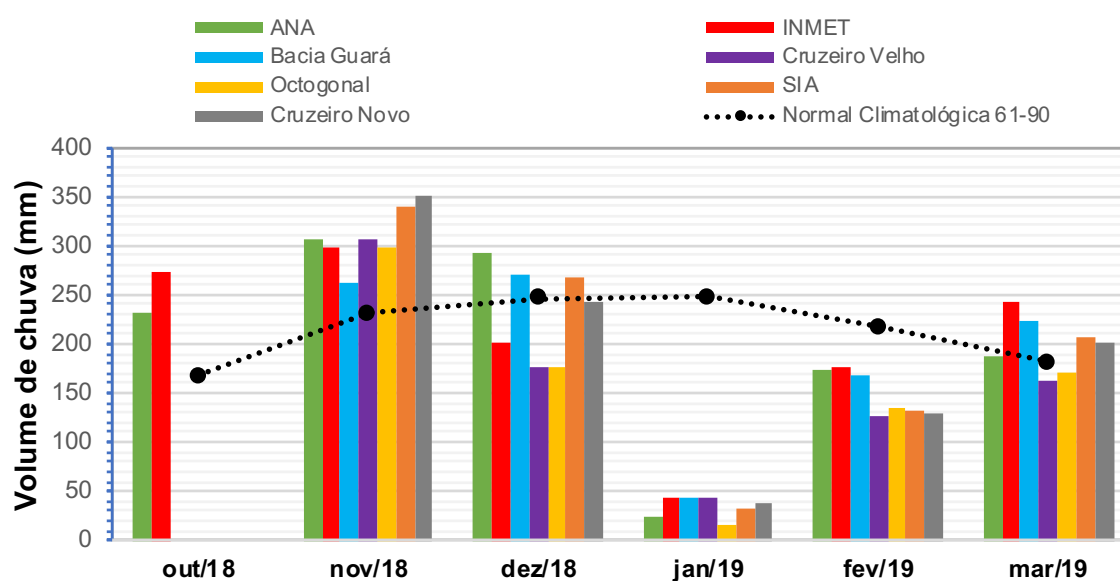


Figura 5.1 – Comparação do acumulado mensal de chuva em cada um dos pluviômetros da área de estudo para os meses de outubro/2018 a março/2019.

Ainda com relação à Figura 5.1, observa-se que, em geral, existe uma variabilidade espacial significativa das precipitações na área de estudo. No mês de novembro, a maior diferença foi de 89,2 mm, sendo o maior acumulado mensal registrado no pluviógrafo do Cruzeiro Novo e, o menor, no equipamento localizado na lagoa de detenção do Guará. Já no mês de dezembro, a maior variação foi de 117,8 mm, onde o equipamento da ANA registrou o maior volume mensal acumulado e o pluviógrafo da Octogonal, o menor.

Nas Figuras 5.2 a 5.8 são apresentados os dados de intensidade de chuva, em mm/h, em cada um dos pluviógrafos utilizados no estudo. Para isso, levou-se em consideração o volume de chuva precipitado num determinado intervalo de tempo, sendo de 15 min para os dados fornecidos pela ANA, de 1 h no caso do INMET e de 5 min para os demais.

Percebe-se que o pluviógrafo instalado no SIA foi o que registrou a maior intensidade (144 mm/h) num intervalo de 5 min, seguido do pluviógrafo do Cruzeiro Novo (136,8 mm/h), ambos os dados referentes ao evento do dia 08/12/2018.

A Figura 5.2, que traz os dados do pluviógrafo do INMET, apresentou baixos valores de intensidade em comparação aos demais devido a baixa discretização dos dados, sendo esses fornecidos a cada 1 hora. Dado à baixa discretização dos dados fornecidos pelo INMET, optou-se por não os utilizar na modelagem quali-quantitativa no programa SWMM.

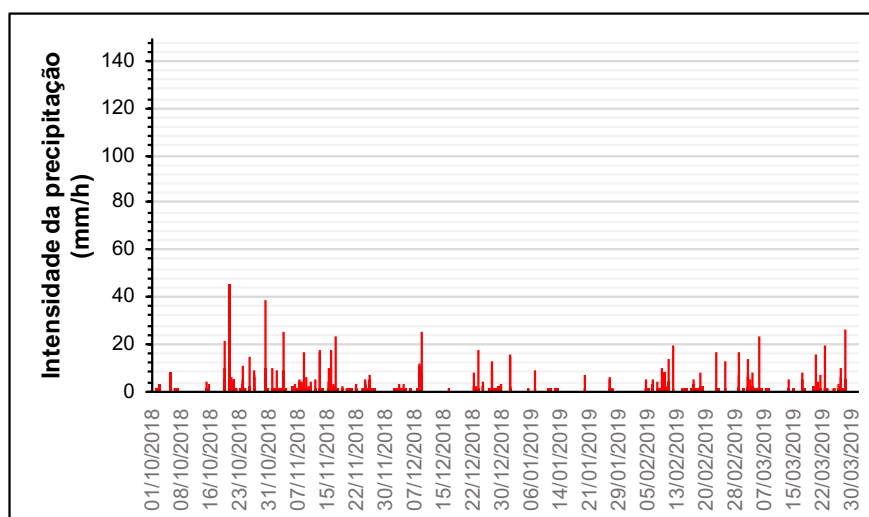


Figura 5.2 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo do INMET com discretização de 1 hora.

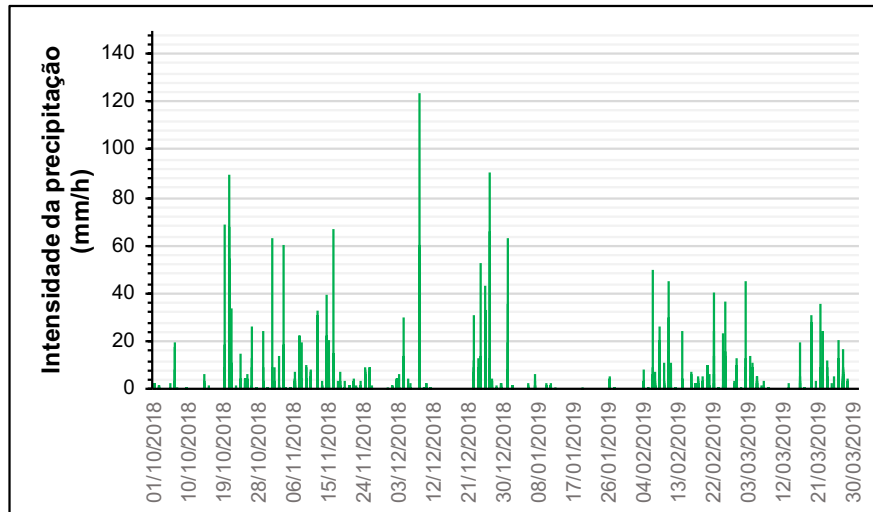


Figura 5.3 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo da ANA com discretização de 15 min.

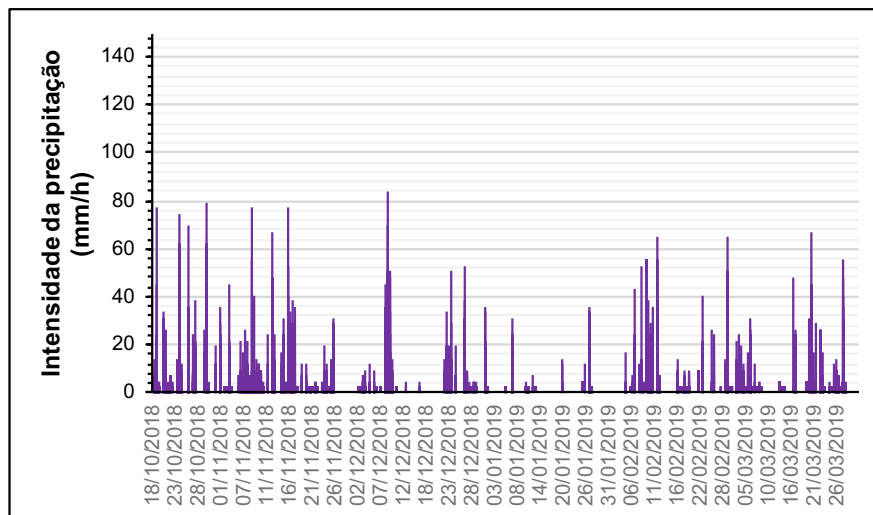


Figura 5.4 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo do Cruzeiro Velho com discretização de 5 min.

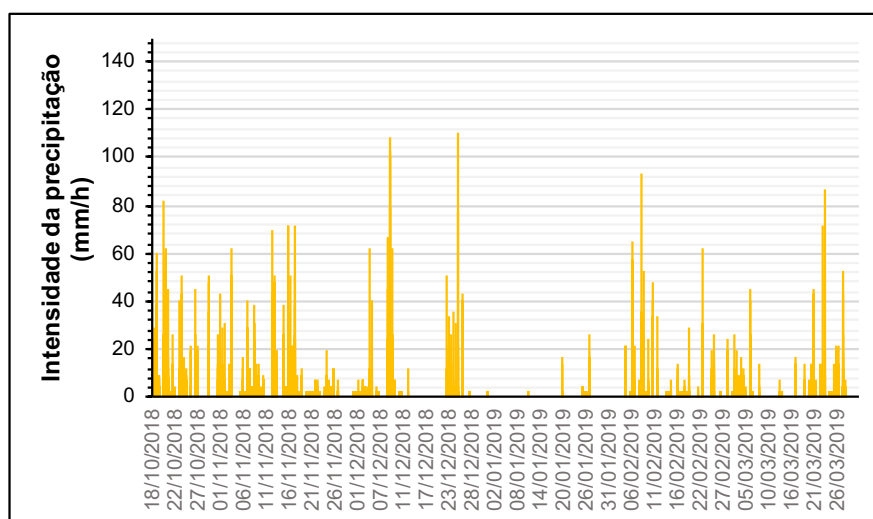


Figura 5.5 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo da Octogonal com discretização de 5 min.

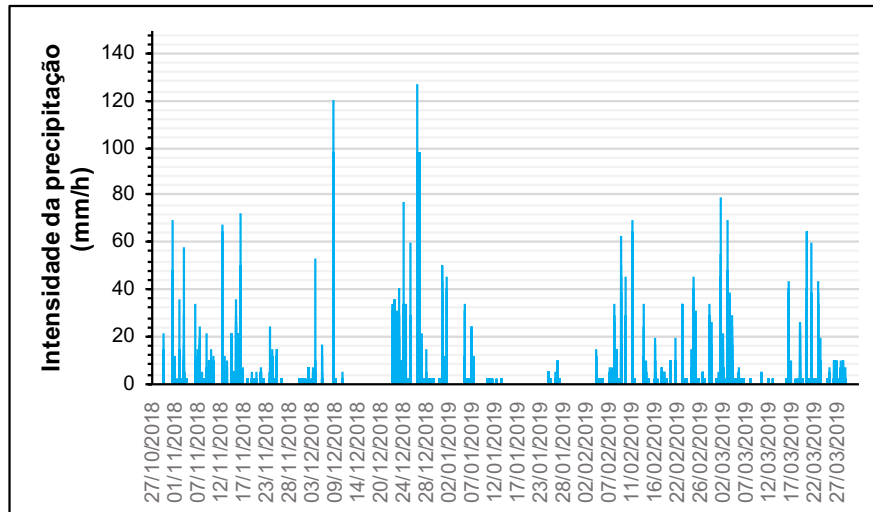


Figura 5.6 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo da lagoa do Guará com discretização de 5 min.

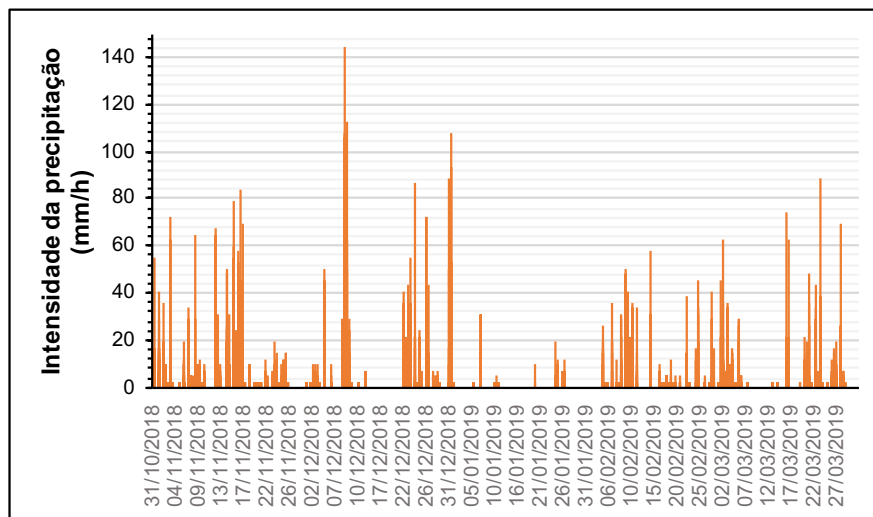


Figura 5.7 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo do SIA com discretização de 5 min.

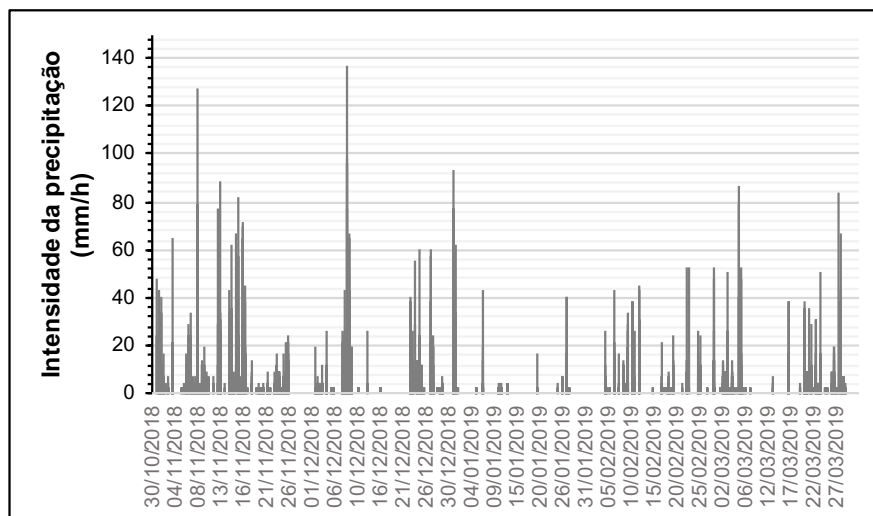


Figura 5.8 – Intensidade da precipitação no pluviógrafo do Cruzeiro Novo com discretização de 5 min.

O estudo da intensidade e duração das precipitações bem como o número de dias antecedentes de estiagem são de grande importância, pois interferem na quantidade e no transporte de poluentes através do escoamento superficial. Supõem-se que, quanto maior o número de dias antecedentes secos, maior será o carreamento de poluentes pelo evento chuvoso que se suceder a esse período de estiagem (Righetto *et al.*, 2017).

A determinação do tempo de retorno ou recorrência também é de grande relevância, pois indica o intervalo médio, em anos, no qual um determinado evento deve ser igualado ou superado. O conceito desse termo está associado à frequência e, conseqüentemente, à probabilidade de superação de um determinado valor. A análise do tempo de recorrência, portanto, é um indicativo da magnitude dos eventos.

É importante ressaltar que, em geral, as obras de drenagem são projetadas para período de retorno de 10 anos, ou seja, chuvas intensas como a do dia 08/12/2018, que apresentou T_r aproximado de 12 anos, geram sobrecarga aos sistemas de drenagem, causando inundações e diversos transtornos à população.

Para a determinação dos tempos de retorno dos eventos observados ao longo do período de monitoramento deste trabalho, utilizou-se a equação da curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) de Brasília adotada pelo Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU (GDF, 2009), apresentada na Equação 5.1.

$$i = \frac{1574,7 \cdot T_r^{0,207}}{(D + 11)^{0,884}} \quad \text{Equação 5.1}$$

em que:

i – Intensidade da precipitação (mm/h);

T_r – Tempo de retorno (anos);

D – Duração da chuva (minutos);

Durante todo o período monitorado, foram observados, aproximadamente, 70 eventos chuvosos, dentre os quais três apresentaram tempo de retorno igual ou superior a 1 ano, todos concentrados no mês de dezembro. Verificou-se, também, que a média de intensidade das precipitações monitoradas na área de estudo entre 2018-2019 é de 7,9 mm/h. A Tabela 5.1 apresenta as informações de alguns desses eventos chuvosos.

O evento de maior tempo de retorno ocorreu no dia 08/12/2018, com Tr de 11,8 anos, tendo início por volta das 17h e duração de 60 min, aproximadamente. O maior volume de chuva registrado ocorreu no pluviógrafo da ANA, que contabilizou 60,6 mm. A Figura 5.9 ilustra a distribuição espacial da chuva nesse evento do dia 08/12/2018. O menor valor de precipitação registrado ocorreu mais ao norte da área de contribuição, mais especificamente no pluviógrafo instalado no Cruzeiro Velho, que registrou 36,4 mm.

Tabela 5.1 – Informações dos eventos de precipitação monitorados.

Evento	Dias anteriores de estiagem	Duração (min)	Intensidade (mm/h)	Tr (anos)
31/10/2018	2	30	36,8	<1
03/11/2018	1	195	7,6	<1
09/11/2018	0	40	6,0	<1
12/11/2018	2	135	16,4	<1
14/11/2018	1	395	4,8	<1
15/11/2018	1	60	27,4	<1
25/11/2018	0	325	6,3	<1
01/12/2018	6	105	0,9	<1
04/12/2018	1	90	9,2	<1
08/12/2018	0	60	60,6	11,8
22/12/2018	14	115	11,5	<1
25/12/2018	1	40	14,7	<1
26/12/2018	1	160	23,1	4,8
31/12/2018	2	100	24,2	1,0
26/01/2019	15	145	6,0	<1
09/02/2019	1	85	15,1	<1
22/02/2019	1	45	14,9	<1
25/02/2019	0	35	25,0	<1
16/03/2019	11	70	16,1	<1

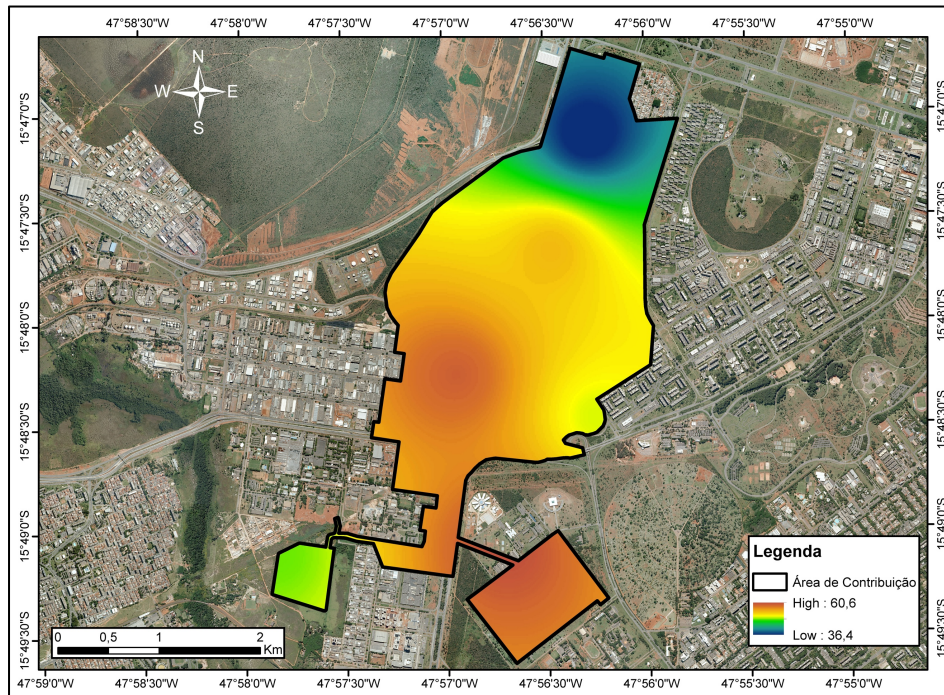


Figura 5.9 – Distribuição espacial da chuva no evento do dia 08/12/2018.

5.2 DADOS DE VAZÃO

As vazões de entrada e saída da lagoa de retenção do Guará foram determinadas por meio das curvas-chave elaboradas para cada uma das seções, associadas aos dados dos linígrafos instalados em campo, como já apresentado de forma detalhada no item 4.2.2. Percebeu-se que os dados do linígrafo de pressão da entrada estavam subestimando as cotas em aproximadamente 4 centímetros, sendo, portanto, esse valor acrescido aos registros desse equipamento.

Os hidrogramas de entrada e saída da lagoa de retenção podem ser visualizados nas Figuras 5.10 e 5.11, respectivamente. A vazão máxima observada na galeria de entrada durante o período monitorado correspondeu a 15,4 m³/s referente ao evento do dia 08/12/2018 às 17h47, com cota de aproximadamente 91 cm. Nesse dia, foram observados três eventos chuvosos distintos, tendo o primeiro evento início às 11h25 e término por volta 14h; o segundo, que foi o mais intenso, iniciou-se por volta das 17h e, o terceiro, ocorreu entre 21h e 21h40.

A maior vazão observada na saída da lagoa de retenção do Guará ocorreu no dia 08/12/2018 por volta das 23h, correspondendo a 1,27 m³/s e cota de 127,8 cm, não sendo verificado,

portanto, extravasamento por meio do vertedor de saída, tendo em vista que esse se encontra a 1,5 m do fundo da lagoa.

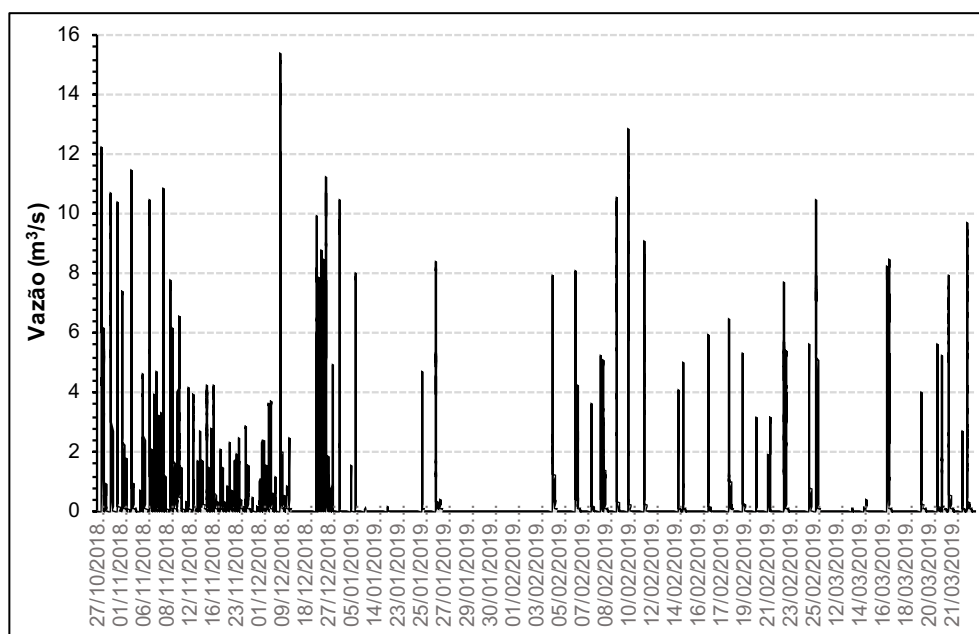


Figura 5.10 – Hidrograma na galeria de entrada da lagoa de detenção do Guará.

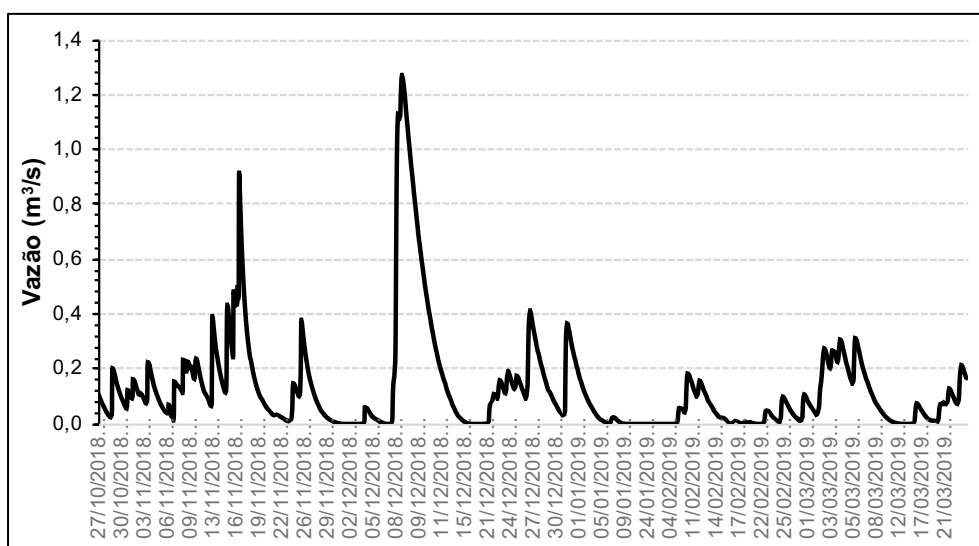


Figura 5.11 – Hidrograma na estrutura de saída da lagoa de detenção do Guará.

Tendo como base o evento do dia 08/12/2018, percebe-se que a lagoa de detenção do Guará apresentou eficiência de amortecimento dos picos de vazão de 91,8%. A Figura 5.12 apresenta os hidrogramas de entrada e saída da lagoa para esse evento. As Figuras 5.13 e 5.14 mostram os hidrogramas afluentes e efluentes para outros dois eventos observados, o do dia 25/02/2019 e 16/03/2019, respectivamente.

Esses três eventos foram avaliados de forma específica devido ao fato de terem ocorrido após alguns dias de estiagem ou baixas precipitações, de maneira que a vazão na saída da estrutura se encontrava baixa, possibilitando uma boa correlação entre o evento chuvoso e o impacto desse na estrutura em estudo, tanto em relação ao aspecto quantitativo quanto qualitativo.

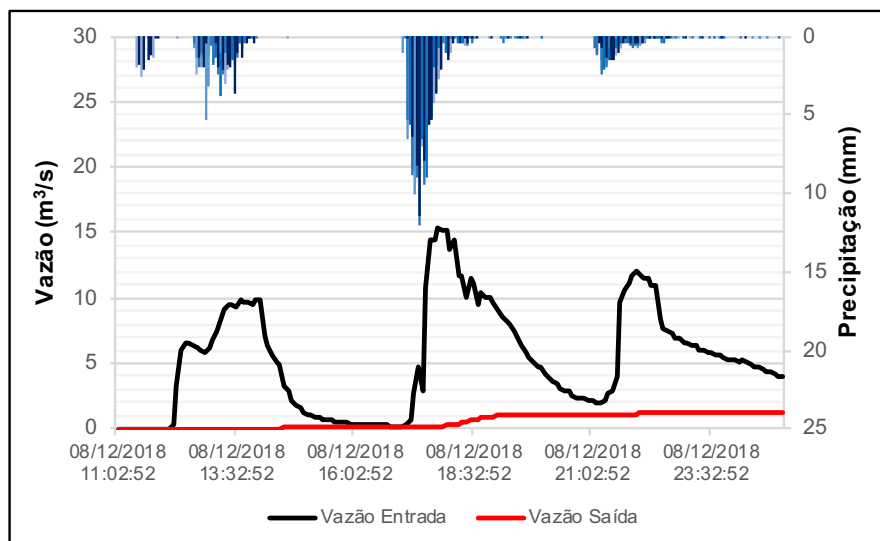


Figura 5.12 – Hidrograma referente ao evento do dia 08/12/2018.

O evento do dia 25 de fevereiro de 2019 (Figura 5.13), de intensidade média de 17,6 mm/h, apresentou vazão máxima de 10,5 m³/s para a galeria de entrada e de 0,10 m³/s para a saída, promovendo 99% de abatimento na vazão de pico. Já para o evento do dia 16 de março de 2019 (Figura 5.14), de intensidade média de 9,8 mm/h, a vazão máxima de entrada correspondeu a 8,5 m³/s e, a de saída, 0,08 m³/s, resultando em 99,1% de redução.

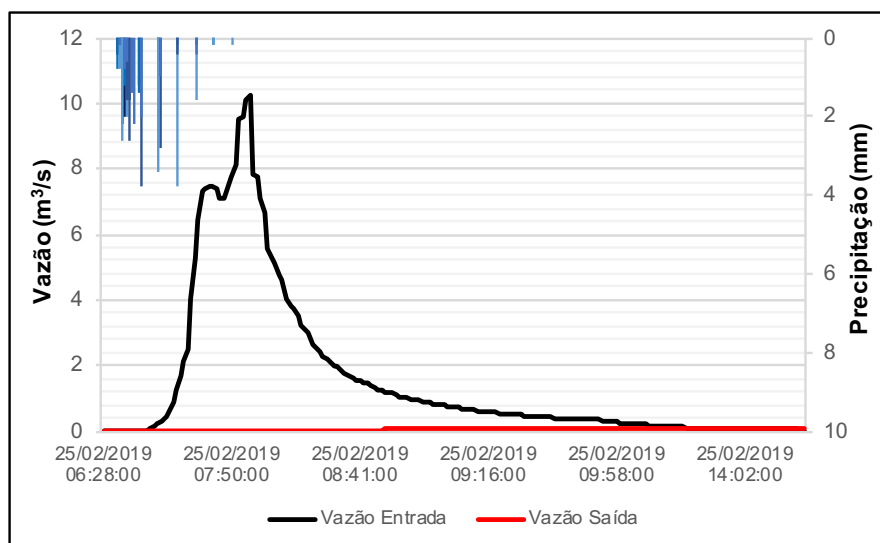


Figura 5.13 – Hidrograma referente ao evento do dia 25/02/2019.

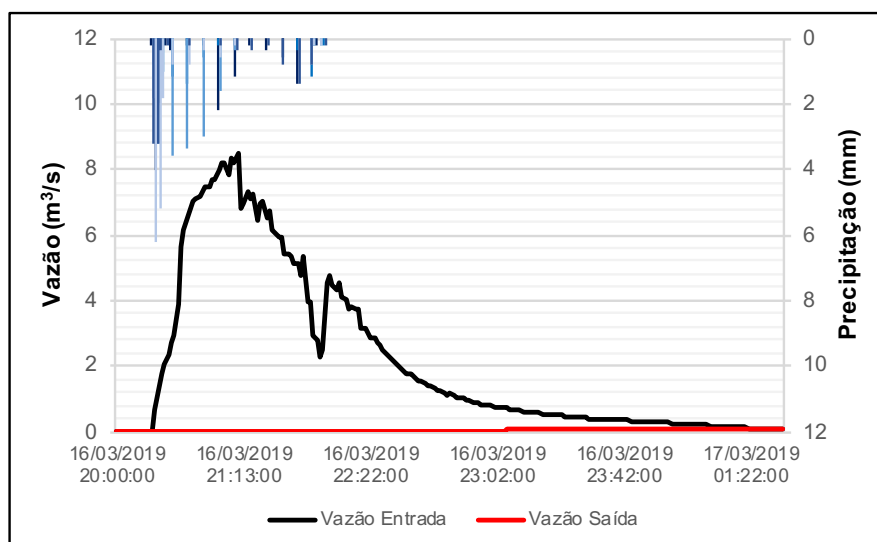


Figura 5.14 – Hidrograma referente ao evento do dia 16/03/2019.

Por meio da Resolução nº 9, de 08 de abril de 2011, a Adasa determinou que o lançamento de águas pluviais em corpo hídrico superficial não deve ultrapassar a vazão específica de 24,4 L/(s.ha). Para a área em estudo, que apresenta 7,65 km², esta vazão corresponderia a 18,67 m³/s, valor esse bem maior do que de fato é lançado pela lagoa de retenção no córrego Guará, visto que a máxima vazão de saída observada durante o período monitorado correspondeu a 1,27 m³/s. Além disso, levando em consideração o fato de que a lagoa de retenção do Guará não sofreu extravasamento por meio do vertedor de saída no período em análise, pode-se dizer que a estrutura está subutilizada, sendo capaz de abranger área de contribuição maior.

É importante ressaltar que a Resolução nº 9/2011, abordada anteriormente, foi estabelecida posteriormente à construção da lagoa de retenção em estudo. Porém, a verificação da adequação ao limite estabelecido pela resolução permanece válida, permitindo avaliação da capacidade de amortecimento da estrutura.

Ainda de acordo com a Resolução nº 9/2011, essa aborda a implementação de reservatórios de qualidade seguidos de reservatórios de quantidade, dispostos em série, como forma de promover a preservação do corpo hídrico receptor. Seguindo as diretrizes da resolução, o volume de um reservatório de qualidade é determinado conforme a Equação 5.2:

$$V_{qa} = (33,8 + 1,80 \cdot A_i) \cdot A_c \quad (\text{Equação 5.2})$$

Em que:

V_{qa} – Volume correspondente ao reservatório de qualidade (m^3);

A_i – Percentual de área impermeável do terreno;

A_c – Área de contribuição (ha).

Considerando que aproximadamente 50% da área de estudo é impermeabilizada e que a altura do reservatório corresponde a 2 m, obtém-se área de reservatório de qualidade equivalente a 1,3 ha. Para o dimensionamento de reservatório de quantidade, nos casos em que a área de contribuição é superior a 200 ha, como é o caso da área abordada neste estudo, a resolução exige a elaboração de estudo hidrológico para a determinação do volume do reservatório de detenção e de seus dispositivos de saída. Esse estudo, de acordo com a resolução, deve considerar a utilização de modelo hidrológico chuva-vazão com chuva de 10 anos de tempo de retorno e duração mínima de 24 horas.

VOLKEN (2018) realizou esse estudo hidrológico para a lagoa de detenção do Guará por meio de modelagem com o programa PCSWMM para analisar qual deveria ser o tamanho da estrutura com base nas diretrizes da Resolução nº 9/2011. Foi constatado que, nos termos da resolução, o volume necessário para a lagoa seria de 267.500 m^3 , o que levaria a uma área aproximada de 13,4 ha, considerando altura de 2 m. Realizando o somatório das áreas necessárias para os reservatórios de qualidade e quantidade, obtém-se 14,7 ha, valor esse correspondente a 59,8% da verdadeira área da lagoa de detenção em estudo. Percebe-se, portanto, que a lagoa de detenção do Guará encontra-se superdimensionada e pode ser utilizada para atender ao amortecimento de cheias e de melhoria da qualidade da água de outras áreas adjacentes, ainda não atendidas.

A construção de barreiras de forma a promover maior tempo de residência no interior da estrutura pode promover melhoria substancial da qualidade da água. Pelo tamanho da área, seria possível até mesmo prever mecanismos para remoção de óleos e graxas, tendo em vista afluentes à lagoa oriundos de áreas industriais e de oficinas mecânicas.

Analisando os eventos do período monitorado, observou-se um abatimento médio de 95,5% pela lagoa de detenção do Guará, comprovando, portanto, a eficiência hidráulica dessa na redução dos picos de cheia, liberando de forma gradual a água armazenada em seu interior

para jusante. Esse elevado abatimento é decorrente do grande tamanho da lagoa de detenção, o que promove, conseqüentemente, uma maior capacidade de amortecimento de vazões.

Campana *et al.* (2007) verificaram, para todos os eventos monitorados no estudo, redução média da vazão de pico de 62,6% para uma bacia de detenção seca e de 74% para uma bacia de detenção alagada, ambas localizadas em Brasília – DF. A bacia de detenção alagada, que apresentou maior taxa de abatimento, possui 16,7 ha de área, com 0,68 m de profundidade média, e recebe o escoamento de uma área de drenagem de 6,12 km².

Por meio dos hidrogramas, verificou-se que a lagoa de detenção do Guará leva aproximadamente 7 dias para descarregar um evento chuvoso intenso. Esse acúmulo de água por dias consecutivos pode contribuir para a proliferação de animais transmissores de doenças, mas também colabora para melhoria da qualidade da água pluvial devido ao maior tempo de residência no interior da lagoa.

Após análise dos dados dos linígrafos, percebe-se que o tempo de detenção da lagoa do Guará, considerando a distância entre picos de vazão de entrada e saída, varia de forma significativa, sendo observados valores entre 1h e 8h de duração. O menor tempo de detenção foi observado no terceiro evento do dia 08/12/2018, onde o pico de vazão da entrada ocorreu em 21:57 e o do vertedor foi 23:15. Já o maior ocorreu no dia 16/03/2019, onde o pico da entrada ocorreu às 19:34 e, o da saída, às 03:24 do dia 17/03/2019. Essa constatação é indicativo tanto da ocorrência de caminhos preferenciais no interior da lagoa quanto da influência da vegetação no retardo do escoamento, tendo em vista que no evento do dia 08/12/2018 o nível d'água estava muito elevado e, no dia 16/03/2018, o nível estava abaixo de 20 cm, ou seja, o escoamento estava mais em contato com a vegetação do que no evento anterior.

5.3 ANÁLISE DOS DADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Para a análise qualitativa das águas pluviais que aportam à lagoa de detenção do Guará e avaliar a eficiência dessa na remoção dos poluentes, realizaram-se coletas de amostras nas respectivas estruturas de entrada e saída da lagoa com auxílio de amostrador automático. Durante o período chuvoso monitorado, foram coletadas 259 amostras na galeria de entrada, referentes a 11 eventos chuvosos, enquanto que, na saída, foram coletadas 234 amostras,

totalizando 493 amostras. As informações dos eventos amostrados na galeria de entrada e no vertedor de saída podem ser visualizadas nas Tabelas 5.2 e 5.3, respectivamente.

Tabela 5.2 – Resumo dos eventos de qualidade para a entrada da lagoa de detenção.

Evento	Dias antecedentes de estiagem	Nº de amostras coletadas	Horário de início da coleta	Intervalo (min)
12/11/2018	2	24	20:00	10
15/11/2018	1	19	21:43	10
04/12/2018	1	24	14:26	5
08/12/2018	2	24	13:06	10
22/12/2018	14	24	16:23	10
26/12/2018	1	24	21:39	10
26/01/2019	15	24	13:23	5
09/02/2019	1	24	16:09	5
22/02/2019	1	24	19:20	5
25/02/2019	0	24	07:42	5
16/03/2019	11	24	20:53	5

Tabela 5.3 – Resumo dos eventos de qualidade para a saída da lagoa de detenção.

Evento	Nº de amostras coletadas	Horário de início da coleta	Intervalo (min)
11/11/2018	24	06:35	10
15/11/2018	14	09:39	60
22/11/2018	24	09:30	60
27/11/2018	7	09:30	60
08/12/2018	24	17:17	30
09/12/2018	24	10:08	60
24/12/2019	24	14:39	60
27/12/2019	23	10:00	60
10/02/2019	22	14:38	60
25/02/2019	24	09:29	60
17/03/2019	24	00:37	60

Os resultados das análises físico-químicas das amostras são apresentados a seguir, a fim de possibilitar a compreensão do funcionamento da lagoa de detenção do Guará quanto a melhoria da qualidade da água pluvial. Os parâmetros a serem discutidos são: condutividade, turbidez, sólidos (totais, suspensos e dissolvidos), DQO, amônia, nitrito, nitrato, fósforo total e fósforo reativo.

É válido ressaltar que, devido a amortização promovida pela lagoa de retenção associada a eventos chuvosos próximos, o fluxo na saída da lagoa permanece por muitos dias, de forma que, em alguns casos, a coleta na saída foi feita sem que houvesse ocorrido chuva e consequente coleta de amostras na galeria de entrada. Essa questão teve influência, portanto, nas amostras coletadas na saída, de maneira que somente em 3 eventos a água pluvial observada na entrada coincidiu com a água coletada na saída, sendo eles: evento do dia 08/12/2018, 25/02/2019 e 16/03/2019. Eventos esses que ocorreram após um período antecedente de baixas precipitações, possibilitando o esvaziamento da lagoa de retenção.

Para os gráficos do tipo diagrama de caixa apresentados nos tópicos a seguir, aqueles referentes ao vertedor de saída foram associados à chuva que ocorreu imediatamente antes da coleta, mesmo essa não tendo ocorrido no mesmo dia da amostragem. Representou-se dessa forma devido à ocorrência de eventos de precipitação muito próximos, aumentando o volume acumulado no interior da lagoa de retenção e gerando uma vazão de saída por vários dias consecutivos, dificultando a correlação dos parâmetros qualitativos da saída com um evento chuvoso em específico.

No gráfico do tipo diagrama de caixa, as extremidades representam os valores máximos e mínimos dos dados; a linha do meio determina a mediana, ou segundo quartil; as partes inferior e superior da caixa corresponde, respectivamente, ao primeiro e terceiro quartil.

5.3.1 Condutividade

As Figuras 5.15 e 5.16 apresentam os dados de condutividade para a galeria de entrada e vertedor de saída, respectivamente. Percebe-se que o maior valor de condutividade obtido na entrada da lagoa foi de 118,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o evento do dia 26/01, que apresentou elevado número de dias antecedentes de estiagem, e o menor valor ocorreu no dia 15/11, correspondendo a 26,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No vertedor de saída, o maior valor foi de 95,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em 25/02/2019 e, o menor, correspondeu a 33,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em 09/12/2018. Avaliando o desvio padrão da condutividade (Tabela 5.4), percebe-se que houve uma baixa dispersão nos dados monitorados para esse parâmetro tanto para a entrada quanto para a saída da lagoa. Considerando os valores de condutividade em cada um dos eventos, percebe-se que os valores da saída variam bem menos do que os da entrada. O intervalo obtido dos valores de condutividade se assemelha com aqueles obtidos por Souza (2014). Por meio da Tabela 5.4,

percebe-se que os valores de condutividade na saída foram menores que os da entrada, mas pode-se notar, também, que a variação entre eles (entrada e saída) não foi muito significativa.

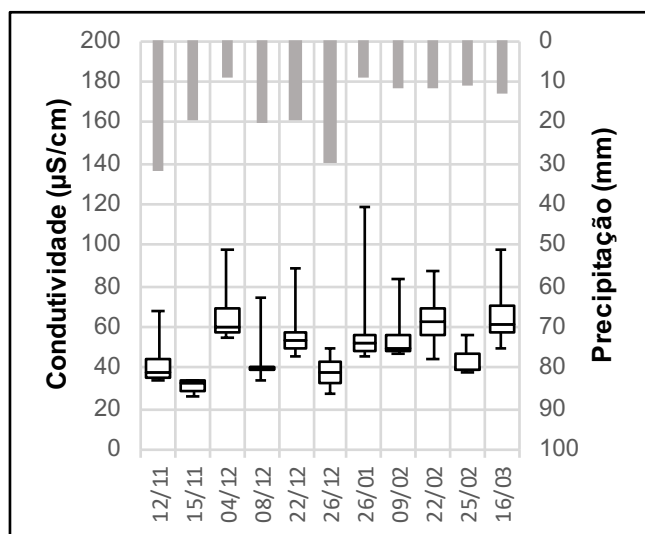


Figura 5.15 – Condutividade Entrada.

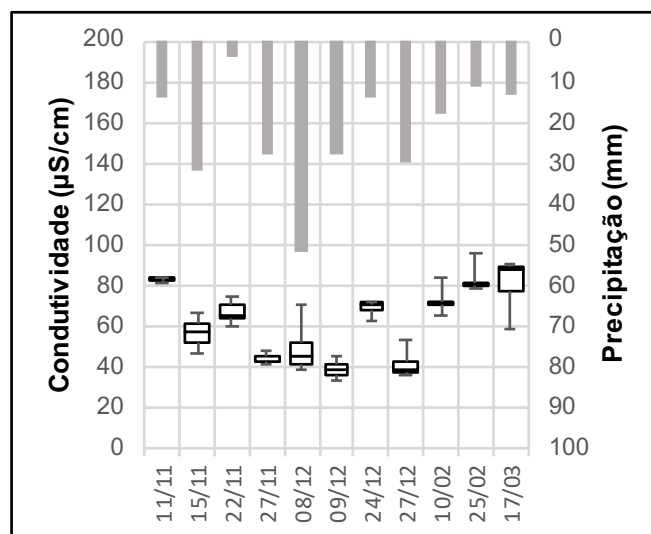


Figura 5.16 – Condutividade Saída.

Tabela 5.4 – Análise estatística da condutividade para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.

Parâmetros	Entrada	Saída
	Condutividade (µS/cm)	Condutividade (µS/cm)
Mínimo	26,10	33,40
Máximo	118,30	95,50
Média	50,69	63,39
Mediana	48,90	67,80
Desvio Padrão	14,71	17,25
Nº de amostras	259	234

Os polutogramas de condutividade ao longo do tempo de monitoramento para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará podem ser visualizados nas Figuras 5.17 e 5.18, respectivamente. Percebe-se que não é possível estabelecer uma relação entre condutividade e vazão. Em alguns casos, é possível observar que há pico de condutividade antes do pico de vazão, podendo indicar a ocorrência de primeira carga de lavagem, tendo em vista de que esse parâmetro está relacionado com a presença de sólidos dissolvidos e, conseqüentemente, íons/nutrientes.

As Figuras 5.19 a 5.24 apresentam o comportamento da condutividade ao longo da onda de cheia nos três eventos coincidentes para a entrada e saída. Para o evento intenso do dia 08/12/2018, percebe-se que a condutividade apresentou valores picos antes do pico

observado para a vazão, com seu valor decaindo e, em seguida, estabilizando no decorrer do evento. Para o evento do dia 25/02/2019, percebe-se pouca variação do parâmetro. Campana (2010) constatou que o adiantamento do pico do polutograma em relação ao hidrograma do escoamento superficial não é constante, sendo função da quantidade de dias antecedentes sem chuva.

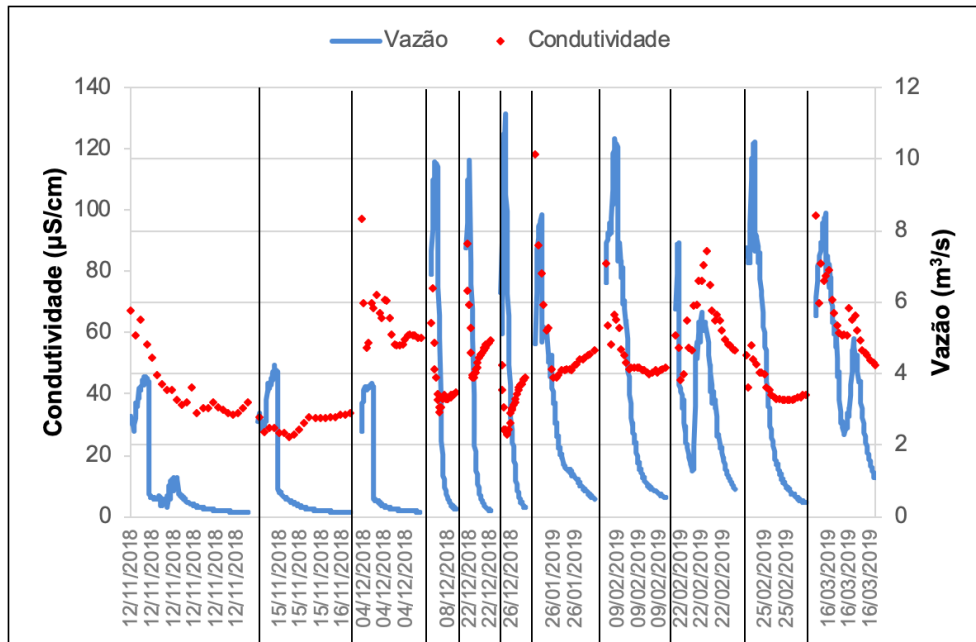


Figura 5.17 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Condutividade

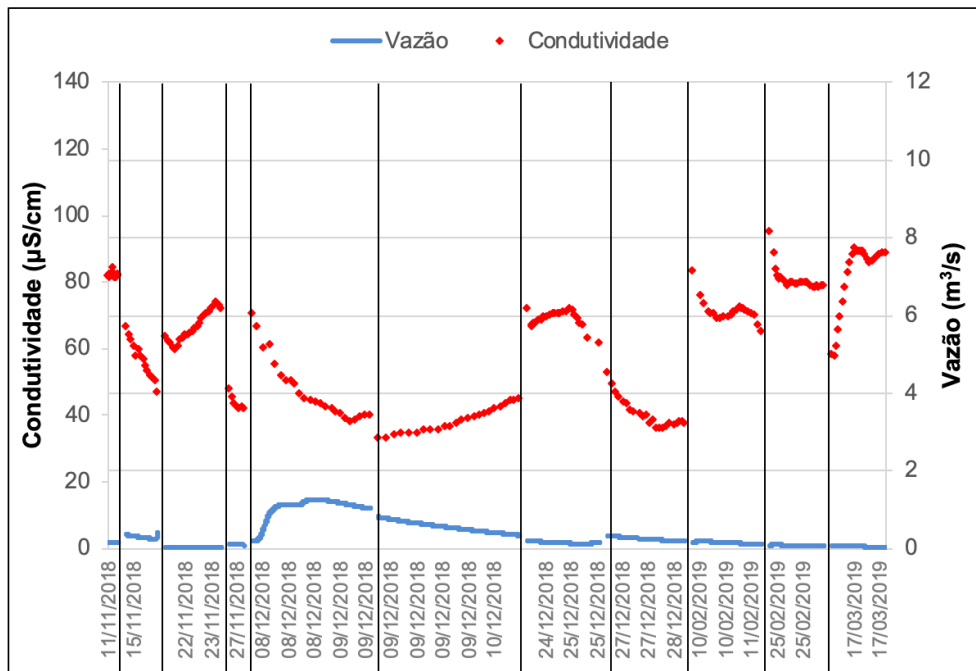


Figura 5.18 - Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para no vertedor de saída: Condutividade

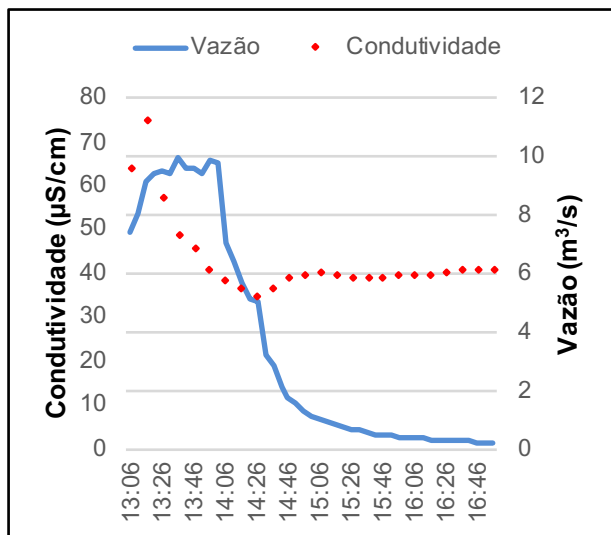


Figura 5.19 – Polutograma da condutividade para evento 08/12/2018: Entrada.

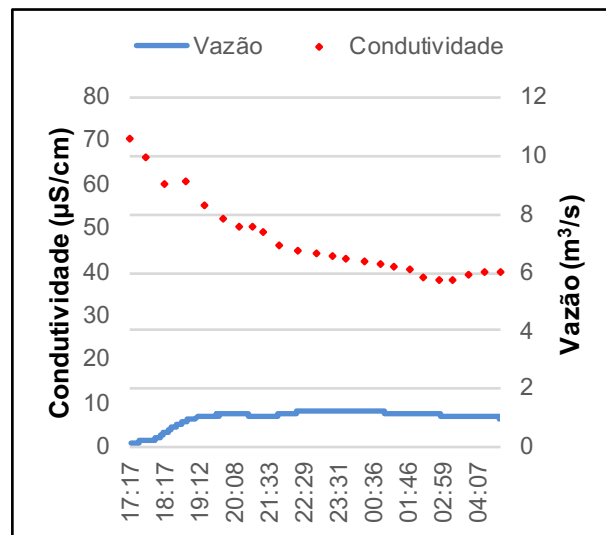


Figura 5.20 – Polutograma da condutividade para evento 08/12/2018: Saída.

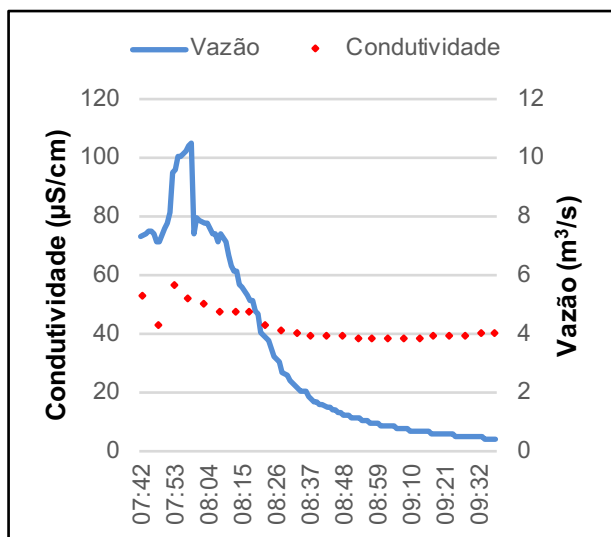


Figura 5.21 – Polutograma da condutividade para evento 25/02/2019: Entrada.

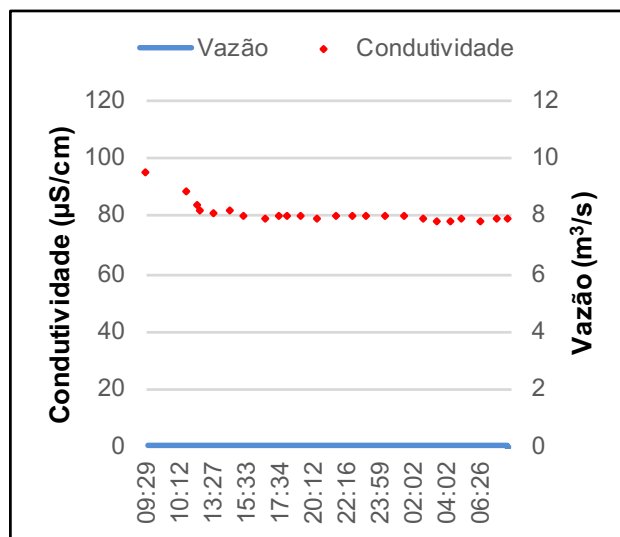


Figura 5.22 – Polutograma da condutividade para evento 25/02/2019: Saída.

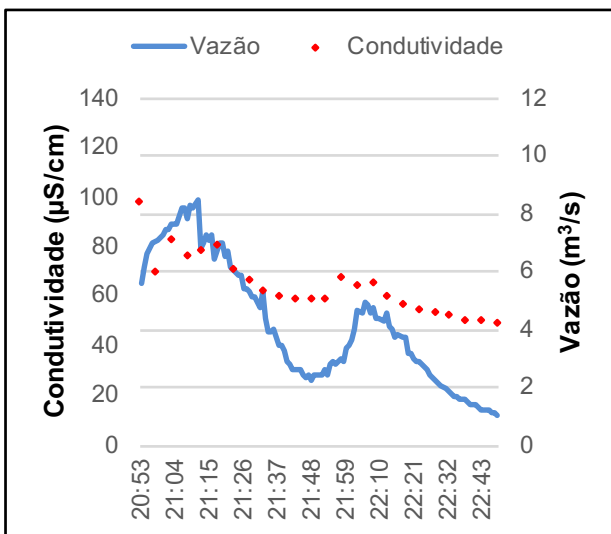


Figura 5.23 – Polutograma da condutividade para evento 16/03/2019: Entrada.

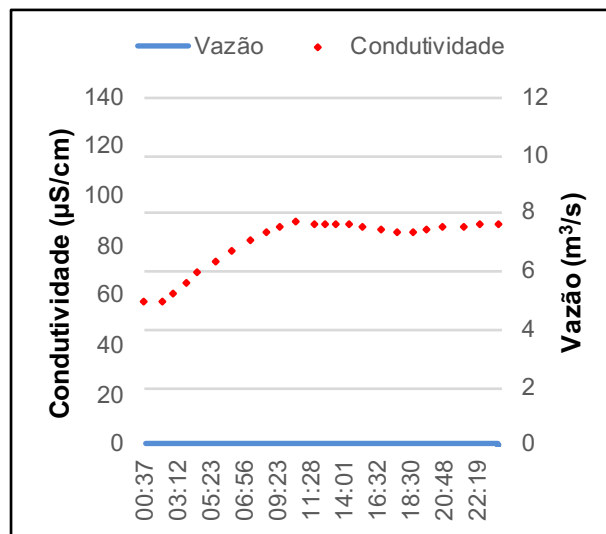


Figura 5.24 – Polutograma da condutividade para evento 16/03/2019: Saída.

5.3.2 Turbidez

Os valores de turbidez para a entrada da lagoa variaram entre 17,8 a 497,0 NTU, intervalo esse semelhante aos obtidos por Costa (2013) e Souza (2014) para sub-bacias localizadas no Plano Piloto de Brasília – DF. Já os valores desse parâmetro para a saída da lagoa variaram entre 2,77 e 34,90 NTU. Percebe-se a boa eficiência da lagoa de detenção na redução da turbidez, logo, boa remoção dos sólidos em suspensão da água pluvial.

A Resolução CONAMA 357/05 preconiza valores de turbidez de até 100 NTU para ambientes classe II, na qual o córrego Guará está inserido. Os valores observados na galeria de entrada ultrapassaram esse valor em 19,7% das vezes, sendo o maior valor para o período monitorado de 497 NTU, ocorrido no dia 04/12/2018. Já os valores de turbidez para a saída da lagoa encontram-se bem abaixo do limite imposto pela legislação, sendo o maior valor observado de 34,90 NTU, como pode ser observado na Tabela 5.5.

O evento do dia 04/12/2018 apresentou média de volume precipitado de 9,1 mm em 90 min de duração, ou seja, foi um evento pequeno, apresentando somente 1 dia antecedente sem precipitação. Entretanto, a primeira amostra coletada apresentou características de esgoto, justificando a elevada turbidez, como pode ser observado na Figura 5.27.

A turbidez para a entrada da lagoa apresentou grandes oscilações nos eventos de cheias analisados, indicando uma alta variabilidade desse parâmetro (Figura 5.25). Na saída, os valores se mostraram mais constantes, como pode ser inferido pelo valor obtido para o desvio padrão do conjunto de amostras e pelo gráfico de diagrama de caixa exposto na Figura 5.26.

Tabela 5.5 - Análise estatística da turbidez para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.

Parâmetros	Entrada	Saída
	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
Mínimo	17,80	2,77
Máximo	497,00	34,90
Média	79,85	10,35
Mediana	56,25	8,30
Desvio Padrão	68,30	7,53
Nº de amostras	259	234

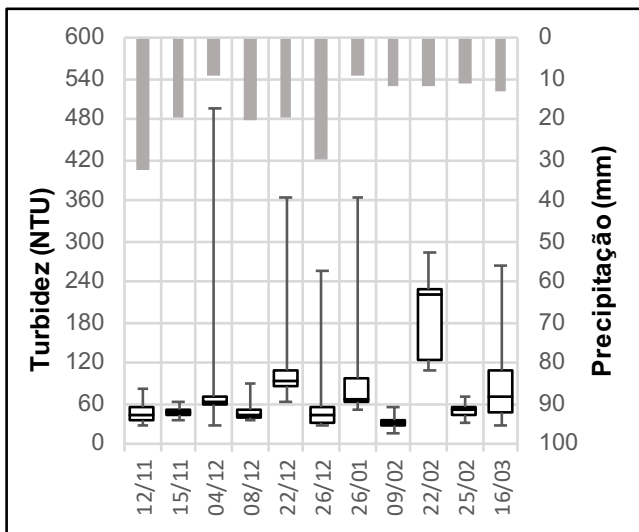


Figura 5.25 – Turbidez Entrada.

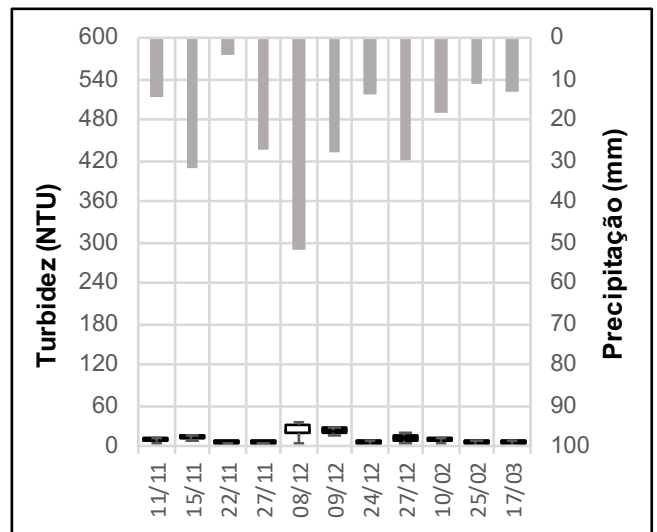


Figura 5.26 – Turbidez Saída.



Figura 5.27 – Amostras coletadas na entrada da lagoa do Guará, no evento do dia 04/12/2018. À esquerda da imagem, a primeira amostra coletada.

Os polutogramas referentes à turbidez para todos os eventos amostrados na entrada e na saída da lagoa podem ser visualizados nas Figuras 5.28 e 5.29. Diferentemente da condutividade, percebe-se que a turbidez apresenta uma correlação melhor com a vazão.

Observando as Figuras 5.30 a 5.35, onde são apresentados os polutogramas individuais para a entrada e saída da lagoa para os eventos do dia 08/12/2018, 25/02/2019 e 16/03/2019, e levando em consideração os dias antecedentes secos de cada evento, 2, 0 e 11, respectivamente, percebe-se que a turbidez está diretamente relacionada à quantidade de dias anteriores de estiagem.

O evento do dia 16/03/2019, que apresentou o maior número de dias anteriores secos, possuiu uma turbidez máxima de 266 NTU para a primeira amostra coletada. Nesse evento, a precipitação foi mais intensa nas áreas do SIA e nas redondezas da lagoa de detenção, áreas

essas mais impermeáveis e de comércio/indústria, logo, sujeitas a uma maior produção de sedimentos. O evento do dia 08/12/2018, que apresentou 2 dias anteriores de estiagem, teve turbidez máxima de 88,6 NTU, enquanto que o evento do dia 25/02/2019, sem dias anteriores secos, apresentou turbidez máxima de 71,1 NTU. Ressalta-se que esses dois últimos eventos foram mais intensos que o do dia 16 de março, como visto na Tabela 5.1.

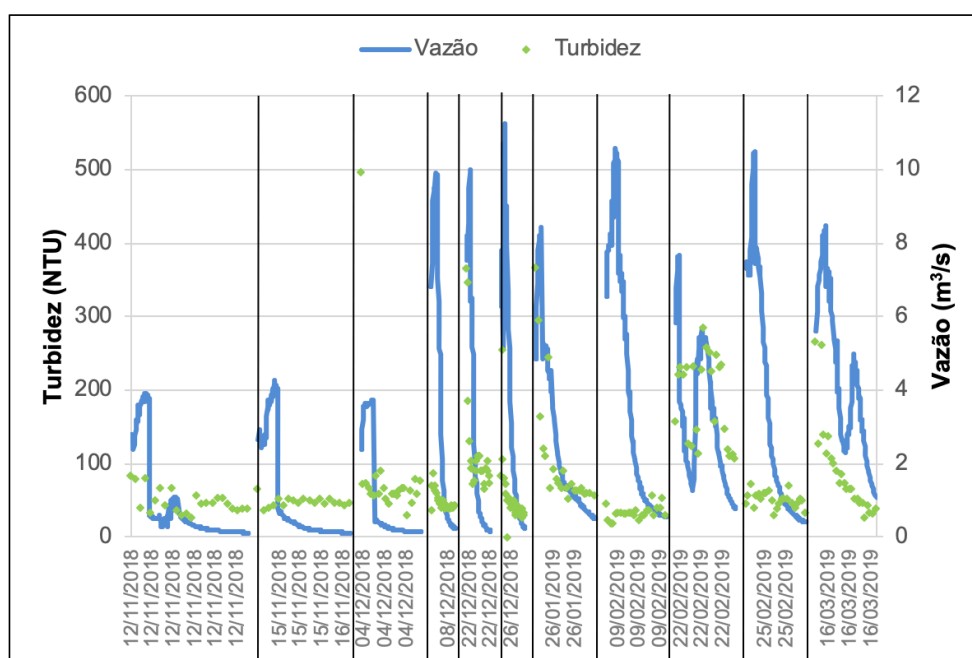


Figura 5.28 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Turbidez.

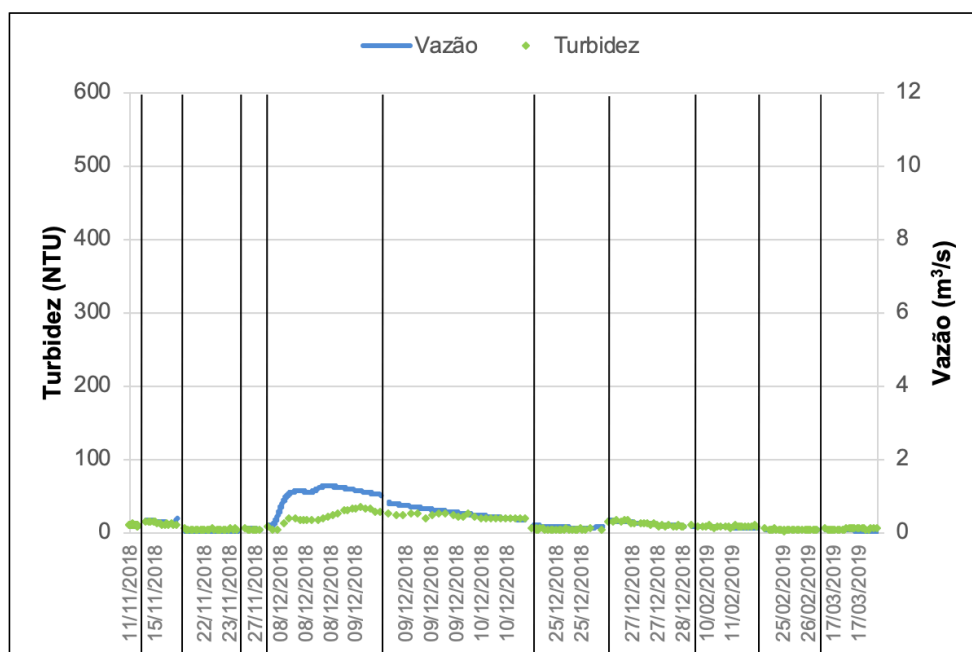


Figura 5.29 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: Turbidez.

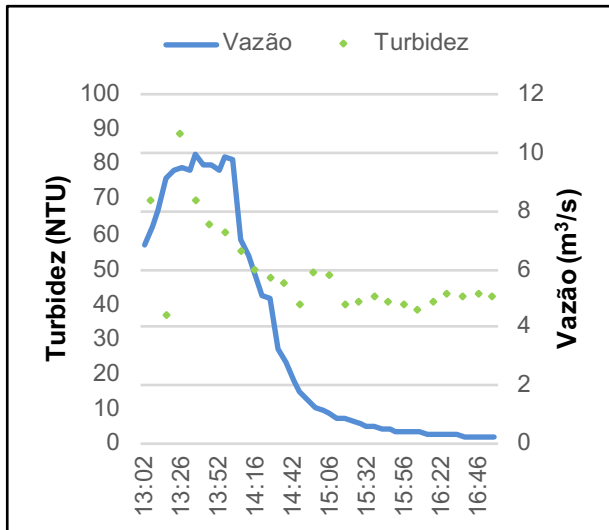


Figura 5.30 – Polutograma de turbidez para evento 08/12/2018: Entrada.

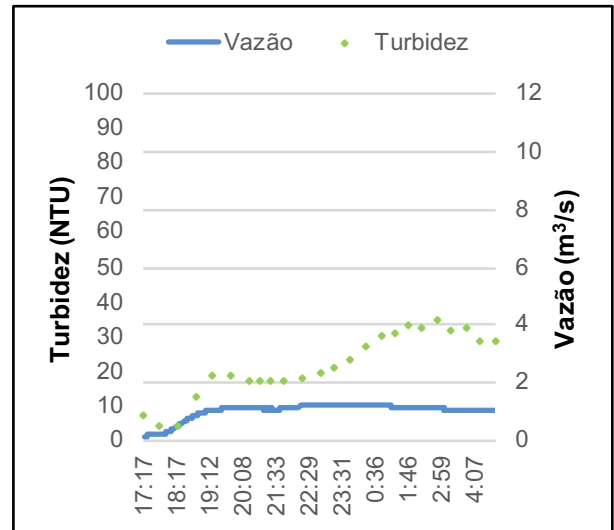


Figura 5.31 – Polutograma de turbidez para evento 08/12/2018: Saída.

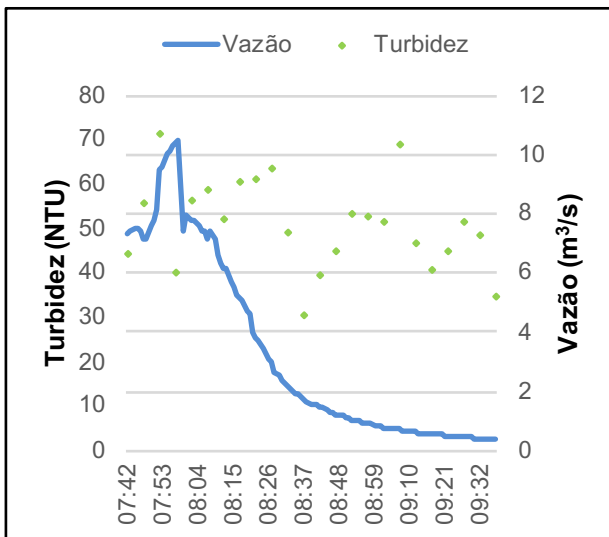


Figura 5.32 – Polutograma de turbidez para evento 25/02/2019: Entrada.

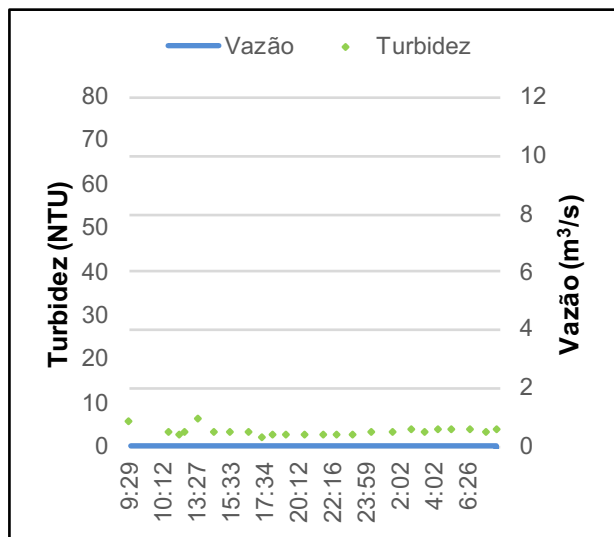


Figura 5.33 – Polutograma de turbidez para evento 25/02/2019: Saída.

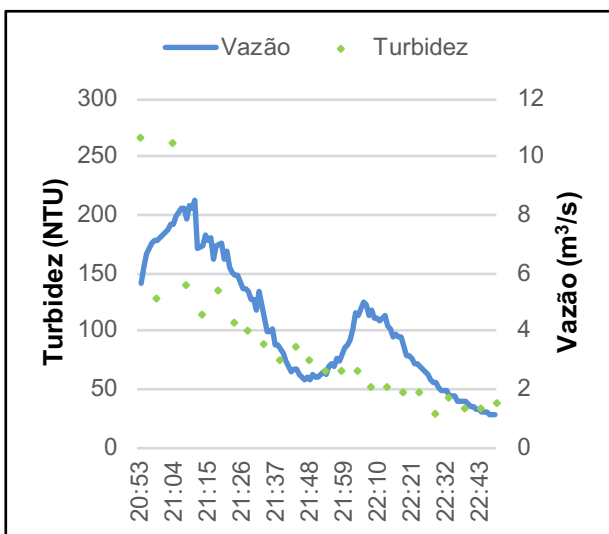


Figura 5.34 – Polutograma de turbidez para evento 16/03/2019: Entrada.

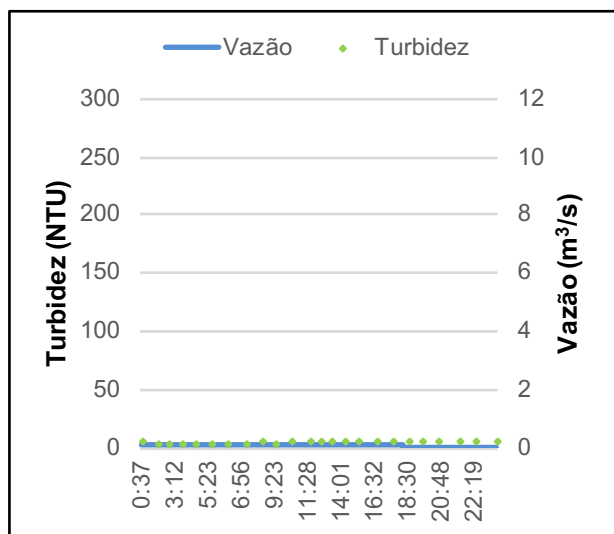


Figura 5.35 – Polutograma de turbidez para evento 16/03/2019: Saída.

5.3.3 Sólidos

A análise dos sólidos é de grande relevância, pois, em bacias de detenção, levam à diminuição do volume de reservação dessas devido ao assoreamento, reduzindo, portanto, sua eficiência no amortecimento de cheias. Além disso, constituintes tóxicos e poluentes encontram-se adsorvidos em sólidos suspensos, gerando malefícios aos corpos hídricos receptores. Além disso, a elevada turbidez, devido a presença de sólidos, reduz a intensidade dos raios luminosos que penetram nos corpos hídricos, afetando as características do ecossistema.

Observando a Tabela 5.6, percebe-se que, para a entrada, o maior valor de sólidos totais correspondeu a 658 mg/L e o de sólidos suspensos, a 492 mg/L, ambos referente ao dia 04/12/2018. O maior valor de sólidos dissolvidos para a entrada da lagoa correspondeu a 293 mg/L, referente ao evento do dia 22/02/2019. Os resultados de SS e SD para a entrada e saída da lagoa de detenção podem ser visualizados nos gráficos diagrama de caixa expostos nas Figuras 5.36 a 5.39.

Os valores de sólidos em suspensão para a saída da lagoa são bem menores que os observados na entrada, mas o mesmo não ocorre para os sólidos dissolvidos, indicando a baixa eficiência da lagoa na remoção desses. Para o evento do dia 25/02/2019, por exemplo, o valor de SD para a primeira amostra da entrada foi de 92,5 mg/L, já para a da saída foi de 116,33 mg/L. Essa situação observada sugere a ocorrência de ressuspensão no interior da lagoa, reforçada pelo fato de o nível na saída encontrar-se baixo e, portanto, ocorrer maior atrito entre escoamento e fundo da lagoa.

Tabela 5.6 – Análise estatística dos sólidos para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.

Parâmetros	Entrada			Saída		
	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)
Mínimo	14,00	8,50	0,00	3,00	0,00	2,00
Máximo	658,00	492,00	293,00	244,00	16,50	243,50
Média	109,43	68,50	40,93	46,87	3,40	43,47
Mediana	83,00	53,00	31,50	51,00	2,00	47,50
Desvio Padrão	83,46	56,73	36,08	24,55	3,00	25,32
Nº de amostras	231			209		

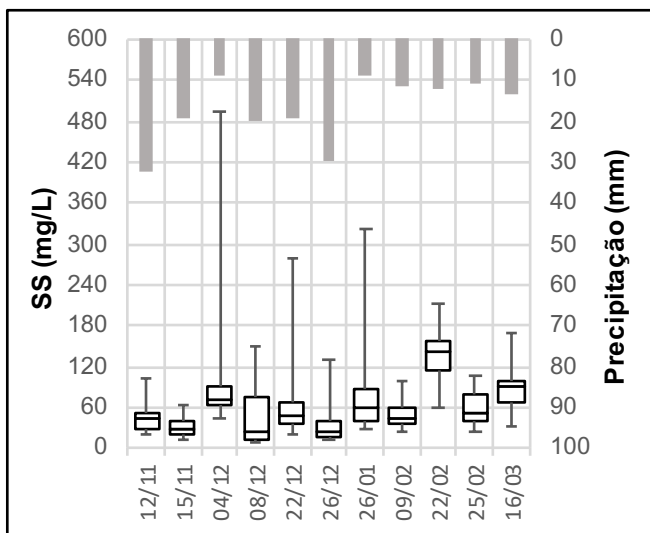


Figura 5.36 – Sólidos Suspensos Entrada.

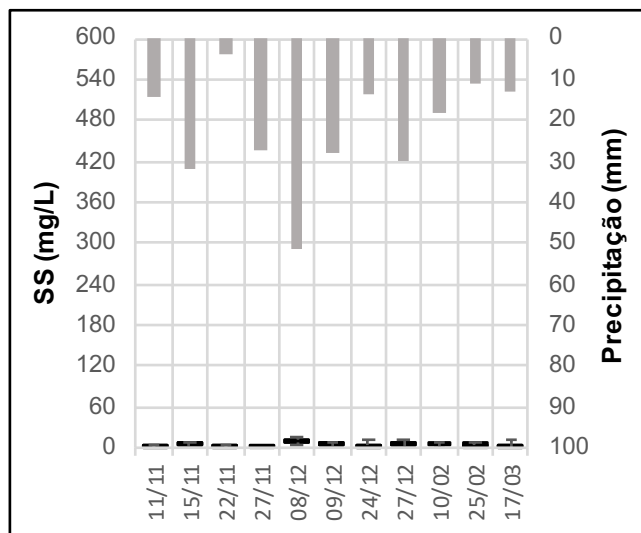


Figura 5.37 – Sólidos Suspensos Saída.

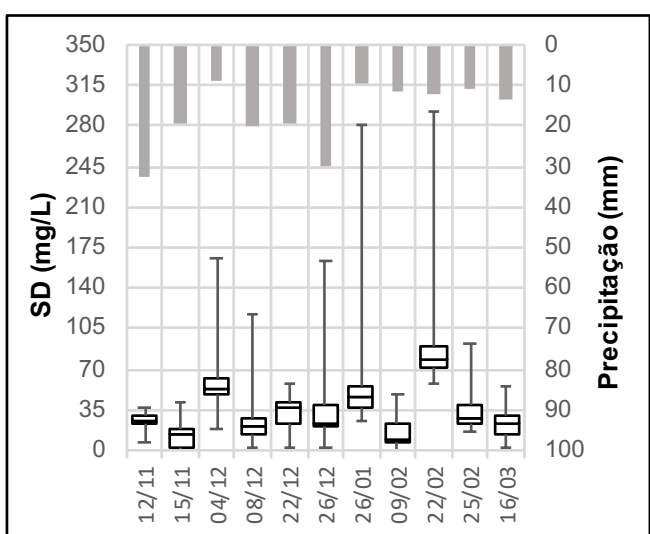


Figura 5.38 – Sólidos Dissolvidos Entrada.

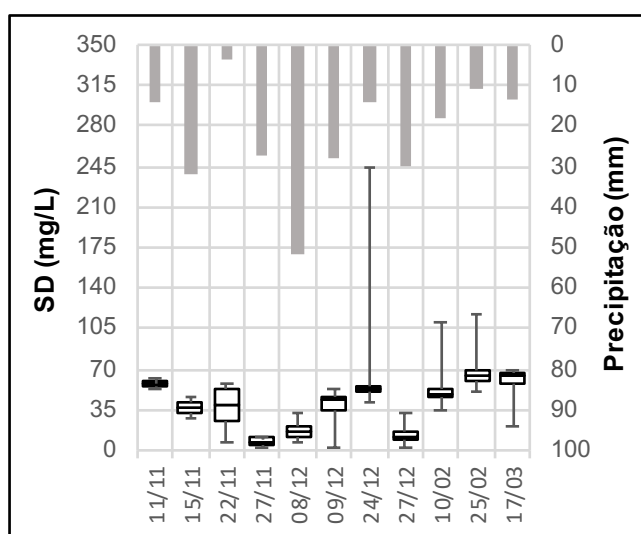


Figura 5.39 – Sólidos Dissolvidos Saída.

Observando o diagrama de caixa, na Figura 5.36, que apresenta os valores de SS, percebe-se que, no dia 04/12/2018, ocorreu um valor muito discrepante equivalente a 492 mg/L referente a primeira amostra coletada (Figura 5.27). Essa mesma amostra apresentou DQO de 680 mg/L, indicando a contaminação por esgotos.

Campana (2010) realizou uma compilação dos valores de concentrações de poluentes mais frequentemente encontrados no escoamento pluvial urbano e, para sólidos em suspensão, os valores variam entre 30,3 mg/L e 329,2 mg/L. Os valores observados para a galeria de entrada encontram-se próximos a essa faixa, enquanto que os do vertedor de saída apresentam resultados bem mais baixos, devido à sedimentação promovida pela lagoa de detenção. A Figura 5.40 ilustra a diferença existente entre as amostras da entrada e saída da lagoa de detenção quanto aos sólidos, ficando retido na membrana a fração correspondente

aos SS. Percebe-se que as membranas da saída são bem mais claras, apresentando bem menos sólidos em suspensão do que as da entrada.

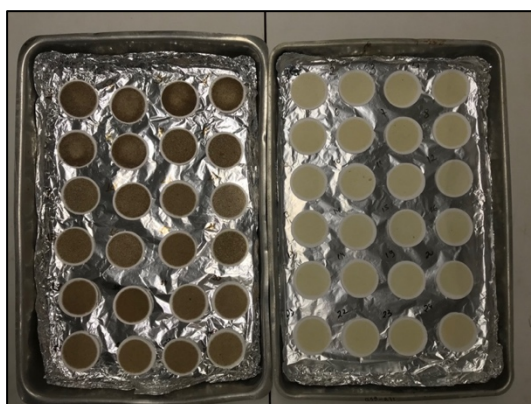


Figura 5.40 – Comparação entre as membranas utilizadas na filtração das amostras. À esquerda, membranas da galeria de entrada. À direita, membranas da saída.

Birch *et al.* (2006) observaram uma eficiência média de remoção de sólidos suspensos totais de 40%, com valores variando entre -12 e 93%, para uma bacia seca de detenção/retenção em Sydney – Austrália. Ainda com relação a esse estudo, os valores médios de concentração de ST obtidos foram de 576 mg/L e 107 mg/L para a entrada e saída da bacia, respectivamente, sendo os valores obtidos para a lagoa de detenção do Guará bem menores, correspondendo a 193,4 mg/L para a galeria de entrada e 46,8 para o vertedor de saída. As Figuras 5.41 e 5.42 ilustram as amostras brutas (sem filtração) da entrada e saída da lagoa.



Figura 5.41 – Amostras coletadas na galeria de entrada no evento do dia 25/02/2019.



Figura 5.42 – Amostras coletadas na saída da lagoa de detenção no evento do dia 25/02/2019.

Nas Figuras 5.43 e 5.44 estão organizados os dados de sólidos totais, em suspensão e dissolvidos observados na entrada e saída da lagoa de detenção, respectivamente, juntamente

com o hidrograma de cada evento. As concentrações de sólidos observadas na lagoa do Guará foram bem semelhantes as obtidas por Tsuji (2018). Os polutogramas apresentados nas Figuras 5.45 a 5.50 permitem a análise das frações de sólidos ao longo da passagem da onda de cheia. Na entrada, percebe-se que a concentração de ST diminui no decorrer do tempo. Na saída, observa-se que, apesar da concentração de SS reduzir significativamente, a de SD permanece elevada e, em alguns casos, até ultrapassa os valores de SD da entrada, como no aconteceu no dia 16/03/2019.

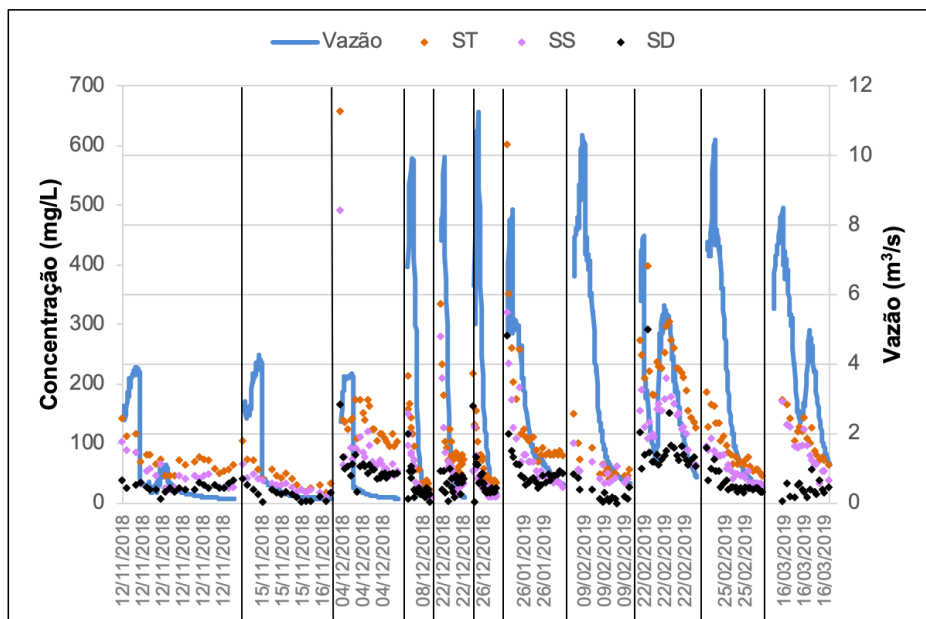


Figura 5.43 - Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Sólidos.

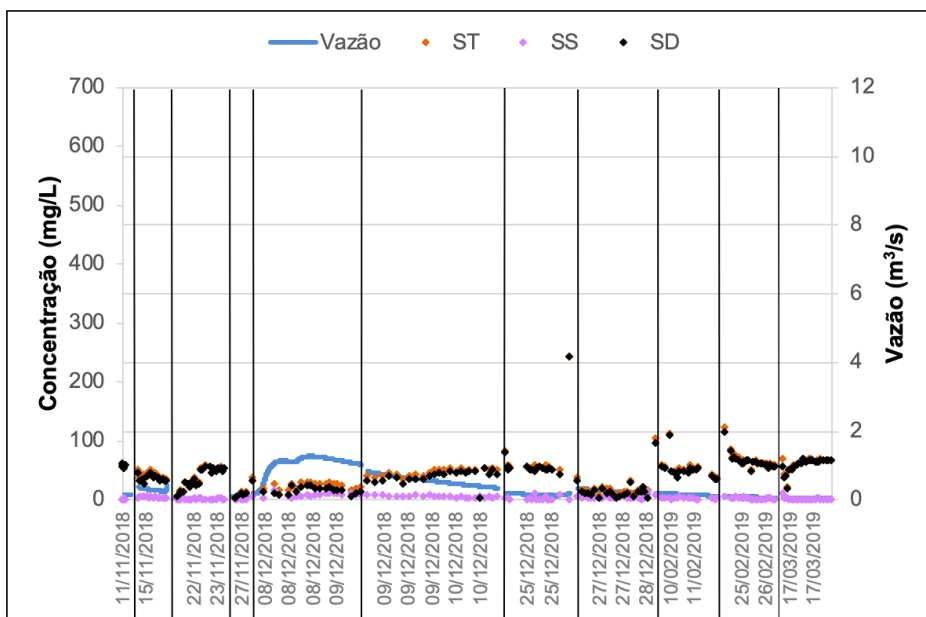


Figura 5.44 - Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: Sólidos.

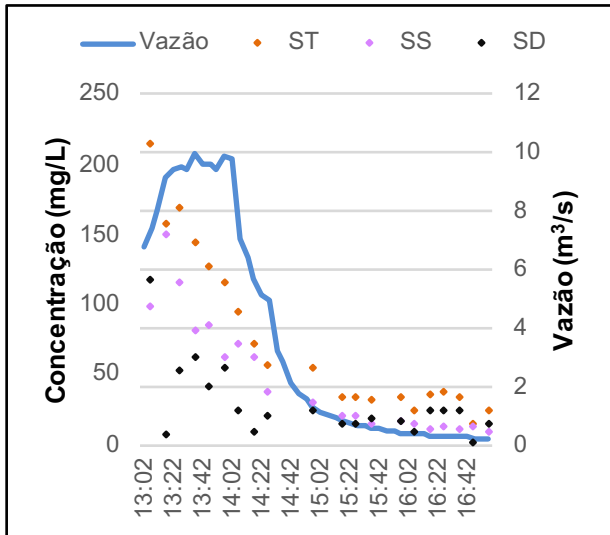


Figura 5.45 – Polutograma de sólidos para evento 08/12/2018: Entrada.

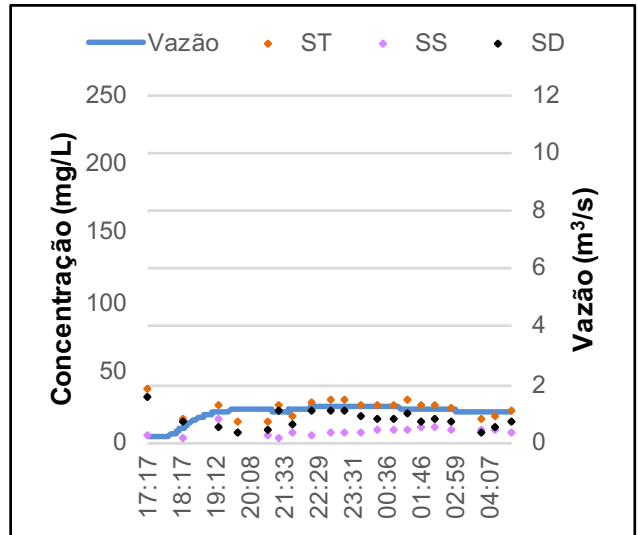


Figura 5.46 – Polutograma de sólidos para evento 08/12/2018: Saída.

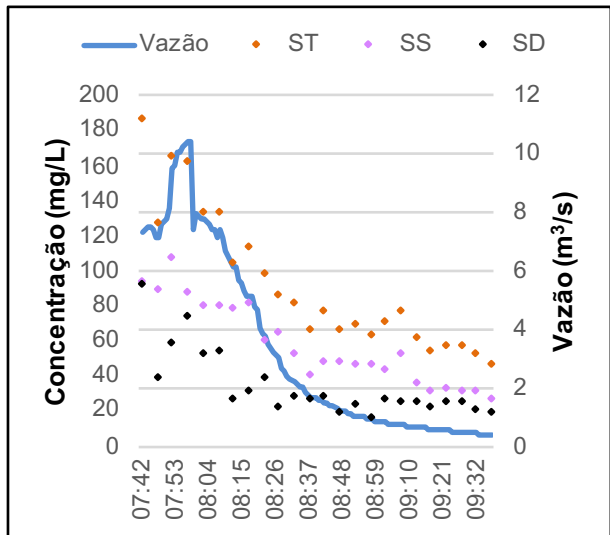


Figura 5.47 – Polutograma de sólidos para evento 25/02/2019: Entrada.

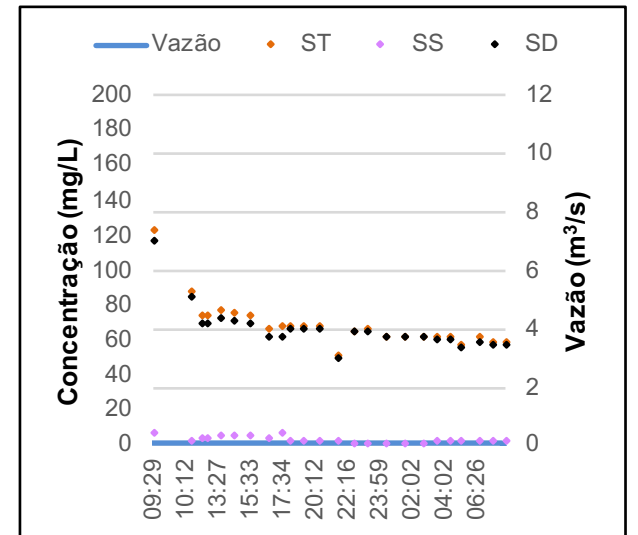


Figura 5.48 – Polutograma de sólidos para evento 25/02/2019: Saída.

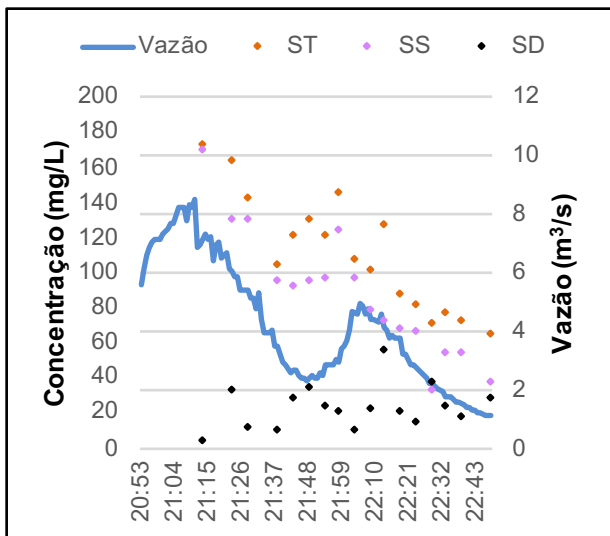


Figura 5.49 – Polutograma de sólidos para evento 16/03/2019: Entrada.

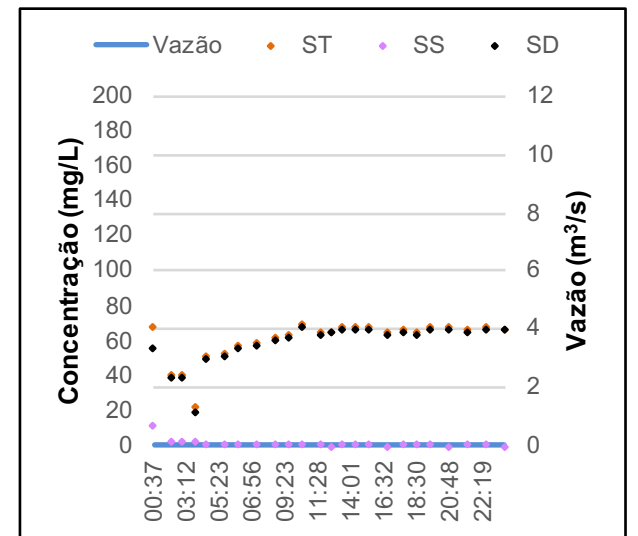


Figura 5.50 – Polutograma de sólidos para evento 16/03/2019: Saída.

5.3.4 Demanda Química de Oxigênio

A DQO é uma forma indireta de quantificar a matéria orgânica, ou seja, de determinar o potencial poluidor dessa, tendo em vista que, para a sua estabilização, é necessário o consumo de oxigênio dissolvido nas águas por parte dos microrganismos decompositores.

De acordo com Campana (2010), os valores mais frequentemente encontrados na literatura para DQO de águas pluviais variam de 0,87 mg/L a 84 mg/L. Na saída, os valores de DQO apresentam grau de variação semelhante, com exceção da primeira amostra para os eventos dos dias 10/02/2019, 25/02/2019 e 17/03/2019, que excederam 100 mg/L. A maioria dos valores de DQO observados na entrada (96%) encontra-se entre 0 e 160 mg/L.

Devido ao veranico intenso observado no mês de janeiro de 2019, a saída da lagoa de retenção manteve-se sem vazão por muitos dias e, mesmo com as chuvas no final de janeiro e início de fevereiro, não se observou vazão na saída até o dia 09/02/2019. Infere-se, portanto, que a DQO do dia 10/02/2019, a mais alta verificada na saída da estrutura em todo o período monitorado (289 mg/L), deve-se ao arraste e carreamento de partículas e poluentes que se encontravam depositados no fundo da lagoa.

As Figuras 5.51 e 5.52 apresentam os gráficos de diagrama de caixa para os dados de DQO obtidos no período analisado. Por meio deles, pode-se verificar a dispersão dos valores. Os valores da entrada apresentaram maior variabilidade do que os da saída, como pode-se observar na Tabela 5.7 por meio da média, mediana e desvio padrão.

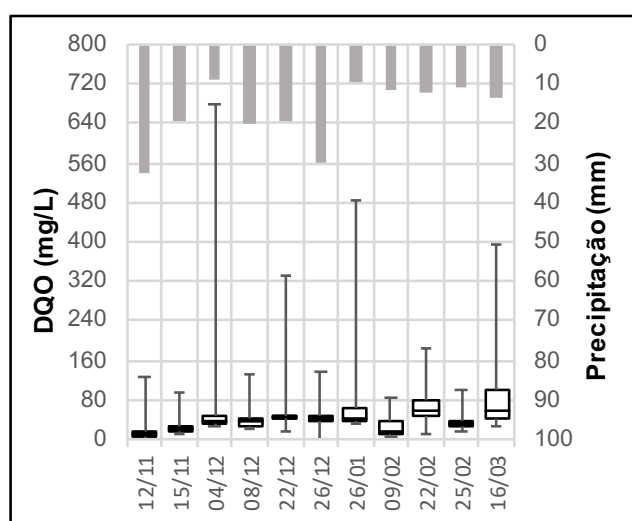


Figura 5.51 – DQO Entrada.

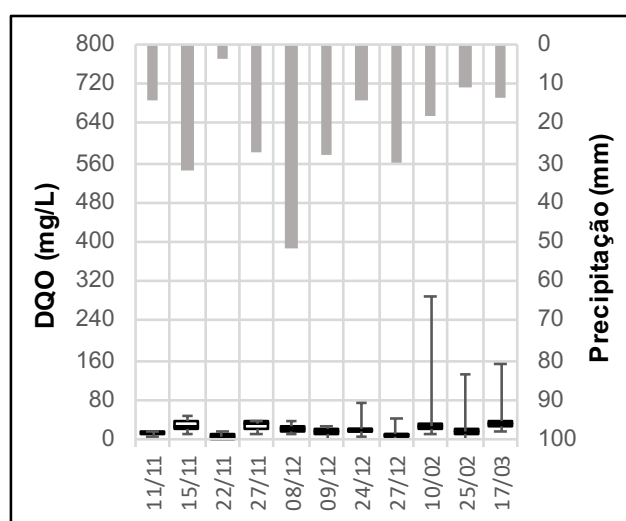


Figura 5.52 – DQO Saída.

Tabela 5.7 - Análise estatística dos sólidos para a entrada e saída da lagoa de retenção do Guará.

Parâmetros	Entrada	Saída
	DQO (mg/L)	DQO (mg/L)
Mínimo	0,00	0,00
Máximo	682,00	289,00
Média	52,34	20,41
Mediana	39,00	17,00
Desvio Padrão	66,31	24,48
Nº de amostras	252	224

Como já dito anteriormente, a maior DQO observada no período em análise correspondeu a 682 mg/L e ocorreu na primeira amostra coletada no dia 04/12/2018. Essa mesma amostra apresentou alta turbidez e elevada concentração de sólidos, indicando contaminação por esgotos. De acordo com Von Sperling (1996), a concentração típica de DQO em esgotos brutos é de 700 mg/L, valor bem próximo ao obtido no dia 04 de dezembro.

Henz (2019) realizou análises de coliformes para a lagoa de retenção do Guará, tanto em período chuvoso quanto seco, e observou altos valores de coliformes na entrada dessa, indicando contaminação da água pluvial por esgotos domésticos e, portanto, existência de ligações clandestinas de esgoto sanitário à rede de drenagem. No estudo, verificou-se que a lagoa do Guará é eficiente na redução da concentração de coliformes, apresentando eficiência de remoção maior que 90% para coliformes fecais. Birch *et al.* (2006) verificou eficiência de remoção para coliformes fecais entre 16 e 68% para quatro eventos chuvosos analisados em uma bacia de retenção na Austrália.

As Figuras 5.53 e 5.54 trazem os polutogramas da DQO para os eventos monitorados na entrada e saída da lagoa, respectivamente. Já as Figuras 5.55 a 5.60 apresentam os polutogramas de entrada e saída para eventos do dia 08/12/2018, 25/02/2019 e 16/03/2019.

É válido ressaltar que o constituinte responsável pela matéria orgânica nas águas encontra-se sob a forma de sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos. Como a lagoa apresenta boa eficiência na remoção de sólidos suspensos, há uma redução já esperada nos valores de DQO. De forma a melhorar a eficiência dessa, deve-se investir na remoção de partículas dissolvidas, tendo em vista que, atualmente, essa não é satisfatória.

Observa-se que o evento que apresentou mais dias antecedentes secos, no caso o evento 16/03/19, foi o que apresentou maior valor de DQO entre os três eventos analisados. Righetto *et al.* (2017) observou correlação estatisticamente significativa entre DQO e o número de dias antecedentes secos, com R^2 igual a 0,503. Para o presente estudo, desconsiderando o valor da DQO do dia 04/12/2018, que sofreu influência por contaminação de esgoto, obteve-se correlação de entre o número de dias secos e a demanda química de oxigênio de R^2 igual a 0,871.

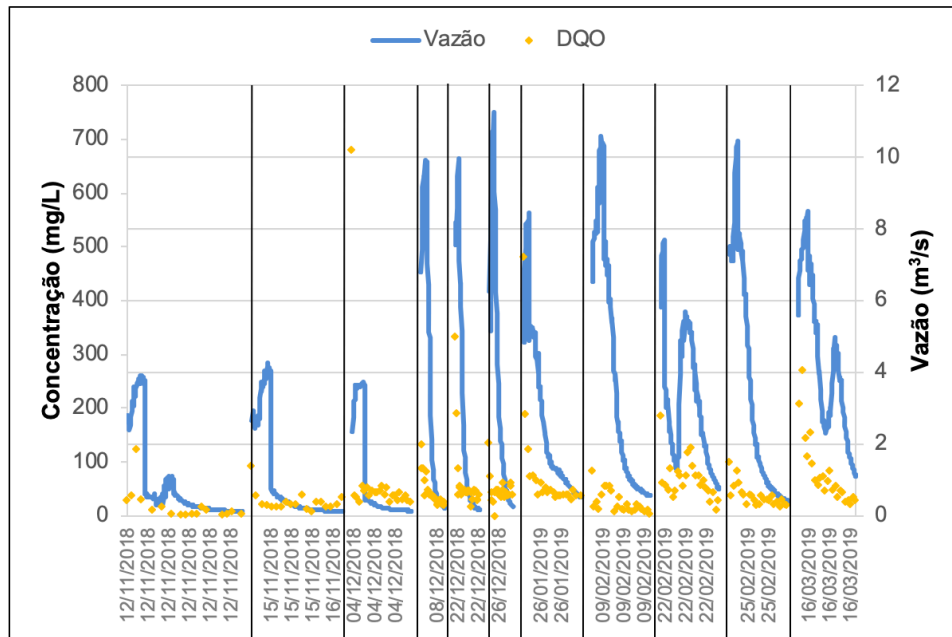


Figura 5.53 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: DQO.

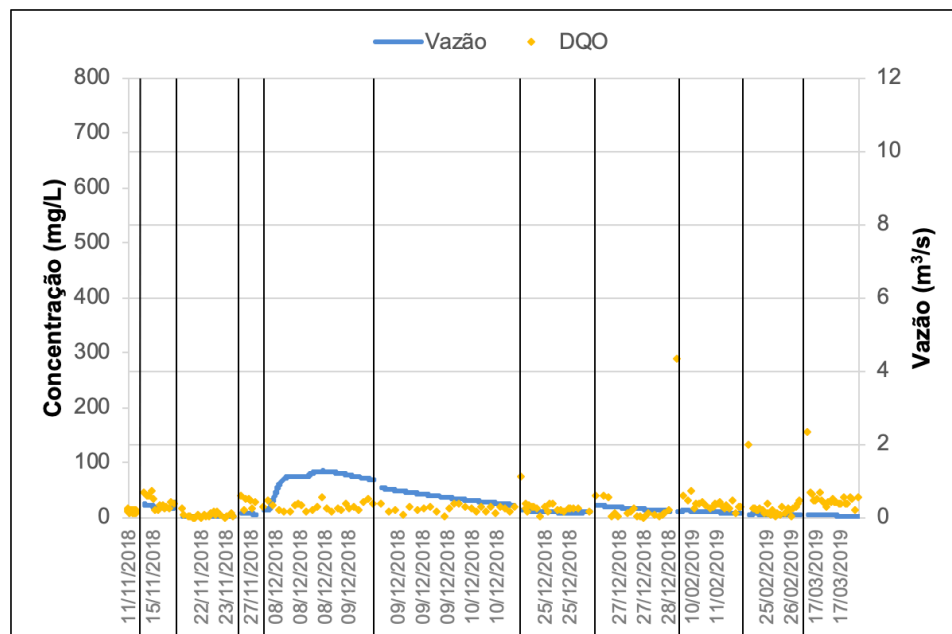


Figura 5.54 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: DQO.

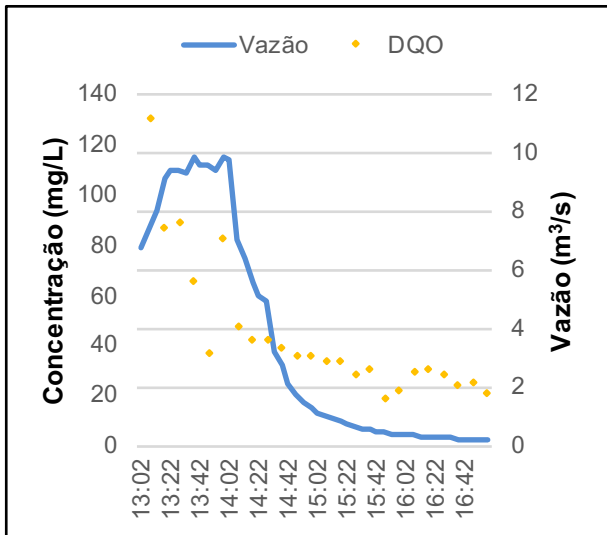


Figura 5.55 – Polutograma de DQO para evento 08/12/2018: Entrada.

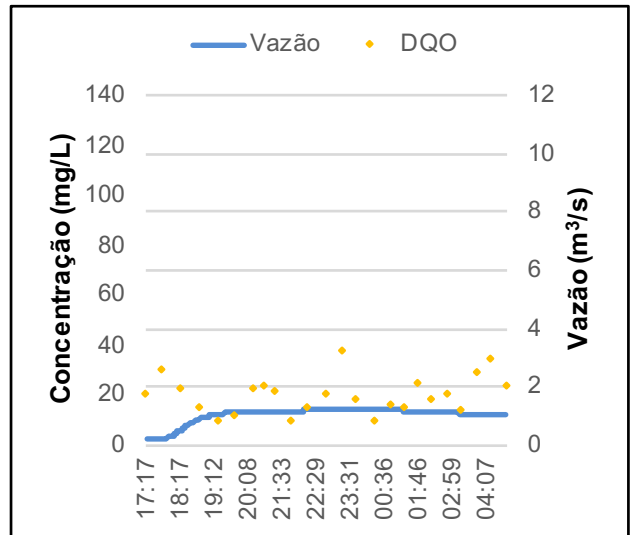


Figura 5.56 – Polutograma de DQO para evento 08/12/2018: Saída.

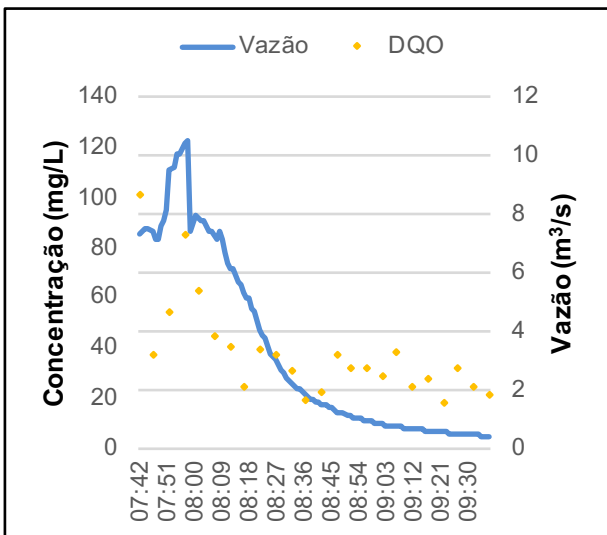


Figura 5.57 – Polutograma de DQO para evento 25/02/2019: Entrada.

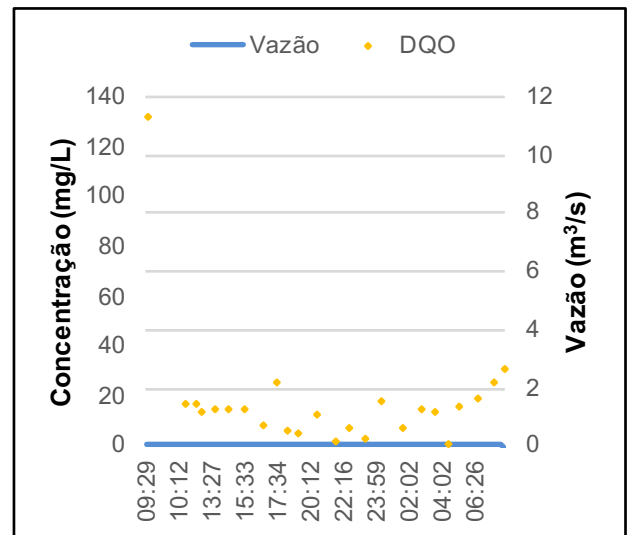


Figura 5.58 – Polutograma de DQO para evento 25/02/2019: Saída.

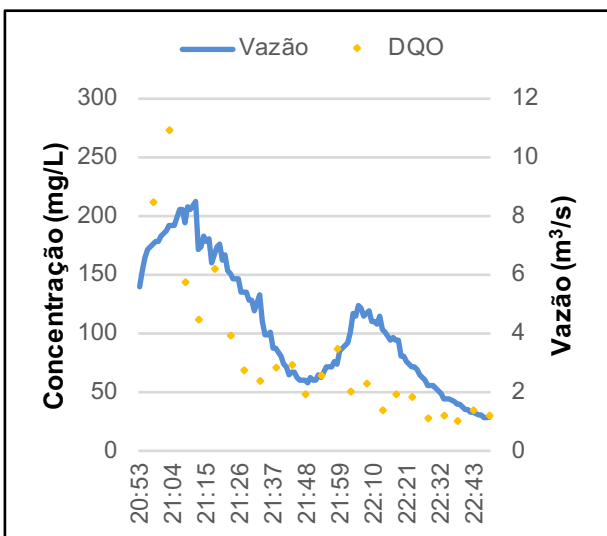


Figura 5.59 – Polutograma de DQO para evento 16/03/2019: Entrada.

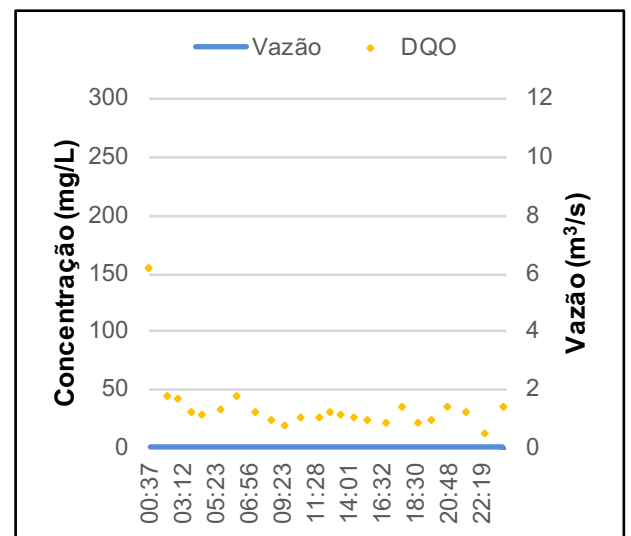


Figura 5.60 – Polutograma de DQO para evento 16/03/2019: Saída.

5.3.5 Fósforo

As principais fontes de fósforo no sistema incluem despejos domésticos ou industriais, excremento de animais, detergentes, fertilizantes, deposição atmosférica, sendo a principal fonte dessa última a poeira advinda de construções e da agricultura (Von Sperling, 2007). O fósforo é um macronutriente de grande importância devido a sua participação em processos fundamentais dos seres vivos. E, devido a sua frequente escassez na forma biologicamente disponível, o fósforo é considerado, em diversos ecossistemas, o principal fator limitante da produtividade e, por esse motivo, é apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial desses ambientes aquáticos (Esteves, 2011).

A principal forma de entrada de fósforo em bacias de retenção se dá por meio da ligação desse com partículas de sedimento, nas quais as concentrações de íons de ferro e cálcio são fundamentais. O fósforo é removido do sistema através da sedimentação e deposição no sedimento de fundo (Troitsky *et al.*, 2019; Esteves, 2011).

O fator que mais influencia na remoção de fósforo é o tempo de retenção no interior da bacia de retenção/retenção. Estruturas que possuam alta relação comprimento-largura tendem a promover melhor remoção desse nutriente, tendo em vista que são menos propícios a curtos-circuitos e armazenamento morto (Troitsky *et al.*, 2019). A lagoa de retenção do Guará, devido a sua configuração, apresenta baixa relação comprimento-largura, equivalente a, aproximadamente 1,1.

A Tabela 5.8 apresenta alguns valores estatísticos do fósforo na lagoa de retenção do Guará durante o período monitorado. Os valores de fósforo total variaram de 1,04 a 0,04 mg/L na entrada da lagoa e de 0,64 a 0,03 mg/L na saída da estrutura. Souza (2014) obteve intervalo semelhante ao observado na entrada da lagoa para sub-bacia urbana em Brasília-DF, com valores de 1,31 a 0,02 mg/L.

A Resolução CONAMA 357/05 preconiza valor máximo para fósforo total de 0,1 mg/L para ambiente lótico tributário de ambientes intermediários, que é o caso do córrego Guará, afluente do córrego Riacho Fundo, que, por sua vez, desemboca no Lago Paranoá. Esse valor foi superado na saída da lagoa em aproximadamente 84% das medições, indicando que

mesmo após detenção na lagoa, a água efluente não se adequa ao limite imposto pela Resolução.

Tabela 5.8 – Análise estatística do fósforo para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.

Parâmetros	Entrada		Saída	
	PT (mg/L)	Reativo (mg/L)	PT (mg/L)	Reativo (mg/L)
Mínimo	0,04	0,02	0,03	0,02
Máximo	1,04	0,43	0,64	0,12
Média	0,27	0,07	0,20	0,06
Mediana	0,22	0,06	0,20	0,05
Desvio Padrão	0,17	0,04	0,10	0,02
Nº de amostras	258		221	

As Figuras 5.61 e 5.62 mostram a variação de fósforo total em cada evento, para a entrada e saída da lagoa de detenção, respectivamente. Os valores de PT na entrada apresentaram maior amplitude do que os observados na saída.

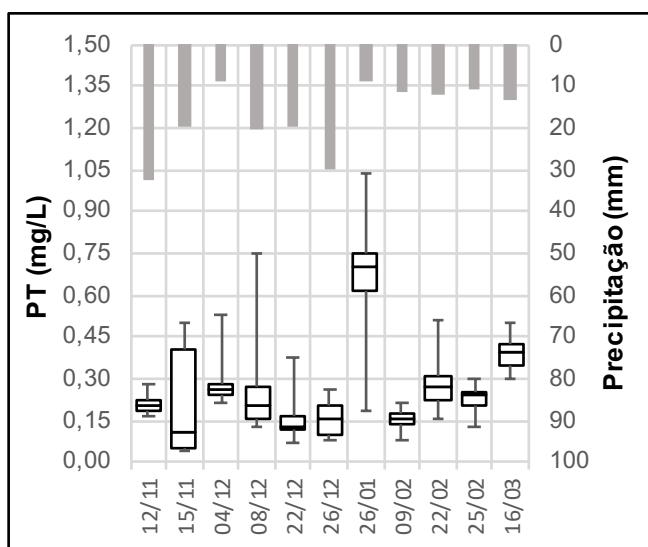


Figura 5.61 – Fósforo Total Entrada.

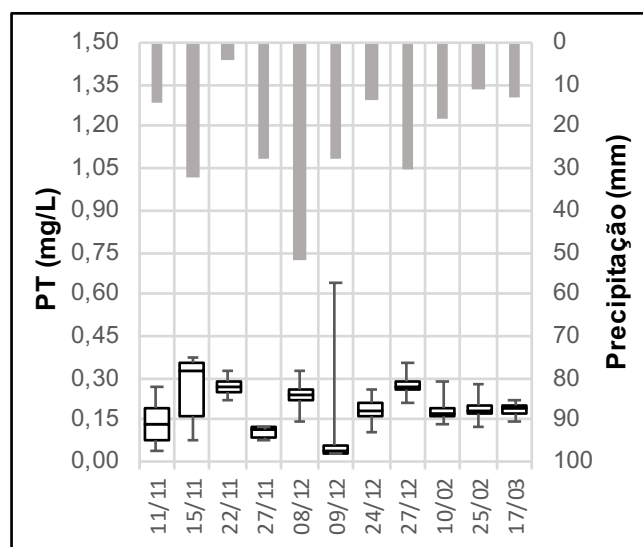


Figura 5.62 – Fósforo Total Saída.

As Figuras 5.63 e 5.64 mostram os dados de fósforo (total e reativo) ao longo do tempo de monitoramento juntamente com a vazão observada nos eventos. As Figuras 5.65 a 5.70 apresentam o comportamento do P em eventos específicos.

Birch *et al.* (2006) observaram uma alta variabilidade quanto à eficiência de remoção de nutrientes da água pluvial por meio de uma bacia de detenção seca. Quanto ao fósforo total,

a eficiência média de remoção observada no estudo foi de -5%, com resultados variando entre -61 a 76%, ou seja, pela eficiência média, foi observado um aumento do fósforo total na saída da bacia analisada por ele. É possível relacionar essa constatação à ressuspensão de partículas finas durante a passagem do fluxo, tendo em vista de que se trata de uma bacia de detenção seca e, portanto, o contato entre água e sedimento é maior do que em bacias de detenção alagadas.

Observando as Figuras 5.65 a 5.70, é possível notar a nítida diminuição da concentração de fósforo total no evento do dia 16/03/2019, com esse variando, aproximadamente, entre 0,3 e 0,5 mg/L para a entrada, enquanto que, na saída, essa faixa é reduzida para 0,1 e 0,2 mg/L. Entretanto, para os eventos do dia 08/12/2018 e 25/02/2019, não se percebe nenhuma tendência. Quanto ao P reativo (PO_4^{3-}), percebe-se que, em geral, esse apresenta valores muito semelhantes entre galeria e vertedor para um mesmo evento.

Lodhi (2014) avaliou a concentração de fósforo no sedimento, antes e após eventos chuvosos, de seis bacias de detenção localizadas no estado de Nevada – EUA. As amostras coletadas pós-chuva apresentaram maior concentração de fósforo do que as amostras pré-chuva. Essa análise é relevante, pois mudanças na concentração desse nutriente dentro da lagoa de detenção indicam a eficiência da estrutura no processo de sedimentação de partículas e, conseqüentemente, do fósforo e demais poluentes associados a essas.

Ainda com relação ao estudo feito por Lodhi (2014), foi observada correlação estatisticamente alta entre tamanho das partículas do sedimento e concentração de fósforo, em que quanto menor a partícula, mais alta a concentração do fósforo nessa. Essa questão pode justificar a baixa remoção desse nutriente em lagoas de detenção, tendo em vista que partículas finas sedimentam com menos facilidade, exigindo maiores tempos de retenção.

O mesmo foi observado por Pettersson (1998) *apud* Keßler *et al.* (2016), onde poluentes associados a partículas suspensas são eficientemente removidos, enquanto que poluentes dissolvidos não são. Isso é atribuído à redução da velocidade no interior da estrutura de detenção, favorecendo à sedimentação da matéria particulada em suspensão.

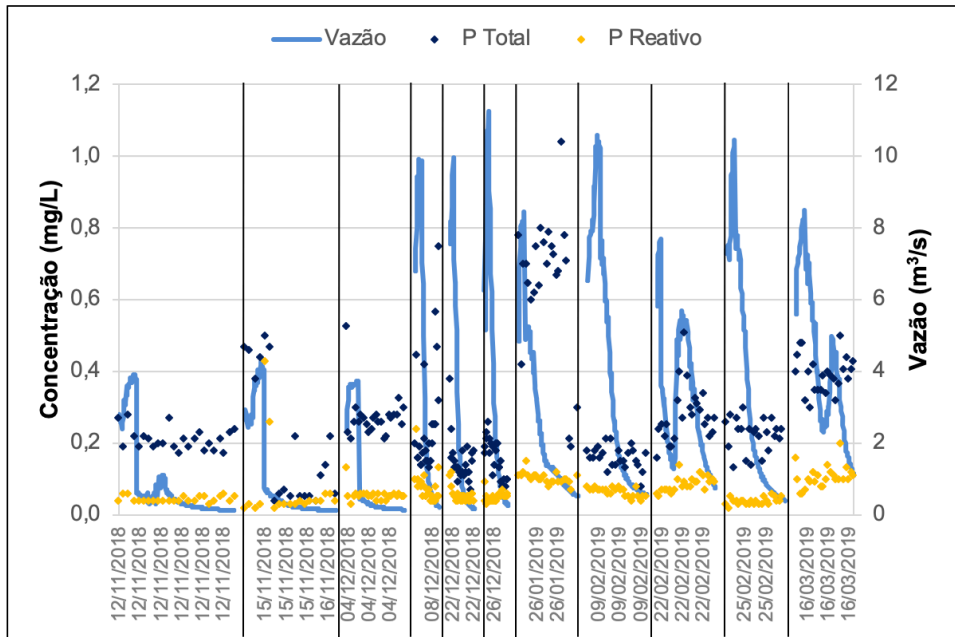


Figura 5.63 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Fósforo.

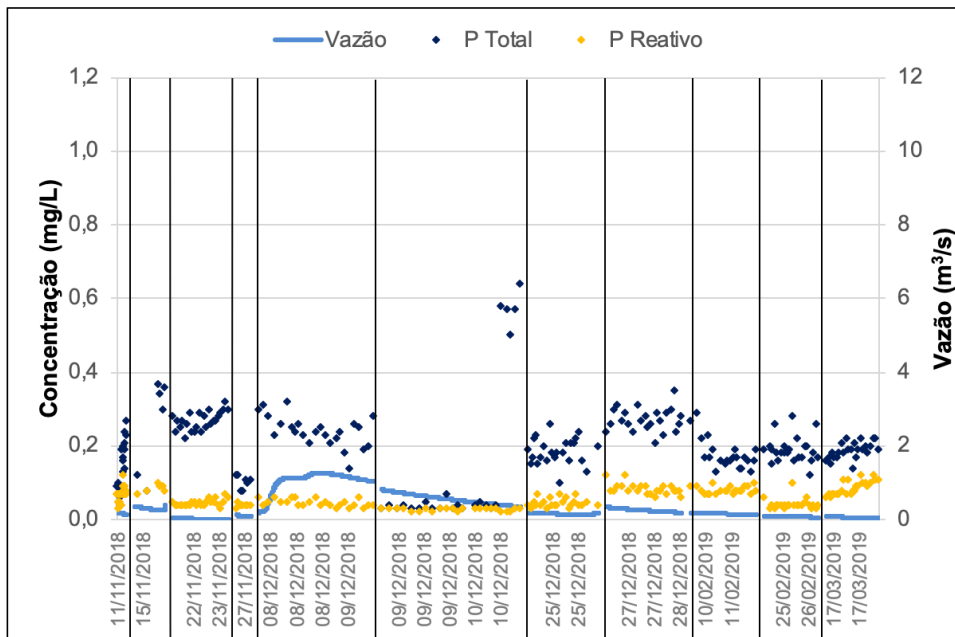


Figura 5.64 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: Fósforo.

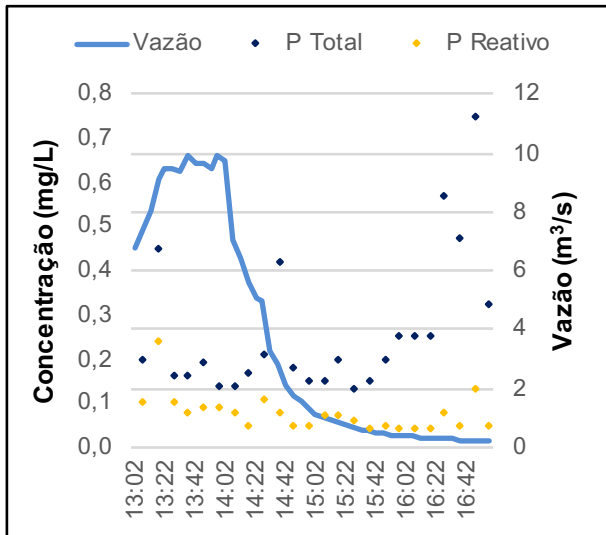


Figura 5.65 – Polutograma de fósforo para evento 08/12/2018: Entrada.

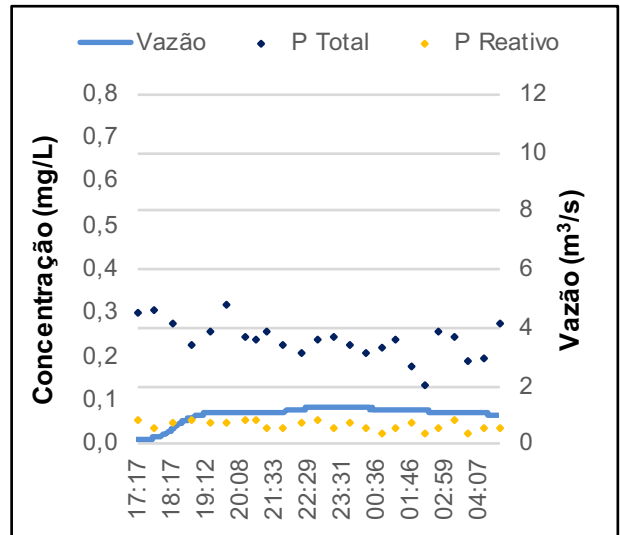


Figura 5.66 – Polutograma de fósforo para evento 08/12/2018: Saída.

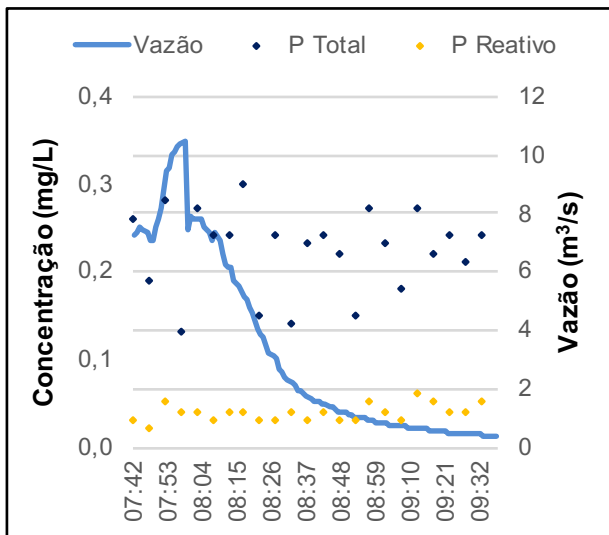


Figura 5.67 – Polutograma de fósforo para evento 25/02/2019: Entrada.

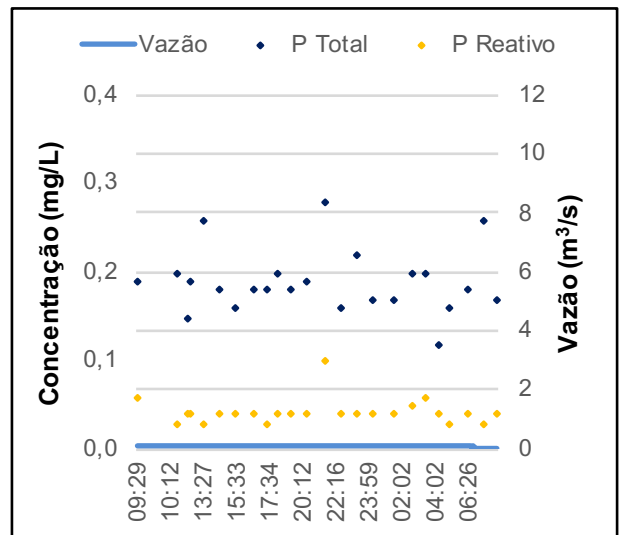


Figura 5.68 – Polutograma de fósforo para evento 25/02/2019: Saída.

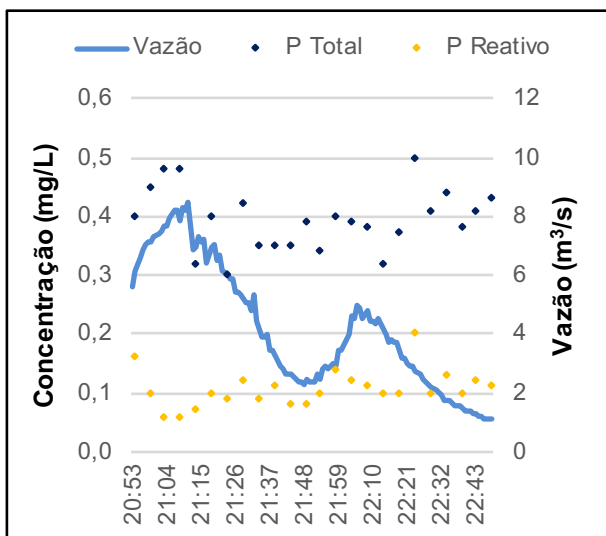


Figura 5.69 – Polutograma de fósforo para evento 16/03/2019: Entrada.

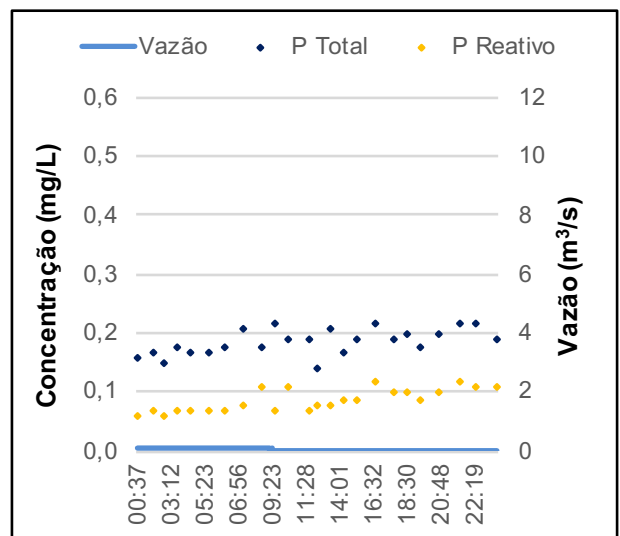


Figura 5.70 – Polutograma de fósforo para evento 16/03/2019: Saída.

5.3.6 Nitrogênio

O nitrogênio inorgânico dissolvido pode ser encontrado sob a forma de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3) e íon amônio (NH_4^+). A amônia é o produto final da mineralização do nitrogênio orgânico, processo conhecido como amonificação. Na presença de oxigênio, essa forma reduzida de nitrogênio inorgânico é oxidada em nitrito e, em seguida, em nitrato, num processo denominado nitrificação, que é predominantemente aeróbico (Esteves, 2011).

Em ambientes aquáticos onde a coluna d'água não apresenta estratificação quanto ao oxigênio dissolvido, as concentrações de nitrato costumam ser mais elevadas, devido à nitrificação. Já ambientes anóxicos ricos em carbono orgânico favorecem a redução dissimilatória do nitrito em íon amônio, também chamada de amonificação do nitrito.

De acordo com Troitsky *et al.* (2019), a concentração média de nitrogênio total em sistemas de esgotamento combinado é de 12,6 mg/L, enquanto que, para sistema separador absoluto, a concentração nas águas pluviais é de 2,4 mg/L. Pela Tabela 5.9, percebe-se que o maior valor de nitrogênio total na galeria de entrada correspondeu a 2,92 mg/L, mas deve-se ressaltar o nitrogênio orgânico não foi contabilizado na soma do NT, podendo, portanto, esse valor estar subestimado. O NT para o presente estudo correspondeu à soma do nitrogênio em suas formas: NH_3^+-N , NO_2^--N , NO_3^--N . A maior concentração de NT na entrada foi verificada no evento do dia 26/01/2019, que apresentou 15 dias antecedentes secos.

Ainda de acordo com Troitsky *et al.* (2019), os três principais mecanismos de remoção de nitrogênio, em bacias de detenção alagadas e *wetlands*, são: assimilação por plantas, desnitrificação e sedimentação. A desnitrificação consiste na redução do nitrito a nitrogênio molecular e, por ocorrer principalmente sob condições anaeróbicas, tende a ter o sedimento como seu principal sítio de ocorrência, sendo a principal forma de remoção de nitrogênio na maioria das lagoas de detenção/retenção. O processo de desnitrificação é concorrente com a amonificação do nitrito. A sedimentação, por sua vez, consiste, em geral, na segunda principal forma de remoção, tendo o tempo de residência no interior da estrutura como fator mais significativo para a eficiência.

O maior valor de NT observado na saída para o período monitorado correspondeu a 0,88 mg/L, referente ao dia 10/02/2019, sendo esta a primeira coleta realizada após o veranico do

mês de janeiro de 2019. Pelas Figuras 5.71 e 5.72, percebe-se que os valores para a entrada apresentaram variabilidade ligeiramente maior do que os da saída. As concentrações de amônia variaram de 0,01 a 2,90 mg/L para a entrada e 0,01 a 0,87 mg/L para a saída, sendo a forma de nitrogênio que apresentou maior dispersão.

Tabela 5.9 – Análise estatística do nitrogênio para a entrada e saída da lagoa de detenção do Guará.

Parâmetros	Entrada				Saída			
	NT (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	NT (mg/L)	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)
Mínimo	0,05	0,01	0,001	0,00	0,04	0,01	0,000	0,00
Máximo	2,92	2,90	0,020	0,20	0,88	0,87	0,008	0,11
Média	0,22	0,15	0,006	0,06	0,14	0,12	0,003	0,02
Mediana	0,17	0,10	0,005	0,06	0,14	0,12	0,003	0,01
Desvio Padrão	0,22	0,21	0,003	0,04	0,07	0,07	0,001	0,01
Nº de amostras	259				231			

A Resolução CONAMA 357/05 preconiza valores máximos de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato em ambientes classes 2, na qual o córrego Guará se enquadra, de 3,7, 1,0 e 10 mg/L, respectivamente. Observando os valores máximos, na Tabela 5.9, percebe-se que os limites impostos pela Resolução são atendidos.

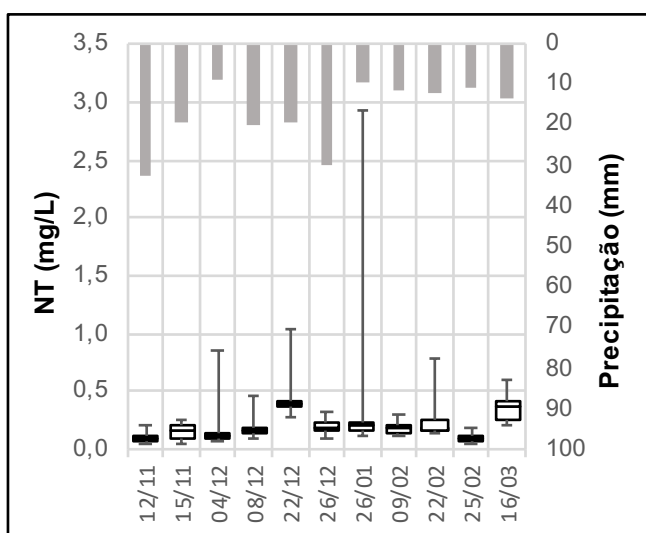


Figura 5.71 – Nitrogênio Total Entrada.

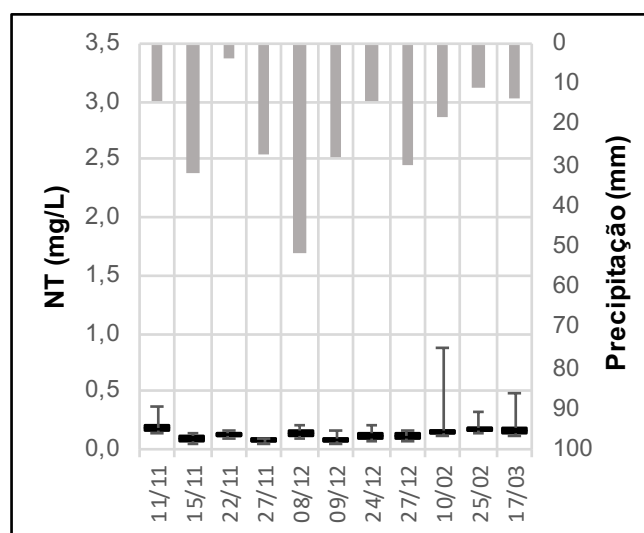


Figura 5.72 – Nitrogênio Total Saída.

As concentrações das formas de nitrogênio para todo o período em análise podem ser visualizadas nas Figuras 5.73 e 5.74. Os três eventos coincidentes na entrada e saída podem ser vistos de forma mais detalhada nas Figuras 5.75 a 5.80. Nos eventos dos dias 08/12/2018

e 16/03/2019, percebe-se concentrações de amônia mais altas no início do evento e, ao final desse, ocorre o predomínio do nitrato. Esse fenômeno não é muito nítido para o evento do dia 25/02/2019. O predomínio de amônia no início do evento chuvoso pode estar associado tanto ao número de dias antecedentes secos, promovendo acúmulo maior de poluentes na área de contribuição, quanto à existência de ligações clandestinas de esgotos à rede de drenagem. Conforme o fluxo do escoamento reduz, a amônia recém-aportada à lagoa sofre transformação à nitrato por meio da nitrificação, justificando o aumento desse.

É possível observar que os eventos 25/02/2019 e 16/03/2019 apresentaram uma melhor remoção do nitrato do que o evento do dia 08/12/2018. Pode-se associar isso ao tempo de permanência da água no interior da lagoa, pois o evento do dia 08 de dezembro foi o que apresentou menor tempo de detenção dos três, equivalente a 02h27, enquanto que o dia 16 de março foi de 03h49. Além disso, o evento do dia 08/12/2018 foi o mais intenso, podendo ter promovido um fluxo mais turbulento e ocasionando a ressuspensão de partículas já depositadas ao fundo.

Acredita-se que a implementação de medidas para estabilizar o tempo de permanência da água no interior da estrutura, visto que esse muito se altera de evento para evento, bem como promover um tempo de detenção maior, viabilizará uma remoção mais eficiente dos nutrientes nitrogênio e fósforo da água pluvial.

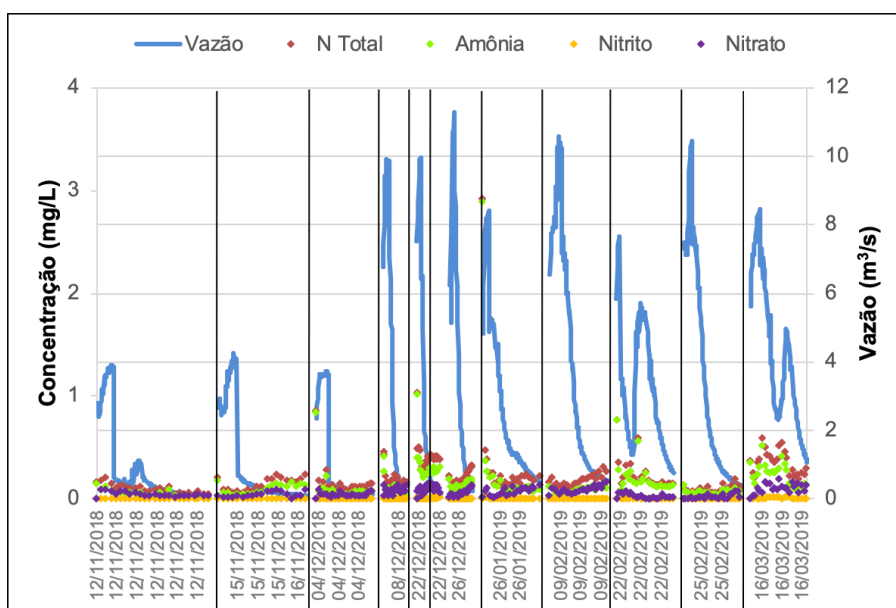


Figura 5.73 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para a galeria de entrada: Nitrogênio.

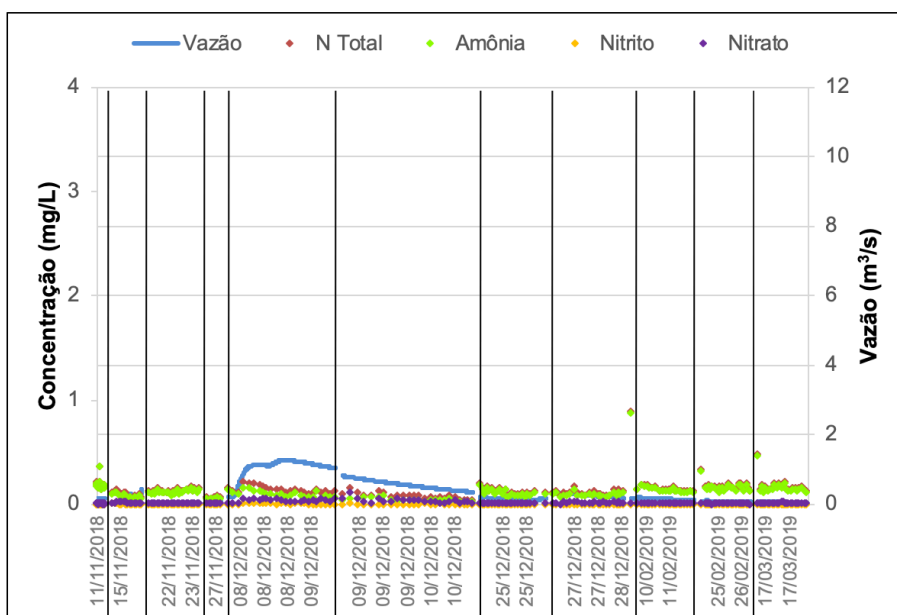


Figura 5.74 – Polutograma e hidrograma para todos os eventos analisados para o vertedor de saída: Nitrogênio.

Pelas Figuras 5.75 a 5.80, percebe-se que as concentrações de nitrito são bem reduzidas, fenômeno justificado pelo fato de essa forma de nitrogênio ser rapidamente consumida pelos processos de nitrificação, desnitrificação e anammox, esse último se refere à oxidação do íon amônio em anaerobiose pelo nitrito, gerando nitrogênio molecular e removendo em definitivo o nitrogênio da coluna d'água.

Outro ponto relevante é o aumento da concentração de amônia da entrada para a saída da lagoa, ocorrida de maneira mais nítida no evento do dia 25/02/2019. Esse evento apresentou intensidade média de 17,6 mm/h, tendo sido o mais forte desde o dia 11/02/2019, e o nível no interior da lagoa antes do início do evento estava em 14 cm.

Esse fato pode estar associado ao processo de redução dissimilatória do nitrito a amônio, ocasionado por situações de anaerobiose no sedimento e, devido ao atrito do fluxo com o fundo da lagoa, essa forma de nitrogênio retornou à coluna d'água, fenômeno conhecido como fertilização interna, que também pode ocorrer para o fósforo. Esse processo, como já dito anteriormente, é concorrente da desnitrificação, esse último se destacando em sedimentos com menos matéria orgânica, enquanto que a amonificação do nitrito é mais bem-sucedida em sedimentos ricos em matéria orgânica. Entretanto, estudo mais aprofundados devem ser realizados para melhor compreensão do aumento das concentrações de amônia na saída da estrutura.

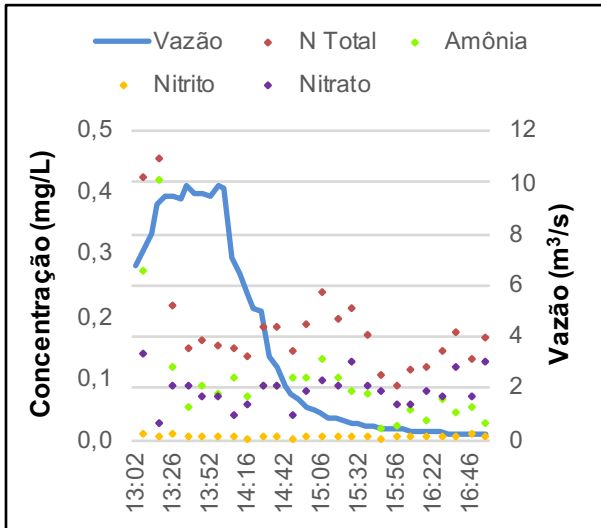


Figura 5.75 – Polutograma de nitrogênio para evento 08/12/2018: Entrada.

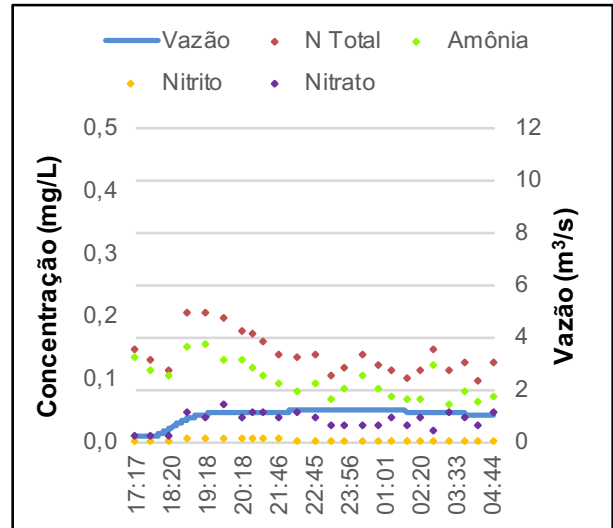


Figura 5.76 – Polutograma de nitrogênio para evento 08/12/2018: Saída.

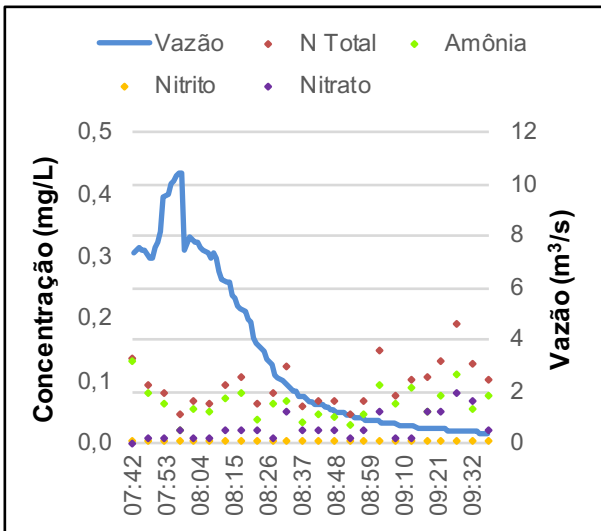


Figura 5.77 – Polutograma de nitrogênio para evento 25/02/2019: Entrada.

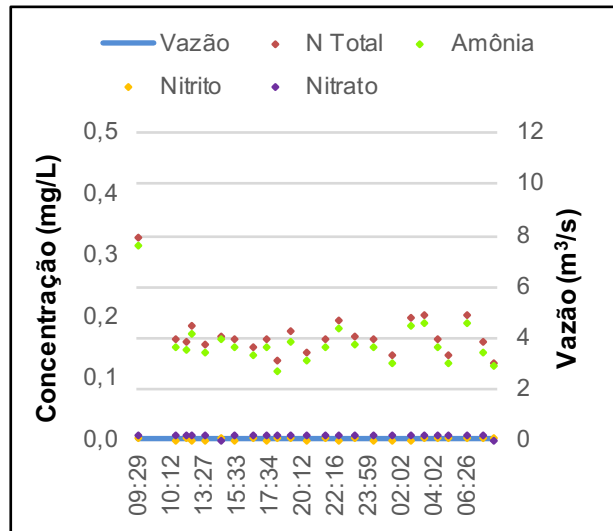


Figura 5.78 – Polutograma de nitrogênio para evento 25/02/2019: Saída.

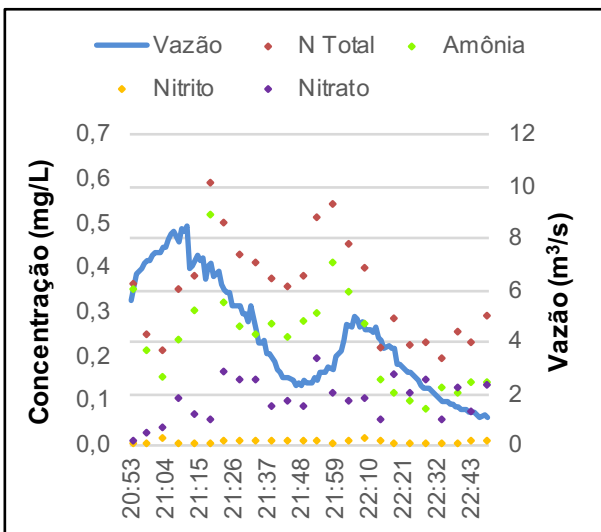


Figura 5.79 – Polutograma de nitrogênio para evento 16/03/2019: Entrada.

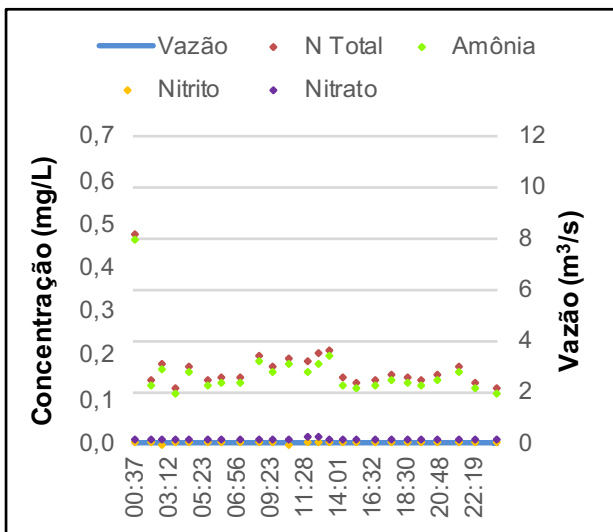


Figura 5.80 – Polutograma de nitrogênio para evento 16/03/2019: Saída.

5.3.7 Correlação entre parâmetros

A avaliação contínua da qualidade da água é complexa e dispendiosa, pois envolve grande quantidade de variáveis. Conhecer as relações existentes entre parâmetros físicos e químicos, portanto, é de grande valia, pois minimiza custos de monitoramento e laboratoriais. Nesse sentido, buscou-se verificar e compreender as correlações entre parâmetros analisados na lagoa de detenção do Guará.

Observando as Figuras 5.81 e 5.82, percebe-se que a galeria de entrada apresentou correlação mais significativa entre sólidos suspensos e turbidez ($R^2=0,757$) do que a saída da lagoa ($R^2=0,463$). Na saída, as concentrações de sólidos em suspensão tendem a ser baixas devido ao tratamento promovido pela lagoa, sendo interessante, nesse caso, a análise da relação entre cor e turbidez.

A correlação apresentada entre SS e turbidez já era esperada, pois quanto maior a quantidade de sólidos suspensos na água, maior será a turbidez dessa. Salgado (2013) e Costa (2013) também observaram fortes correlações entre SS e turbidez.

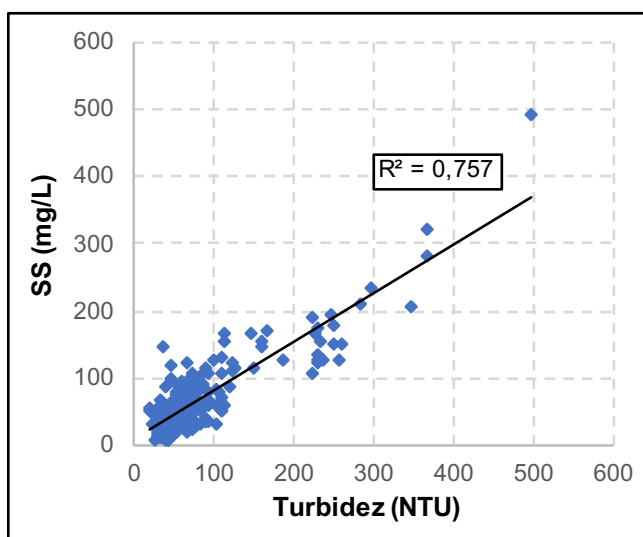


Figura 5.81 – Correlação SS e Turbidez: Entrada.

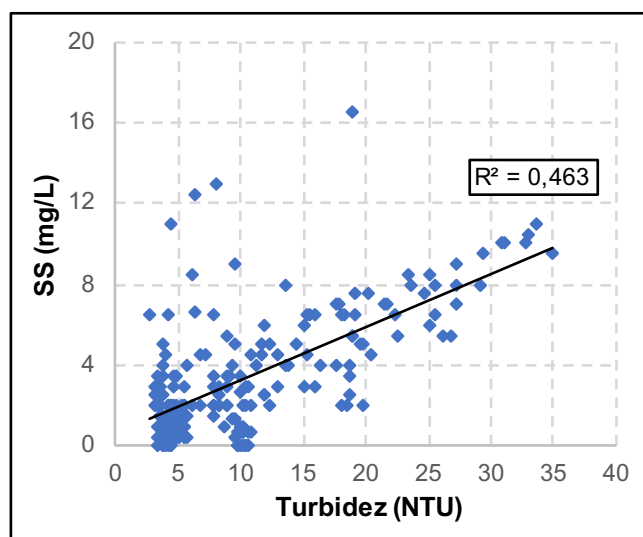


Figura 5.82 – Correlação SS e Turbidez: Saída.

Quanto à correlação linear entre sólidos dissolvidos e condutividade, pode-se visualizar os resultados nas Figuras 5.83 e 5.84. Para a galeria de entrada da lagoa de detenção do Guará, essa apresentou coeficiente de determinação de 0,29. Analisando os dados, percebe-se três pontos se destoam dos demais, são eles: primeira amostra coletada no dia 26/12/2018;

primeira amostra do dia 26/01/2019 e quarta amostra do dia 22/02/2019. Essa última apresentou valor discrepante das demais amostras do mesmo evento para o parâmetro sólidos, o que pode indicar uma falha laboratorial, de forma que, ao desconsiderá-la, o coeficiente de correlação sobe para 0,38. O evento do dia 26/12/2018 foi intenso, apresentando tempo de retorno de 4,8 anos, enquanto que o evento do dia 26/01/2019 apresentou o maior número de dias antecedentes secos do período monitorado, fatores que podem justificar esses valores atípicos.

Para a saída da lagoa, a correlação linear entre sólidos dissolvidos e condutividade foi maior, com R^2 equivalente a 0,607.

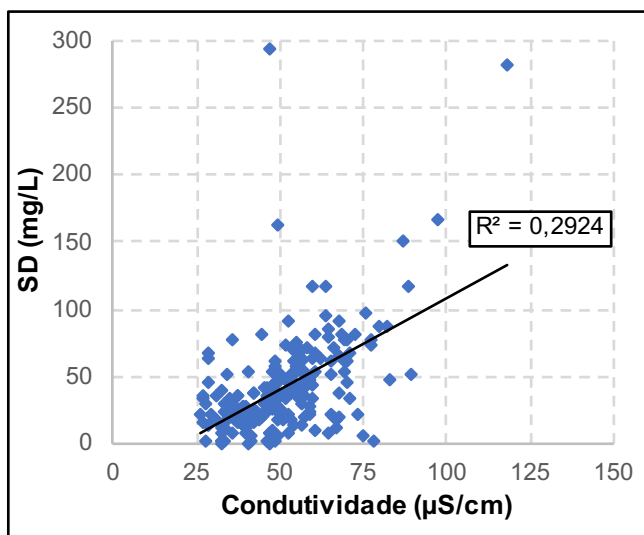


Figura 5.83 – Correlação SD e Condutividade: Entrada.

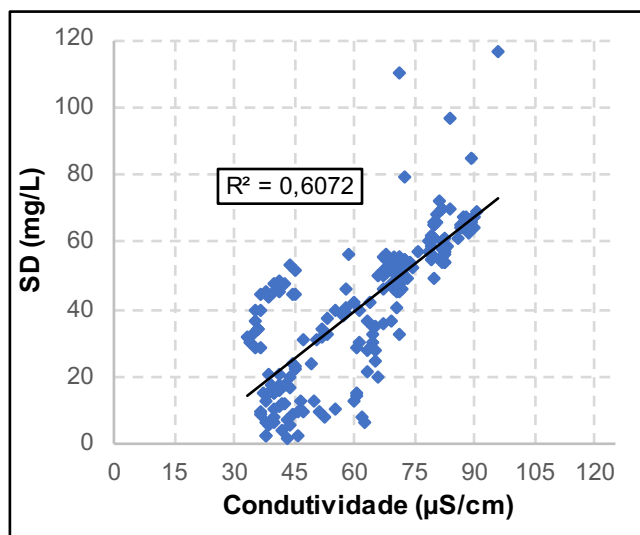


Figura 5.84 – Correlação SD e Condutividade: Saída.

As Figuras 5.85 e 5.86 apresentam os gráficos de correlação linear entre DQO e sólidos em suspensão para a entrada e saída da lagoa, respectivamente. A correlação entre esses parâmetros foi mais significativa para a entrada, com R^2 igual a aproximadamente 0,67. Righetto *et al.* (2017) também apresentou boas correlações entre DQO e SS para dois eventos analisados em bacia urbana em Natal – RN, com R^2 igual a 0,97 e 0,76.

Já para a saída da lagoa, a correlação é praticamente inexistente, com R^2 igual a 0,067. De forma a averiguar relação maior entre sólidos dissolvidos e DQO, tendo em vista a baixa concentração de sólidos em suspensão na saída, calculou-se a correlação linear entre esses parâmetros, mas também não se verificou forte relação entre eles, com R^2 igual a 0,097.

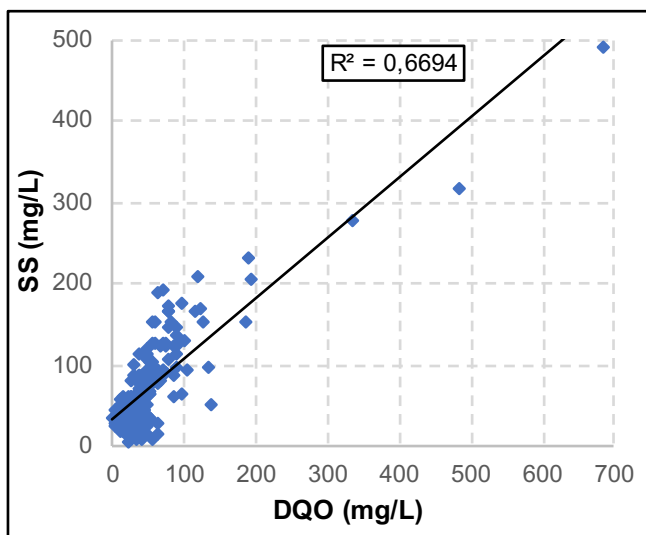


Figura 5.85 – Correlação DQO e SS: Entrada.

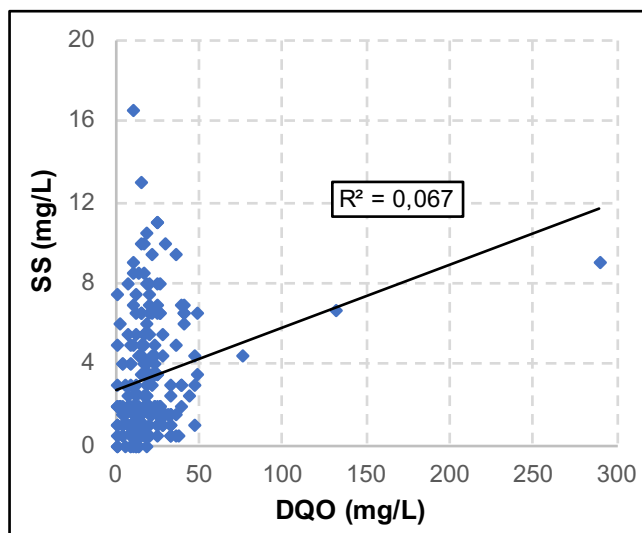


Figura 5.86 – Correlação DQO e SS: Saída.

Observando as Figuras 5.87 e 5.88, percebe-se que correlação linear entre SD e nutrientes (fósforo total e nitrogênio total) para a saída da lagoa não foi boa, com R^2 igual a 0,012. Ao analisar somente a relação entre a concentração de amônia e SD, o R^2 subiu para 0,24. A correlação entre esses parâmetros foi um pouco melhor na galeria de entrada, mas o R^2 permaneceu baixo. Costa (2013) encontrou baixas correlações entre SD e nutrientes para a sub-bacia urbana do C.O. em Brasília – DF.

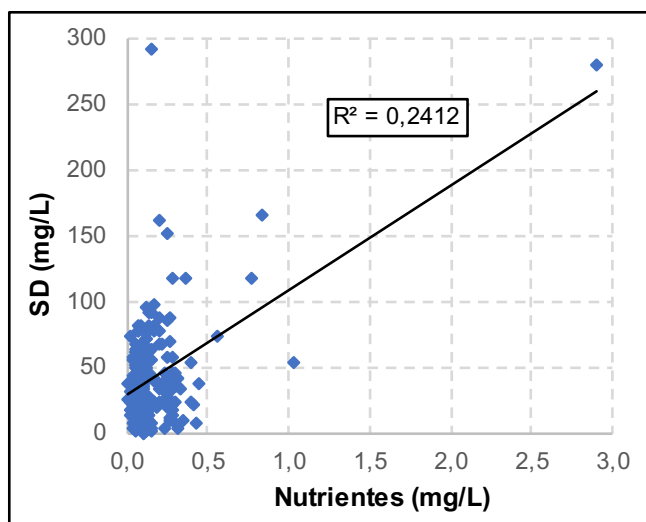


Figura 5.87 – Correlação nutrientes e SD: Entrada.

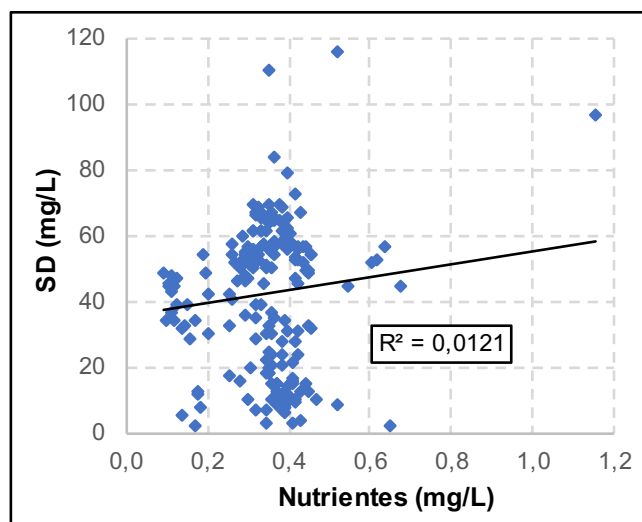


Figura 5.88 – Correlação nutrientes e SD: Saída.

Comparando a condutividade com os nutrientes, obteve-se correlação maior para a galeria de entrada, com R^2 de 0,32. Para a saída, a correlação permaneceu baixa, com R^2 igual a 0,054. Fazendo a análise somente para a amônia, a correlação com a condutividade sobe para $R^2=0,29$. Recomenda-se a análise de cloreto e sulfato para melhor compreensão da

relação entre íons, condutividade e sólidos dissolvidos na lagoa de retenção do Guará. Esses ânions são importantes indicadores de contaminação por esgotos e, portanto, devem estar presentes nas águas aportadas à bacia de retenção em estudo.

5.3.8 Cargas e Concentrações Médias por Evento

De maneira a possibilitar uma avaliação geral do impacto do escoamento superficial sobre um corpo hídrico, calcula-se a Concentração Média por Evento, parâmetro que permite representar um conjunto de dados com alta variabilidade, sendo determinado pela seguinte equação:

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{(\sum C_t Q \Delta_t)}{(\sum Q \Delta_t)} \quad \text{Equação 5.3}$$

Em que:

CME – Concentração média no evento (mg/L);

M – Massa total do poluente durante o evento (g);

V – Volume total durante o evento (m³);

C_t – Concentração no tempo t (mg/L);

Q – Vazão no tempo t (m³/s);

Δ_t – Intervalo de tempo entre as coletas(s).

As concentrações médias gerais para todo o período monitorado para ST, SS, SD, PT, NT e DQO podem ser observadas na Tabela 5.10. Analisando essas médias gerais, nota-se uma clara redução de concentração da entrada para a saída em todos os parâmetros monitorados.

As Tabelas 5.11 e 5.12 apresentam os valores obtidos nos cálculos das concentrações médias por evento para a entrada e saída da lagoa de retenção do Guará, respectivamente. Os eventos em destaque são aqueles nos quais a entrada e a saída representaram o mesmo evento chuvoso, podendo se ter, dessa forma, uma análise mais precisa da eficiência da bacia de retenção em estudo em função das condições de dias antecedentes secos, intensidade da chuva, altura da lâmina inicial de água no interior da estrutura, entre outros.

Tabela 5.10 – Concentrações médias gerais dos parâmetros monitorados para entrada e saída da lagoa de detenção.

	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	DQO (mg/L)
Entrada	34,01	22,13	11,87	0,07	0,07	19,73
Saída	3,26	0,20	3,06	0,02	0,02	2,02

Tabela 5.11 – Concentrações médias por evento para a galeria de entrada.

Evento	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	DQO (mg/L)
12/11/2018	8,64	6,23	2,41	0,02	0,02	4,27
15/11/2018	6,72	4,46	2,26	0,04	0,01	3,65
04/12/2018	37,96	23,95	14,01	0,06	0,05	21,78
08/12/2018	58,07	38,23	19,85	0,10	0,11	32,68
22/12/2018	62,91	50,17	12,74	0,09	0,24	52,66
26/12/2018	52,15	25,03	27,13	0,10	0,07	22,87
26/01/2019	46,12	28,84	17,28	0,14	0,10	23,94
09/02/2019	8,43	5,85	2,58	0,03	0,03	7,22
22/02/2019	51,58	32,04	19,54	0,06	0,06	16,90
25/02/2019	26,76	16,54	10,21	0,05	0,02	10,89
16/03/2019	14,73	12,12	2,61	0,08	0,08	20,20

Tabela 5.12 – Concentrações médias por evento para o vertedor de saída.

Evento	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	PT (mg/L)	NT (mg/L)	DQO (mg/L)
11/11/2018	7,58	0,15	7,43	0,06	0,08	5,81
15/11/2018	3,79	0,42	3,37	0,01	0,01	2,62
22/11/2018	2,77	0,09	2,68	0,02	0,01	0,33
27/11/2018	0,58	0,05	0,53	0,01	0,01	2,69
08/12/2018	0,89	0,30	0,59	0,01	0,01	0,81
09/12/2019	1,46	0,20	1,26	0,00	0,00	0,52
24/12/2018	3,33	0,13	3,20	0,01	0,01	1,21
27/12/2018	0,96	0,23	0,73	0,02	0,01	0,63
10/02/2019	2,94	0,15	2,79	0,01	0,01	2,43
25/02/2019	6,10	0,24	5,86	0,02	0,02	1,69
17/03/2019	5,41	0,19	5,22	0,02	0,02	3,45

De forma a se ter conhecimento da eficiência geral da lagoa do Guará, calculou-se uma média de eficiência de remoção em termos percentuais. Para sólidos totais, a eficiência de remoção foi de 90,4%; para sólidos suspensos, 99,1%; para sólidos dissolvidos, 74,2%; para fósforo total e nitrogênio total, 71,4%; para DQO, 89,8%. Os valores encontrados neste

estudo foram maiores que os encontrados por Birch *et al.* (2006) para uma bacia de retenção seca na Austrália, que leva no máximo 48h para esvaziar por completo após evento chuvoso.

Keßler *et al.* (2016) observaram eficiências anuais de remoção de nutrientes (fosfato, nitrato e sulfato) variando entre 70 e 80% para uma pequena lagoa de retenção seca na Alemanha, associando a remoção desses nutrientes, no período do verão, à assimilação por plantas, tendo em vista que, nessa época, a estrutura está coberta por vegetação rasteira.

Analisando os três eventos chuvosos em destaque (Tabelas 5.11 e 5.12) separadamente, temos as eficiências de remoção apresentadas na Tabela 5.13. O evento do dia 08/12/2018 foi o que apresentou as melhores eficiências e mais constância nas remoções. Foi um evento intenso que elevou muito a lâmina de água no interior da lagoa, chegando essa a atingir 127,8 cm, apresentando 2 dias antecedentes secos. O fato de a lâmina d'água estar alta durante a amostragem pode ter contribuído para a elevada taxa de remoção de poluentes.

O evento do dia 25/02/2019 apesar de ter apresentado chuvas nos dias anteriores, foram chuvas fracas, tendo o último evento mais intenso ocorrido no dia 11/02/2019. O evento do dia 25 de fevereiro teve intensidade média de 17,6 mm/h e aproximadamente 40 min de duração, com lâmina inicial no interior da lagoa de 14 cm e vazão de pico na entrada de aproximadamente 10 m³/s. A remoção de sólidos dissolvidos foi baixa se comparada com a do evento do dia 08 de dezembro, podendo essa estar relacionada com o aumento íons/nutrientes na saída. O atrito entre o fluxo e o fundo, como já abordado anteriormente, é uma possível explicação para essa situação.

Tabela 5.13 – Eficiências de remoção da lagoa de retenção do Guará nos eventos específicos.

Evento	ST (%)	SS (%)	SD (%)	PT (%)	NT (%)	DQO (%)
08/12/2018	98,5	99,2	97,0	90	90,9	97,5
25/02/2019	77,2	98,5	42,6	60,0	0	84,5
16/03/2019	63,3	98,4	-100	75	75	82,9

O evento do dia 16/03/2019, foi o que apresentou mais dias antecedentes secos, com praticamente 0 cm de lâmina d'água no interior da estrutura. Apresentou 9,8 mm/h de

intensidade média em aproximadamente 80 min de duração. O alto número de dias anteriores secos contribuiu para o aumento dos sólidos no escoamento pluvial.

Pode-se inferir pelos dados que o nível no interior da lagoa bem como o número de dias antecedentes secos tem alta relevância no grau de eficiência de remoção promovido pela estrutura. Fazendo analogia à altura inicial da lâmina, estudos anteriores já haviam abordado o fato de que bacias de retenção alagadas costumam apresentar melhores eficiências nas remoções tanto de sólidos, quanto nutrientes (Iowa, 2009; Troitsky *et al.*, 2019; Walker, 1987; Campana *et al.*, 2007). Entretanto, faz-se necessária a coleta de mais amostras em eventos coincidentes na entrada e saída da estrutura, de modo a se obter uma melhor compressão da relação desses fatores na melhora da qualidade da água na lagoa de retenção do Guará.

Para a obtenção das cargas apresentadas nas Figuras 5.89 e 5.90, as concentrações de poluentes em cada amostra num determinado evento foram combinadas com as vazões para resultar nas cargas instantâneas, sendo somadas, posteriormente, para a obtenção das cargas no período desejado e, por fim, divididas pela área de contribuição.

O estudo das cargas de poluentes nas águas pluviais é importante, pois permite analisar a qualidade dessa imediatamente antes de atingir o corpo hídrico. No presente estudo, essa análise também auxilia na verificação da eficiência da lagoa de retenção do Guará quanto ao abatimento das cargas poluidoras.

De acordo com Agra (2017), uma das dificuldades no monitoramento qualitativo das águas pluviais é a obtenção de dados logo no início do evento chuvoso, quando a maior parte dos poluentes são transportados, o que pode subestimar os valores de cargas reportados nos estudos.

Pela Figura 5.89, percebe-se que o evento que mais gerou carga de sólidos foi o do dia 22/02/2019, que apresentou concentração média de sólidos totais de 226 mg/L, com vazão de pico de 7,7 m³/s.

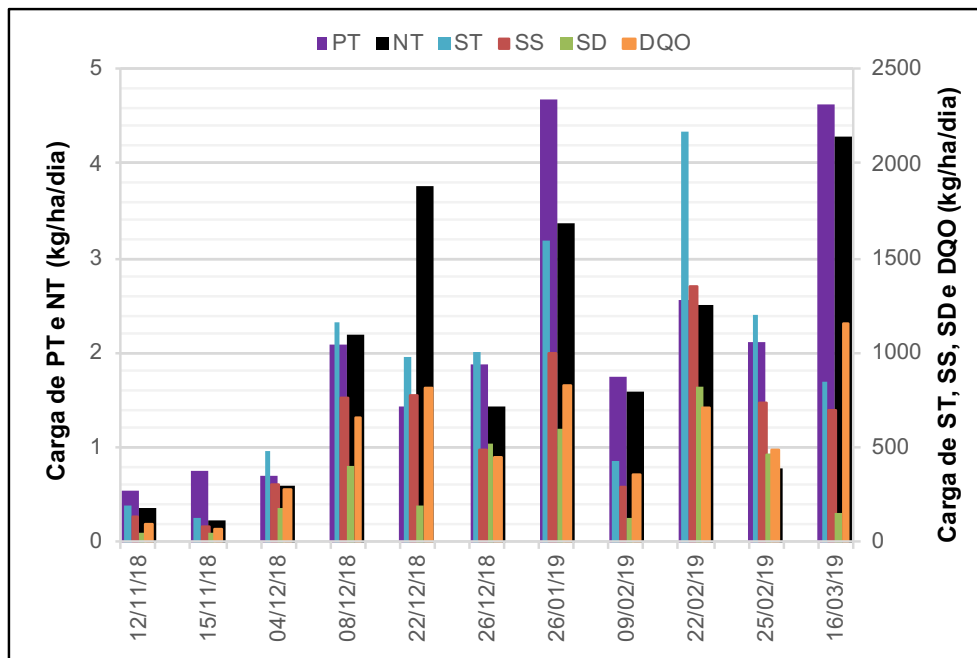


Figura 5.89 – Cargas de poluentes que aportam à lagoa de detenção do Guará.

O evento do dia 16/03/2019, com 11 dias antecedentes secos, foi o que apresentou maior carga aportada de nutrientes (8,9 kg/ha/dia), seguido do dia 26/01/2019, com 8,1 kg/ha/dia e 15 dias antecedentes secos, e do evento do dia 22/12/2018, com 5,2 kg/ha/dia e 13 dias anteriores sem chuva.

As cargas observadas na galeria de entrada da lagoa de detenção do Guará foram muito superiores as obtidas por Costa (2013), Souza (2014) e Tsuji (2018) para outras galerias de drenagem pluvial do Distrito Federal. Associa-se os elevados valores de carga obtidos nesse estudo às altas vazões calculadas para a galeria bem como a uma maior extensão do sistema de drenagem e, portanto, maior área de cobertura, quando comparado com os referidos estudos.

Observando a Figura 5.90, percebe-se que a cargas de poluentes são bem menores na saída da lagoa de detenção do que na entrada. As cargas de sólidos totais superaram as do vertedor, em média, em 97,7%, as de fósforo total, em 93,8%, as de nitrogênio total, em 95,9% e, as de DQO, em 97,6%. As análises aqui expostas comprovam que a lagoa de detenção em estudo reduz os impactos por poluentes sobre o córrego Guará.

A Tabela 5.14 traz os valores de cargas geradas na entrada e saída da lagoa de detenção para os três eventos específicos e, por meio dela, pode-se observar a redução das cargas no sentido

montante – jusante. Essa significativa redução das cargas se dá não somente pelo tratamento que ocorre no interior da estrutura, mas também devido à redução da vazão de saída.

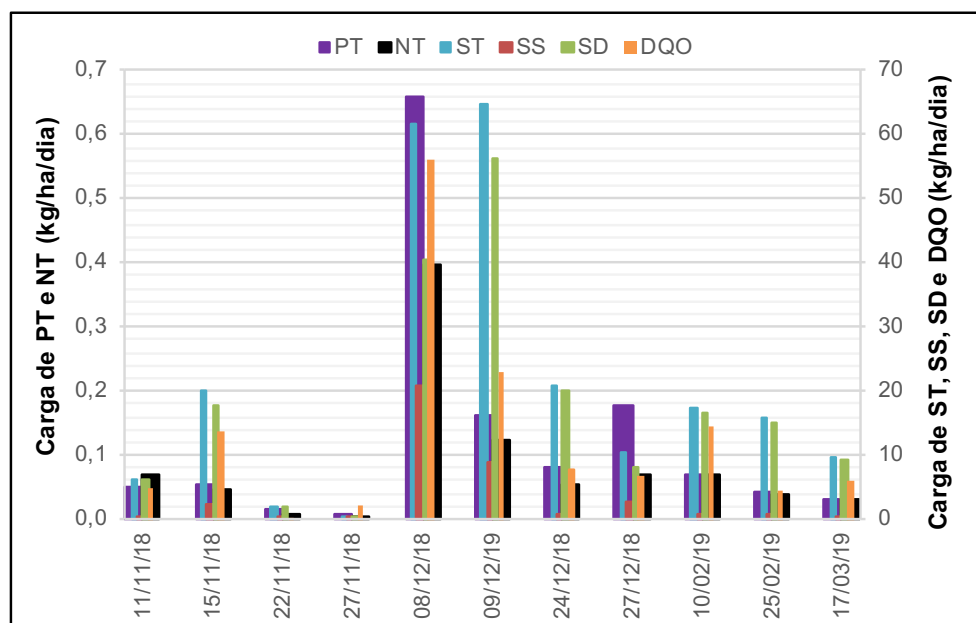


Figura 5.90 – Cargas de poluentes que saem da lagoa de detenção para o córrego Guará.

Tabela 5.14 – Cargas geradas a montante e jusante da lagoa de detenção para cada evento específico em kg/ha/dia.

Evento		ST	SS	SD	PT	NT	DQO
08/12/2018	Entrada	1.162,3	765,1	397,2	2,10	2,19	654,1
	Saída	61,5	20,9	40,6	0,66	0,40	56,0
25/02/2019	Entrada	1.200,1	742,0	458,1	2,11	0,79	488,4
	Saída	15,8	0,6	15,1	0,04	0,04	4,4
16/03/2019	Entrada	841,4	692,0	149,4	4,62	4,30	1.154,0
	Saída	9,7	0,3	9,3	0,03	0,03	6,2

5.4 MODELAGEM QUANTITATIVA

A modelagem hidráulica-hidrológica da lagoa de detenção do Guará foi realizada por meio do programa PCSWMM. A fim de reduzir os erros, os parâmetros do modelo foram calibrados, sendo utilizados os coeficientes NSE, R^2 , ISE e ISEr na avaliação da qualidade da modelagem. De acordo com Chung *et al.* (2002), padrões explícitos para a avaliação da performance de um modelo não são bem estabelecidos, pois o julgamento dos resultados está diretamente relacionado ao propósito da modelagem. Para esse trabalho, utilizou-se o critério proposto por Chung *et al.* (2002) para determinar se os resultados do modelo foram

satisfatórios ou não, com valores iguais ou maiores a 0,3 e 0,5 para NSE e R^2 , respectivamente, indicando boa representação dos valores observados.

A calibração do modelo foi realizada com base no evento do dia 31/12/2018, por esse ter representado satisfatoriamente, sem calibração, as vazões observadas na entrada da lagoa de detenção. Os resultados obtidos para essa modelagem estão expostos na Tabela 5.15. Esse evento apresentou intensidade média de 14,5 mm/h e duração aproximada de 100 min. A precipitação foi mais intensa nos pluviógrafos do SIA, Cruzeiro Novo e ANA, respectivamente.

Tabela 5.15 – Parâmetros estatísticos da modelagem sem calibração do evento do dia 31/12/2018.

Parâmetros	Entrada	Saída
NSE	0,59	-13,7
R^2	0,65	0,16
ISE	11,6	13,3
ISEr	Razoável	Razoável

Na calibração, foram alterados parâmetros como largura, armazenamento em depressões permeáveis, Curva Número e rugosidade dos condutos da rede de drenagem, sendo os três últimos os que apresentaram maior sensibilidade, promovendo alterações significativas ao hidrograma simulado. As incertezas atribuídas a cada parâmetro, no momento da calibração, foram definidas com base no proposto por Tsuji (2018).

A Tabela 5.16 apresenta as incertezas que foram associadas a cada um dos parâmetros do modelo selecionados para a calibração bem como as alterações que de fato foram feitas. As incertezas estão relacionadas ao grau de confiabilidade na determinação ou obtenção do valor de um determinado parâmetro ou atributo. A largura das sub-bacias e o armazenamento em depressões permeáveis, por exemplo, são parâmetros de difícil mensuração/definição e, por esse motivo, são atribuídos a eles elevadas incertezas.

Tabela 5.16 – Incertezas associadas aos parâmetros e alterações feitas na calibração.

Parâmetros	Incertezas	Alterações
Largura das sub-bacia (<i>Width</i>)	50%	(+) 50%
Área das sub-bacias (<i>Area</i>)	5%	0
Declividade (<i>Slope</i>)	5%	0
Armazenamento em depressões permeáveis (<i>Dstore Perv</i>)	50%	(+) 50%
Curva Número (CN)	10%	(+) 1,5%
Rugosidade dos condutos (<i>Roughness</i>)	20%	(+) 14,4%

Os resultados da calibração do evento do dia 31/12/2018 podem ser visualizados na Tabela 5.17. As Figuras 5.91 e 5.92 apresentam os hidrogramas simulados sem calibração e após a calibração bem como o hidrograma observado, tanto para a entrada quanto para a saída da lagoa de retenção, respectivamente. Percebe-se que, apesar dos resultados estatísticos satisfatórios para a entrada, o formato do hidrograma modelado permanece distinto do observado, podendo associar esse fato à curva-chave e à existência de remanso no interior da galeria de entrada. Na entrada da lagoa, o volume calibrado subestimou em 51,2% o volume observado, enquanto que, na saída, o volume calibrado superestimou em 175,8% o observado.

Tabela 5.17 – Parâmetros estatísticos da modelagem do evento 31/12/2018 após calibração.

Parâmetros	Entrada	Saída
NSE	0,62	-7,32
R ²	0,72	0,28
ISE	11,02	9,99
ISER	Razoável	Bom

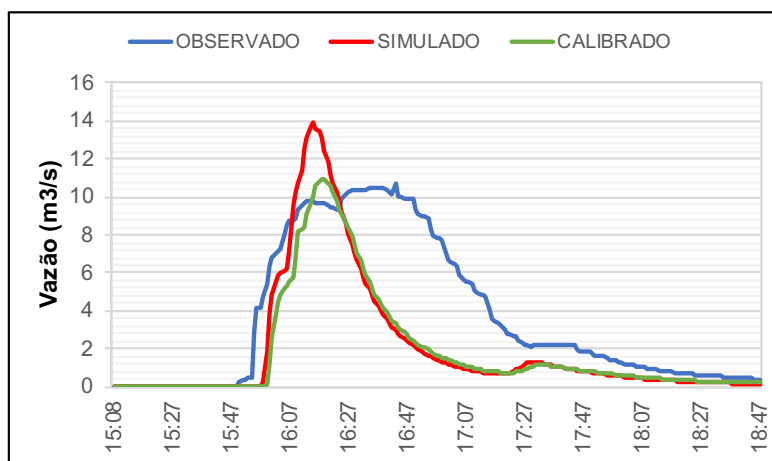


Figura 5.91 – Comparação entre os hidrogramas da entrada da lagoa para o evento do dia 31/12/2018.

Pela Figura 5.92, observa-se que a vazão observada permanece subestimada em relação à modelada. Percebe-se também que o decaimento da vazão modelada é mais acelerado em comparação ao observado, talvez em função de não se ter levado em conta, na modelagem, a existência de vegetação, sedimentos e volumes mortos no interior da estrutura, o que reduz o volume disponível e pode alterar o comportamento hidráulico do fluxo no interior da lagoa, considerada na modelagem como um reservatório com superfície horizontal.

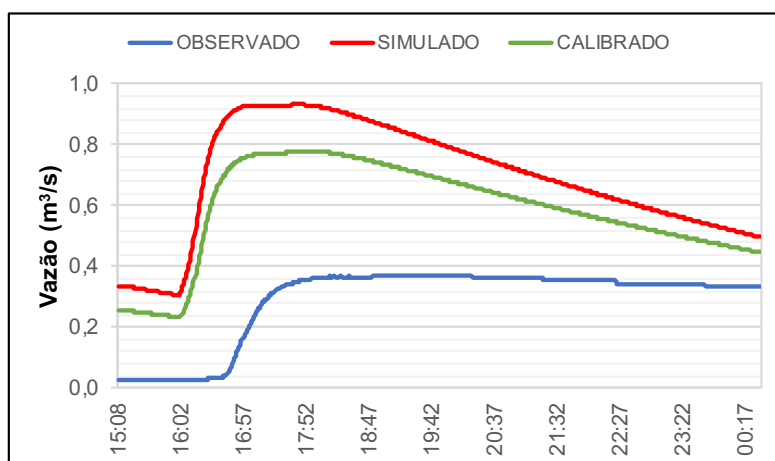


Figura 5.92 - Comparação entre os hidrogramas da saída da lagoa para o evento do dia 31/12/2018.

Após a calibração, realizou-se a verificação para alguns eventos, cujos resultados podem ser visualizados nas Tabelas 5.18 e 5.19 para a entrada e saída da lagoa, respectivamente. Percebe-se que a maioria dos eventos analisados não apresentaram modelagem satisfatória, seguido os critérios estabelecidos anteriormente. Acredita-se que melhores valores para os parâmetros estatísticos serão obtidos após a obtenção de curva-chave mais representativa para a galeria de entrada, com melhor compreensão do fenômeno de remanso que lá ocorre. Para isso, sugere-se, para trabalhos futuros, a instalação, no interior da galeria, de equipamento de medição contínua de velocidade de maneira a se obter dados mais precisos de vazão na entrada da lagoa.

O evento do dia 15/11/2018 apresentou bons resultados na verificação da calibração, com o volume simulado excedendo o observado em aproximadamente 20%. Entretanto, pela Figura 5.93, percebe-se que o hidrograma observado ficou distorcido devido à associação do ramo ascendente e descendente da curva-chave às cotas, de forma que as vazões se alteram abruptamente no limiar entre ascensão e recessão e vice-versa. Isso ocorreu devido à baixa

variação do nível d'água no interior da galeria nesse evento, aproximadamente 14 cm, e à lenta elevação da lâmina ao longo do tempo.

Tabela 5.18 – Resultado da modelagem de vazões para a entrada da lagoa de detenção do Guará, antes e após calibração.

Evento Entrada	NSE		R ²		ISer	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
12/11/2018	-4,06	-3,02	0,06	0,04	Razoável	Razoável
15/11/2018	0,67	0,68	0,77	0,72	Muito Bom	Muito Bom
04/12/2018	-0,19	-0,01	0,20	0,19	Razoável	Razoável
08/12/2018	-0,26	-0,12	0,50	0,54	Bom	Bom
22/12/2018	-0,08	-0,10	0,78	0,73	Razoável	Razoável
26/12/2018	0,19	0,19	0,77	0,79	Razoável	Razoável
26/01/2019	-0,42	-0,43	0,00	0,01	Razoável	Razoável
09/02/2019	-0,24	-0,24	0,20	0,65	Bom	Bom
22/02/2019	-0,70	-0,70	0,11	0,06	Bom	Bom
25/02/2019	-0,01	-0,01	0,67	0,60	Razoável	Razoável
16/03/2019	-0,33	-0,33	0,84	0,78	Bom	Bom
Dezembro	0,34	0,47	0,53	0,58	Muito Bom	Muito Bom

Tabela 5.19 - Resultado da modelagem de vazões para a saída da lagoa de detenção do Guará, antes e após calibração.

Evento Saída	NSE		R ²		ISer	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
12/11/2018	-25,90	-16,60	0,86	0,91	Ruim	Ruim
15/11/2018	-159	-148	0,00	0,00	Ruim	Ruim
04/12/2018	-38,30	-12,80	0,20	0,28	Ruim	Ruim
08/12/2018	-0,01	0,24	0,87	0,89	Excelente	Excelente
22/12/2018	-43,90	-22,30	0,17	0,31	Ruim	Ruim
26/12/2018	-32,80	-24,20	0,72	0,84	Razoável	Razoável
26/01/2019	---	---	---	---	---	---
09/02/2019	-9,35	-2,39	0,45	0,58	Ruim	Razoável
22/02/2019	-0,76	0,63	0,49	0,71	Razoável	Muito Bom
25/02/2019	-7,66	-2,38	0,00	0,25	Razoável	Bom
16/03/2019	-13,70	-4,96	0,44	0,56	Ruim	Razoável
Dezembro	-90,60	-0,19	0,10	0,72	Bom	Excelente

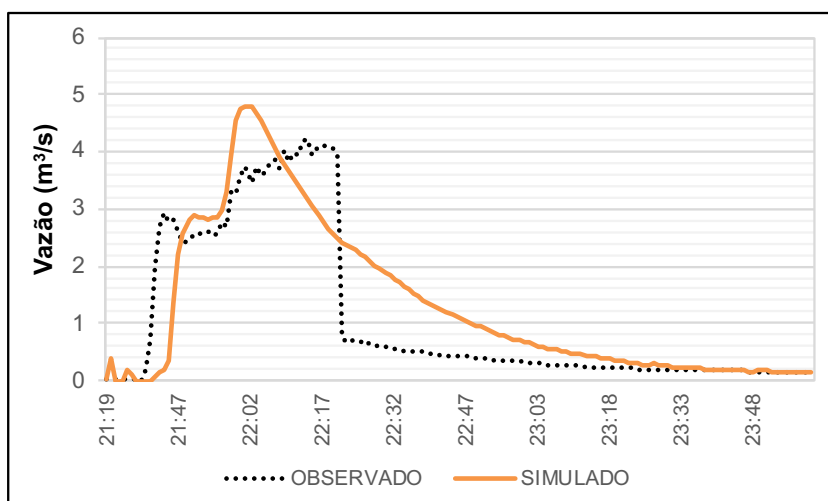


Figura 5.93 – Hidrogramas observado e simulado para evento do dia 15/11/2018.

As simulações para a saída da lagoa também não se mostraram satisfatórias para a maioria dos eventos analisados. Observou-se, em geral, uma superestimação das vazões pelo modelo e mesmo após diversas tentativas manuais de alterações do CN da sub-bacia da lagoa de retenção bem como alterações no armazenamento em depressões permeáveis, não se obteve sucesso na melhora do hidrograma simulado de saída. A modelagem da lagoa de retenção é complexa, pois envolve a existência de caminhos preferenciais e curtos circuitos bem como a provável existência de volumes mortos que não contribuem efetivamente para a vazão observada na saída.

Para o evento do dia 26/01/2019, na Tabela 5.19, não são apresentados valores de NSE, R^2 e ISEr, pois o fluxo de água não chegou à saída da lagoa, ou seja, houve vazão na entrada, mas essa não foi verificada na saída.

As Figuras 5.94 e 5.95 apresentam os hidrogramas observados e simulados para a entrada e saída da lagoa de retenção do Guará, respectivamente. Percebe-se que o primeiro pico, na Figura 5.94, subestimou a vazão observada, enquanto que, o segundo pico, subestimou a vazão observada em aproximadamente 67%. Ressalta-se que o segundo pico é referente à precipitação de 11,8 anos de tempo de retorno. De modo geral, para o evento do dia 08/12/2018, o volume de entrada simulado subestimou em 46,4% o observado. O volume de saída da lagoa simulado, por sua vez, superestimou em 47,5% o volume de saída observado. A modelagem das vazões de saída apresentada na Figura 5.95 foi a que apresentou os melhores resultados dos parâmetros estatísticos, com NSE de 0,24 e R^2 de 0,89, mas manteve a superestimação da vazão observada.

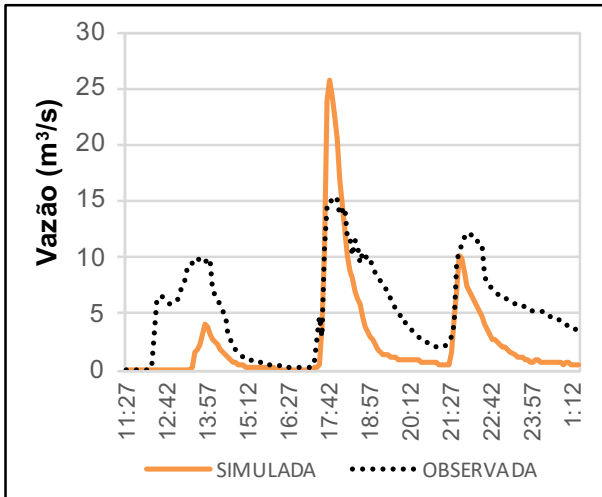


Figura 5.94 – Hidrogramas para a entrada da lagoa no evento do dia 08/12/2018.

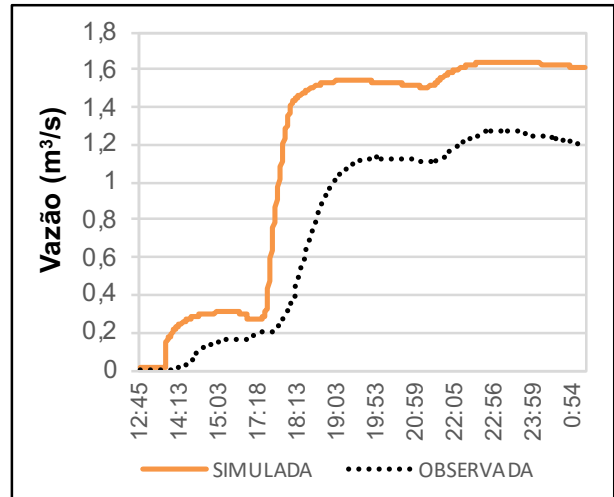


Figura 5.95 – Hidrograma para a saída da lagoa no evento do dia 08/12/2018.

Realizou-se também uma verificação do evento calibrado para todo o mês de dezembro, a fim de avaliar a qualidade da modelagem para simulações contínuas. Obteve-se valores de NSE de 0,47 e R^2 de 0,58 para a entrada da lagoa, sendo esses resultados satisfatórios. Porém, o mesmo não foi verificado para a saída, que apesar de ter apresentando bons resultados para ISEr e R^2 , não representou bem o formato do hidrograma observado. A Figura 5.96 ilustra a modelagem contínua para dezembro, focando no período de 22 a 26 de dezembro de 2018.

Percebe-se que em alguns períodos o modelo subestimou as vazões e, em outros, superestimou. No dia 26/12/2018, por exemplo, a vazão simulada superestimou a observada em aproximadamente 170%, enquanto que no dia 22/12/2018, a vazão observada foi subestimada em aproximadamente 150%.

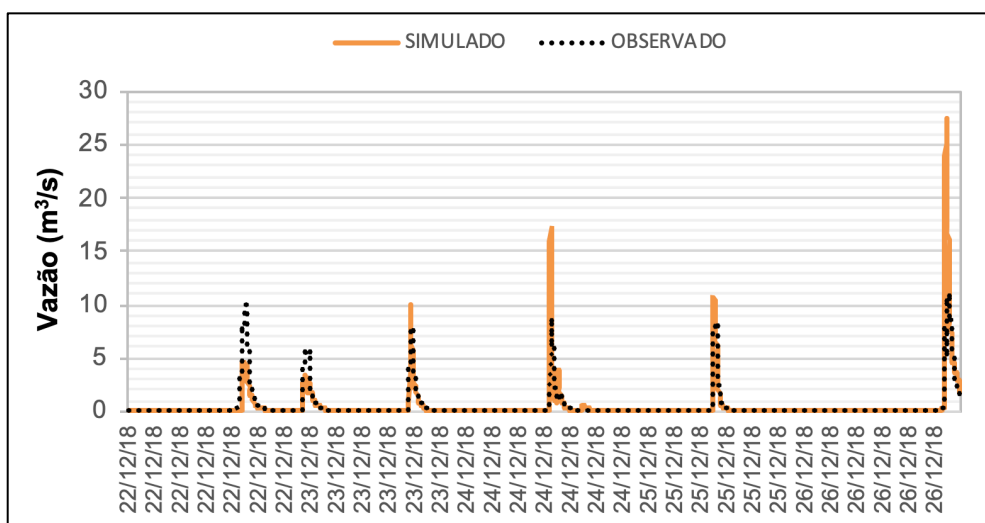


Figura 5.96 – Hidrogramas observado e simulado para os dias 22 a 26 de dezembro/2018.

Na modelagem contínua do mês de dezembro, observou-se dois eventos que se destacaram, sendo eles o do dia 23/12/2018 e o do dia 25/12/2018. O resultado da modelagem contínua para esses dois eventos pode ser visualizado nas Figuras 5.97 e 5.98. O evento do dia 23 de dezembro apresentou NSE de 0,705 e R^2 de 0,811, enquanto que o do dia 25 de dezembro apresentou NSE de 0,885 e R^2 de 0,921, ambos apresentando bom ajuste às vazões observadas. Observou-se que esses eventos apresentaram características em comum como, por exemplo, intensidade e duração da precipitação bem como número de dias anteriores secos. Além disso, foram eventos que apresentaram variação de cota similar àquelas obtidas para a construção da curva-chave da galeria de entrada, com cota inicial no interior da câmara antes do início do evento de aproximadamente 40 cm.

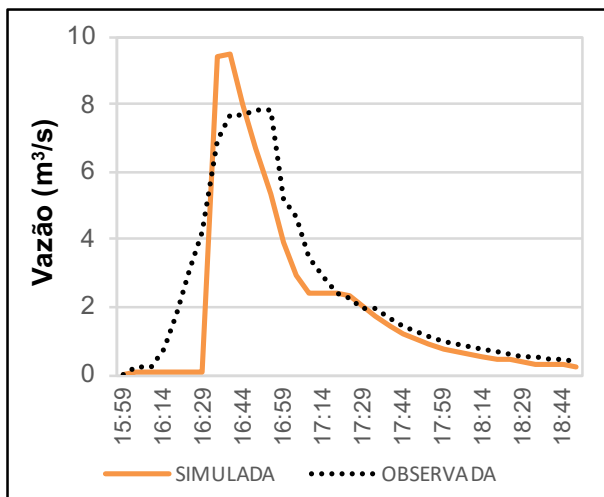


Figura 5.97 – Hidrogramas para evento do dia 23/12/2018.

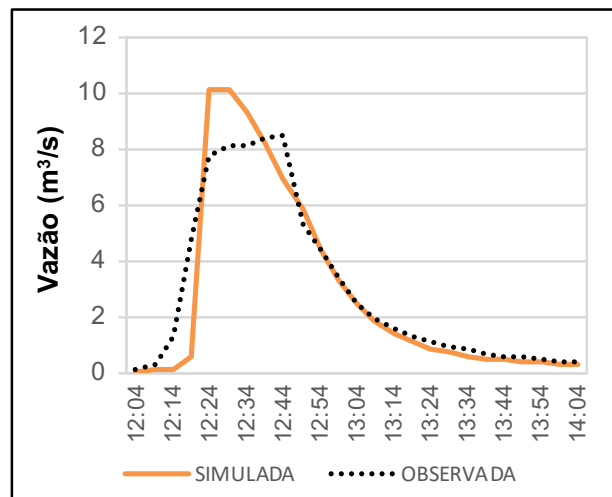


Figura 5.98 – Hidrogramas para evento do dia 25/12/2018.

5.5 MODELAGEM QUALITATIVA

Para a modelagem qualitativa no modelo PCSWMM, utilizou-se a metodologia proposta por Alvarez (2010) para a determinação dos coeficientes a serem inseridos na função Curva de Taxa de Lixiviação de lavagem de poluentes, expressa na Tabela 3.5. A metodologia consiste na construção de curvas do tipo potência com base nos dados de cargas para cada poluente, em mg/s, e de vazão, em m^3/s , como exposto nas Figuras 5.99 a 5.102. Para este trabalho, foram selecionados os parâmetros sólidos suspensos, DQO, amônia e fósforo reativo para a modelagem qualitativa da água. Os coeficientes obtidos para sólidos suspensos foram $C_1 = 49796$ e $C_2 = 1,3301$. Para DQO, $C_1 = 33748$ e $C_2 = 1,3236$. Para amônia, $C_1 = 101,08$ e $C_2 = 1,2015$. Para fósforo reativo, $C_1 = 58,448$ e $C_2 = 1,1047$.

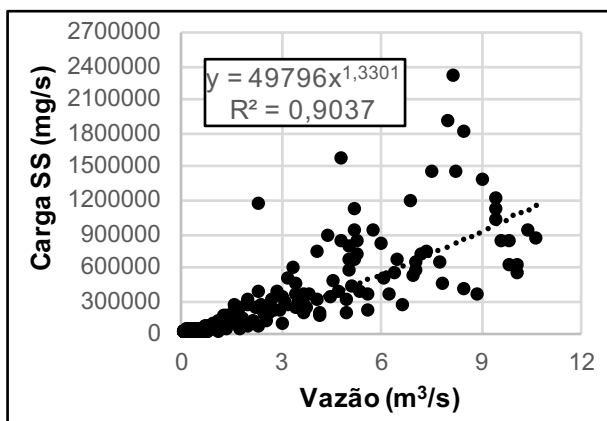


Figura 5.99 – Curva empírica de SS para todos os eventos.

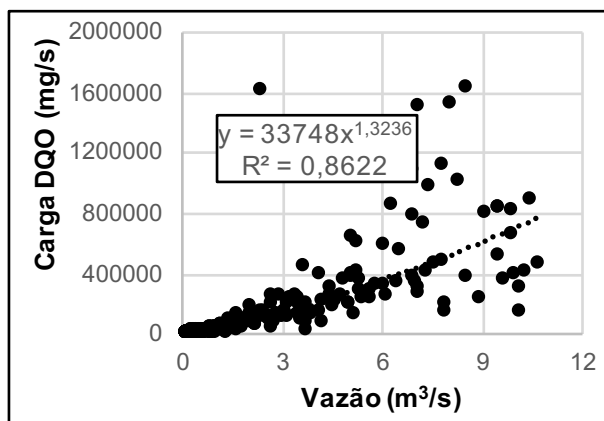


Figura 5.100 - Curva empírica de DQO para todos os eventos.

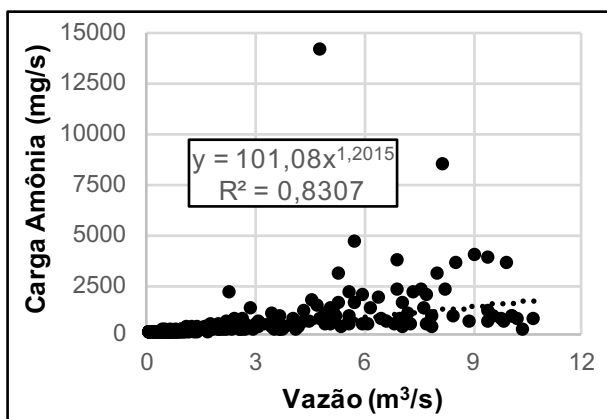


Figura 5.101 - Curva empírica de amônia para todos os eventos.

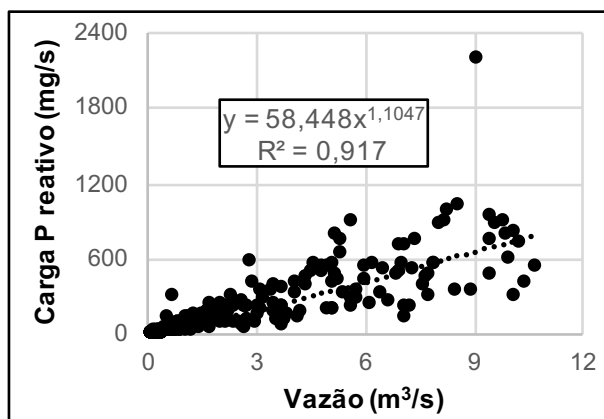


Figura 5.102 - Curva empírica de fósforo reativo para todos os eventos,

Devido à amostragem da qualidade da água pluvial ter sido feita somente na galeria de entrada e vertedor de saída, pontos esses que recebem as águas pluviais drenadas de toda a área de contribuição, não se realizou a modelagem considerando os diferentes usos do solo, ou seja, as equações definidas para cada poluente foram aplicadas da mesma maneira para toda a área de contribuição.

Para a modelagem utilizou-se os parâmetros do modelo calibrado, buscando maior confiabilidade dos dados e utilizou-se o evento do dia 15/11/2018, visto que esse apresentou bons resultados de NSE e R^2 . Para o acúmulo dos poluentes, utilizou-se os coeficientes levantados por Costa (2013), que correspondem a $C_1=0,99$ e $C_2=0,0206$ para a função exponencial (Tabela 3.4). A eficiência da modelagem pode ser visualizada na Tabela 5.20.

As Figuras 5.103 a 5.110 apresentam os resultados da modelagem qualitativa para o evento do dia 15/11/2019. Percebe-se que os resultados simulados se mostraram muito destoantes das concentrações e cargas de fato observadas, subestimando muito os valores dessas. O

mesmo ocorreu no estudo realizado por Costa (2013) para a modelagem de sólidos suspensos. Após várias tentativas de calibração dos coeficientes da função de lixiviação (*washoff*) visando melhorar a eficiência, não se obteve resultados satisfatórios.

Tabela 5.20 – Eficiência do modelo para as simulações de qualidade para evento 15/11/2018.

Parâmetros	NSE	R ²
SS	-6,97	0,84
DQO	-1,93	0,43
Amônia	-3,02	0,00
Fósforo Reativo	-0,37	0,00

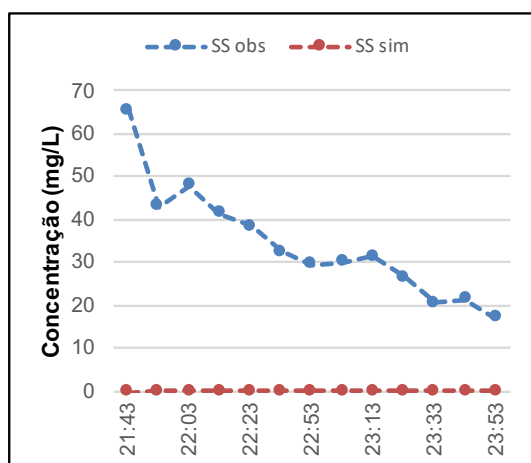


Figura 5.103 – Concentrações de SS observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.

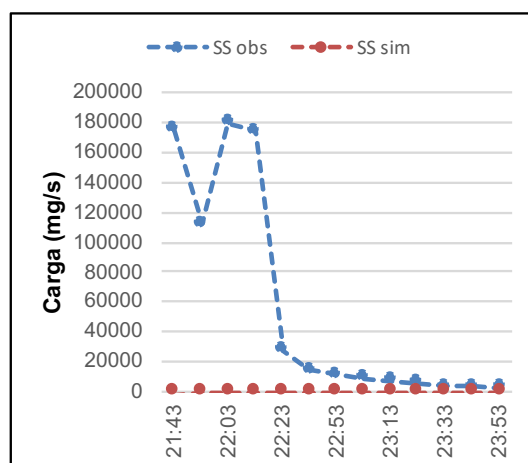


Figura 5.104 – Cargas de SS observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.

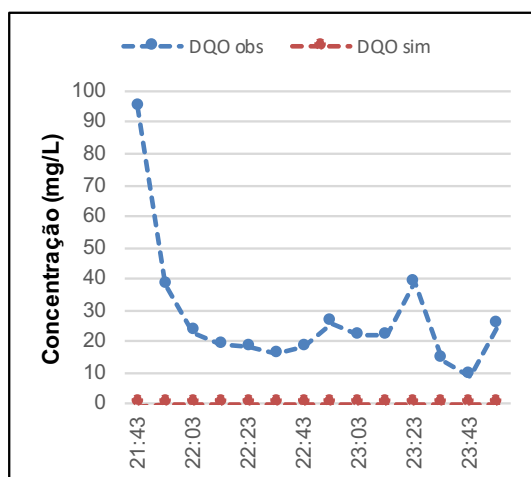


Figura 5.105 – Concentrações de DQO observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.

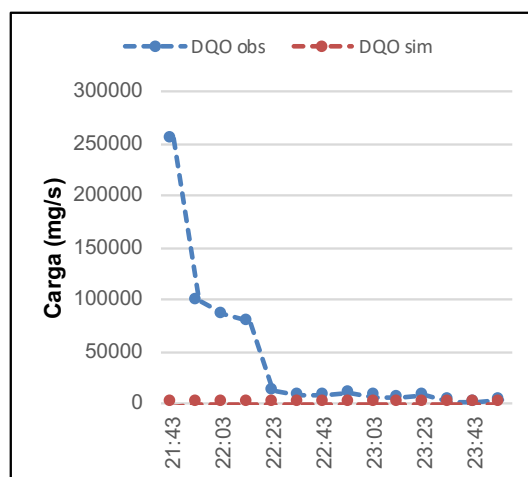


Figura 5.106 – Cargas de DQO observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.

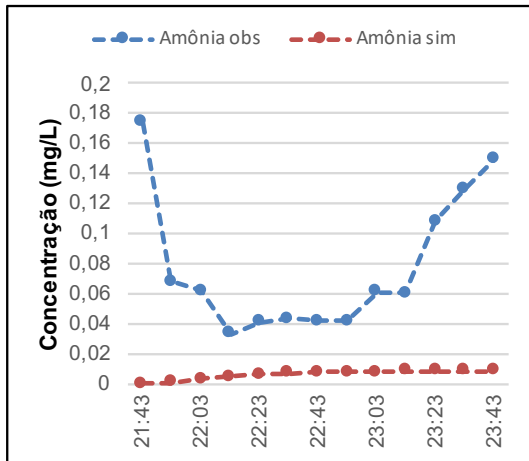


Figura 5.107 – Concentrações de amônia observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.

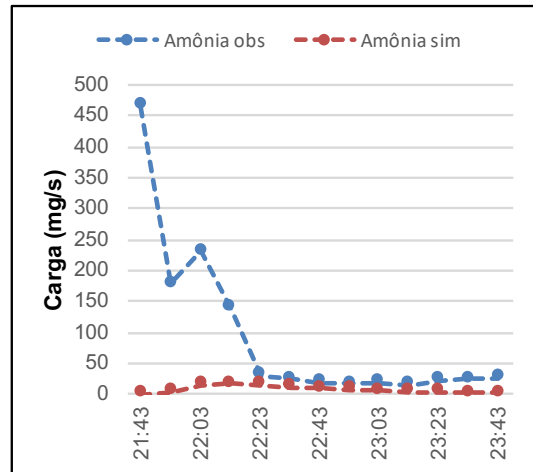


Figura 5.108 – Cargas de amônia observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.

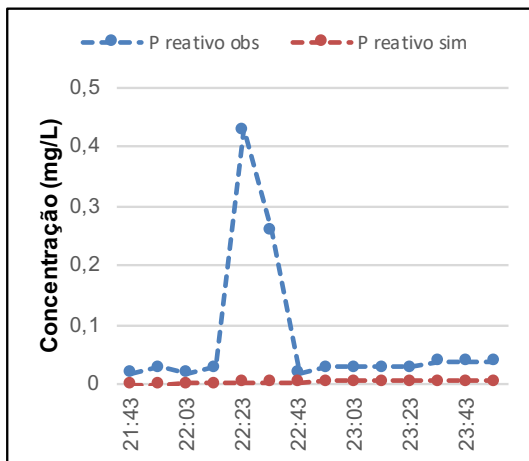


Figura 5.109 – Concentrações de fósforo reativo observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.

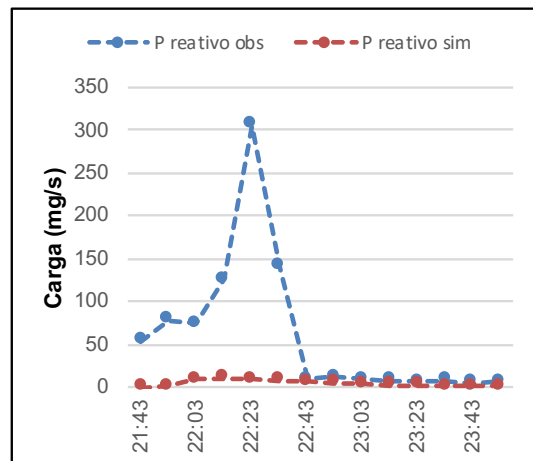


Figura 5.110 – Cargas de fósforo reativo observadas e simuladas para o evento 15/11/2018.

Optou-se por realizar a modelagem contínua qualitativa e, por tentativa e erro, alterar os coeficientes da função de acumulação (*build up*) e de lixiviação (*washoff*). Observou-se melhora ao aumentar os coeficientes de acumulação da função exponencial e alterar, para SS e DQO, a função de lixiviação antes *Rating Curve* para Exponencial. A mudança na equação de lixiviação de *Rating Curve* para Exponencial para os nutrientes avaliados piorou os parâmetros estatísticos, por esse motivo, manteve-se a equação *Rating Curve* para a amônia e para o fósforo reativo.

Após essas alterações, obteve-se os coeficientes descritos na Tabela 5.21 para a lixiviação dos poluentes. Para o processo de acumulação, utilizou-se a equação Exponencial e os coeficientes corresponderam a $C_1 = C_2 = 6,0$. Como não foi verificada mudança significativa

ao alterar os coeficientes de lixiviação dos nutrientes, manteve-se aqueles obtidos por meio das curvas do tipo potência expressos nas Figuras 5.101 e 5.102.

Tabela 5.21 – Coeficientes e funções de *washoff* utilizadas para cada parâmetro qualitativo avaliado.

Parâmetros	Função	C ₁	C ₂
SS	EXP	2,0	1,8
DQO	EXP	2,95	1,8088
Amônia	RC	101,08	1,2015
Fósforo Reativo	RC	58,448	1,1047

A eficiência da modelagem qualitativa após essas alterações nas equações e coeficientes dos processos de acumulação e lixiviação pode ser visualizada na Tabela 5.22. Percebe-se melhora em todos os parâmetros avaliados, em especial para os sólidos suspensos e DQO. As Figuras 5.111 a 5.114 ilustram os resultados comparando as concentrações observadas com as simuladas.

Tabela 5.22 – Eficiência do modelo calibrado para as simulações de qualidade para evento 15/11/2018.

Parâmetros	NSE	R ²
SS	0,429	0,708
DQO	0,20	0,475
Amônia	-0,303	0,301
Fósforo Reativo	-0,027	0,143

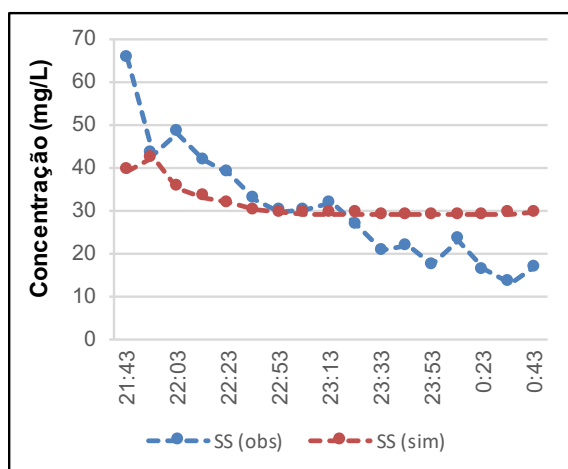


Figura 5.111 – Concentração de SS para evento 15/11/2018 após calibração.

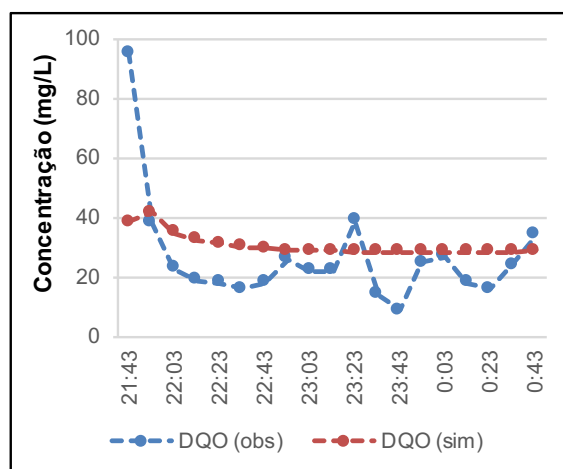


Figura 5.112 – Concentração de DQO para evento 15/11/2018 após calibração.

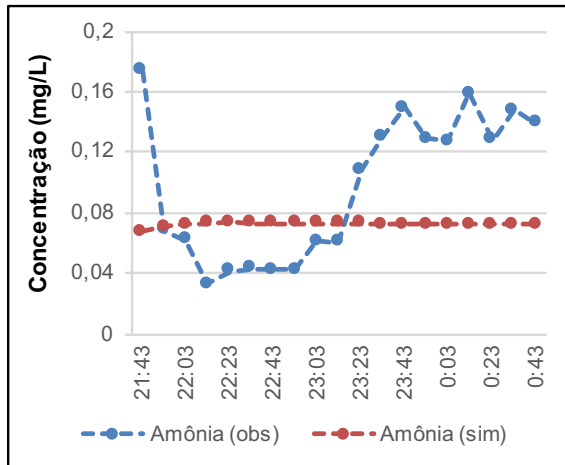


Figura 5.113 – Concentração de amônia para evento 15/11/2018 após calibração.

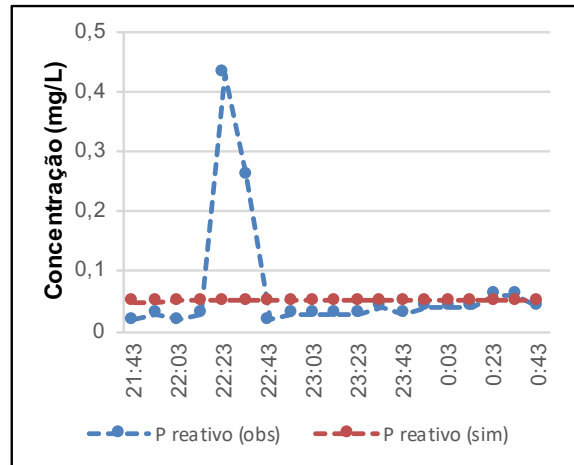


Figura 5.114 – Concentração de fósforo reativo para evento 15/11/2018 após calibração.

Realizou-se, em seguida, a verificação dos coeficientes obtidos para o evento do dia 08/12/2018, sendo os resultados dos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 5.23 e os gráficos comparando as concentrações observadas e simuladas nas Figuras 5.115 a 5.118. A modelagem de SS e DQO foi satisfatória, entretanto, a dos nutrientes se mostrou ineficaz. Observando as Figuras 5.117 e 5.118, percebe-se que o modelo não representou bem a variação das concentrações ao longo do tempo, mantendo-se praticamente constante em torno de um determinado valor.

Nesse sentido, sugere-se estudos mais aprofundados dos poluentes e, principalmente, em relação ao comportamento dos nutrientes, para tornar o modelo confiável para a simulação qualitativa.

Tabela 5.23 – Eficiência da verificação para as simulações de qualidade para evento 08/12/2018.

Parâmetros	NSE	R ²
SS	0,578	0,846
DQO	0,392	0,778
Amônia	-0,255	0,688
Fósforo Reativo	-0,621	0,271

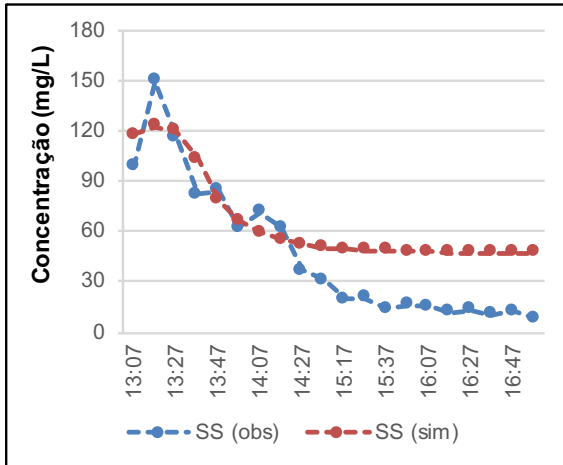


Figura 5.115 – Concentração de SS para evento 08/12/2018 após calibração.

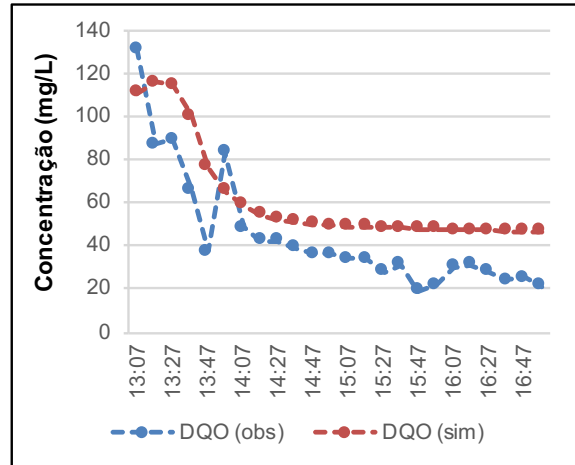


Figura 5.116 – Concentração de DQO para evento 08/12/2018 após calibração.

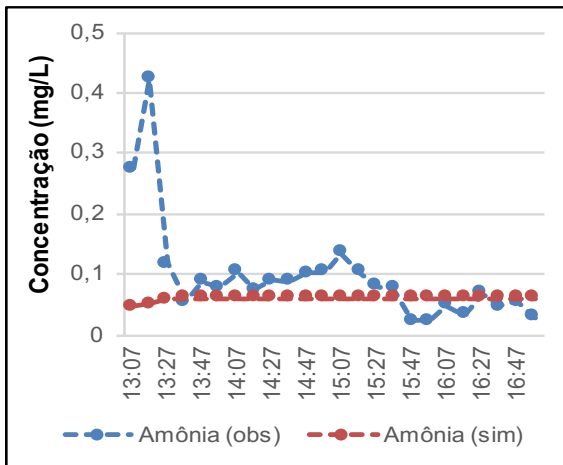


Figura 5.117 – Concentração de amônia para evento 08/12/2018 após calibração.

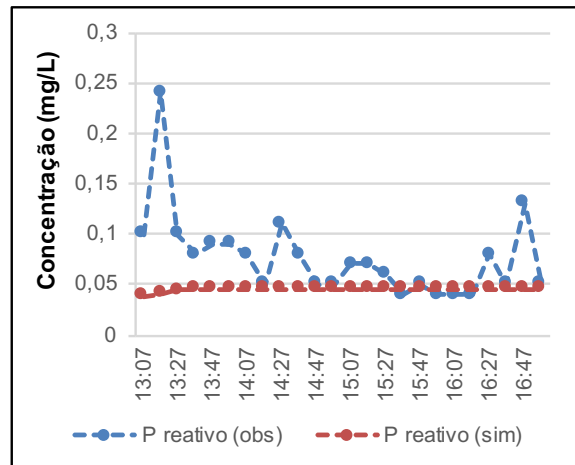


Figura 5.118 – Concentração de fósforo reativo para evento 08/12/2018 após calibração.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo teve por objetivo avaliar a influência da lagoa de retenção inserida no Parque Ezequias Heringer, na cidade satélite do Guará/DF, quanto aos aspectos quantitativos e qualitativos das ondas de cheia, por meio de monitoramento hidrológico e análises de qualidade da água, bem como modelagem utilizando o modelo SWMM.

A lagoa de retenção em estudo apresentou grande eficiência quanto ao abatimento dos picos de vazão, observando-se um abatimento médio de 95,5%, promovendo uma liberação gradual da água armazenada em seu interior para o córrego Guará. A vazão máxima de saída permitida pela Resolução nº 9 da Adasa para a área de estudo é de 18,67 m³/s, valor bem maior do que o lançado pela lagoa de retenção para jusante, visto que a máxima vazão de saída observada durante o período monitorado correspondeu a 1,27 m³/s, mesmo tendo ocorrido no período monitorado uma precipitação com tempo de retorno superior a 10 anos.

Observou-se que a lagoa de retenção do Guará é muito eficiente na remoção de sólidos suspensos da água pluvial, com eficiência geral de 99,1%. Entretanto, não se mostrou tão eficaz na remoção de sólidos dissolvidos, apresentando, em alguns casos, eficiência negativa, provavelmente devido a fluxos preferenciais e possível ressuspensão de partículas nessas trajetórias com maior velocidade. Nesse sentido, conclui-se que a presença de lâmina d'água significativa no interior da lagoa de retenção antes do início de um evento chuvoso contribui para taxas de remoção de poluentes mais altas.

Os ciclos do nitrogênio e do fósforo são governados por processos químicos, físicos e biológicos complexos, o que dificulta a compreensão da dinâmica desses nutrientes no interior da lagoa do Guará. Além disso, as correlações entre esses elementos e as concentrações de sólidos dissolvidos e valores de condutividade foram inconclusivos, recomendando-se a inclusão de análises de cloretos e sulfatos bem como análises dos componentes químicos do sedimento de fundo da lagoa em questão.

O cálculo das concentrações médias por evento (CME) permitiu uma análise global da eficiência da lagoa de retenção do Guará para todos os parâmetros qualitativos monitorados no ano hidrológico de 2018-2019, em que foi observada eficiência de remoção de 90,4%

para sólidos totais; 99,1% para sólidos suspensos; 74,2% para sólidos dissolvidos; 71,4% para nitrogênio total e fósforo total; e, 89,8% para DQO. As análises das CMEs para eventos específicos, considerando entrada e saída, permitem uma melhor compreensão dos fatores que influenciam as eficiências de remoção da lagoa de retenção em estudo.

A existência de lançamentos irregulares de esgotos na rede de drenagem foi verificada por meio do estudo realizado por Henz (2019), em que se detectou altos valores de coliformes na entrada da lagoa, bem como pelo alto valor de DQO observado no dia 04/12/2018. A estrutura se mostrou eficiente na redução da concentração de coliformes, apresentando eficiência de remoção maior que 90% para coliformes fecais, o que é esperado em função da pequena profundidade e alto tempo de retenção.

Diante do exposto, conclui-se que as lagoas de retenção são eficientes como medidas de controle de cheias, apresentando resultados satisfatórios quanto ao aspecto quantitativo, promovendo significativo abatimento das vazões de pico, podendo também colaborar com a redução das concentrações de poluentes oriundos das diversas atividades e usos do solo no meio urbano, reduzindo os impactos ao corpo hídrico receptor.

Quanto à modelagem das vazões, os resultados da verificação, em geral, não foram satisfatórios. Acredita-se que as baixas eficiências na representação estejam associadas à existência de remanso no interior da galeria de entrada e dificuldade, portanto, na obtenção de uma curva-chave representativa para as diversas cotas e vazões, ou seja, os hidrogramas observados podem não estar representando adequadamente a realidade. Trabalhos futuros devem visar à modelagem adequada da vazão na galeria de entrada e na circulação e armazenamento da água na lagoa, levando em consideração a microtopografia para considerar a sedimentação e crescimento de vegetação no interior da lagoa ocorrida ao longo de mais de uma década.

Com relação à modelagem qualitativa, não foram obtidos resultados satisfatórios para a modelagem de nutrientes, sendo necessários mais estudos nesse aspecto. O modelo representou razoavelmente bem os parâmetros SS e DQO, porém esses resultados são iniciais e devem ser considerados com cautela. Recomenda-se a análise de outras funções para lavagem e acumulação de poluentes e o levantamento de relações empíricas mais

consistentes para a área de estudo. Certamente há necessidade de se considerar, de alguma forma, os lançamentos irregulares de esgotos na formulação do modelo.

Devido à complexidade do fluxo na entrada da lagoa de retenção estudada, sugere-se a modelagem hidráulica da lagoa utilizando o programa computacional *Hydrologic Engineering Center – River Analysis System* (HEC-RAS), de forma a melhorar a compreensão do efeito de remanso provocado pelo acúmulo de água na entrada da lagoa associado à baixa declividade do trecho final do canal.

Recomenda-se a instalação, no interior da galeria de entrada, de equipamento de medição contínua de velocidade como, por exemplo, o H-ADCP, que mede a velocidade do fluxo ao longo da seção transversal do canal por meio de efeito Doppler, de maneira a se obter dados mais precisos de vazão na entrada da lagoa.

Sugere-se a instalação de sonda multiparamétrica no interior da galeria de entrada bem como nas proximidades da descarga de fundo da lagoa de retenção de forma a viabilizar a medição contínua do pH, oxigênio dissolvido, condutividade e turbidez, parâmetros esses fundamentais na caracterização e entendimento da qualidade da água pluvial na estrutura estudada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adasa, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. Resolução nº 09, de 08 de abril de 2011. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga de lançamento de águas pluviais em corpos hídricos de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados.
- Agra, C. C. (2017). *Metodologia para estimativa de cargas poluentes em bacias urbanas. Estudo de caso: bacia do Riacho do Sapo*. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 106p.
- Almeida, K. C. B. (2013). *Avaliação da rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais da Bacia do Rio das Velhas utilizando o método da entropia*. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 98p.
- Alvarez, R. P. P. (2010). *Estudo experimental e teórico da qualidade de água da drenagem urbana com base em ecoidrológica*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 215p.
- APHA. (1995). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 19^a ed. American Public Health Association.
- ArKIS Infraestrutura Urbana Ltda. (2005). *Projeto de avaliação ambiental e estudo de dissipação dos pontos de lançamentos da galeria do Cruzeiro – Guará – Distrito Federal*. Brasília, DF, 56p.
- Assunção, V. R. A. (2012). *Proposta de metodologia de cálculo para reservatórios de retenção em bacias hidrográficas urbanizadas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 153p.
- Baptista, M. B.; Nascimento, N. O.; Barraud, S. (2011). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. 2 ed. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 318p.
- BRASIL. (2007). *Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico*.

- BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA nº 357. Classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, 58-63p.
- Beling, F. A. (2013). *Análise do desempenho do modelo SWMM5 acoplado ao calibrador PEST na bacia do Arroio Cancela/RS*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 154p.
- Birch, G. F.; Matthai, C.; Fazeli, M. S. (2006). “Efficiency of a retention/detention basin to remove contaminants from a urban stormwater.” In: *Urban Water Journal*, 3(2), 69-77.
- Browne, F. X. (1999). “Stormwater management”. In: Corbitt, R. A. (2 ed.). *Standard Handbook of Environmental Engineering*. McGraw-Hill. New York, USA, 7.1-7.130.
- Campana, N. A.; Bernardes, R. S. (2010). “Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília – DF”. In: *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 7(2), 53-65.
- Campana, N. A.; Bernardes, R. S.; Silva, J. A. (2007). “Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção”. In: *Revista Ambiente e Água*, 2(3), 98-111.
- Campos, J. E. G. (2004). “Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos”. In: *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1), 41-48.
- Canholi, A. P. (2014). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 2ª ed. Oficina de Textos, São Paulo, 302p.
- Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, 572p.
- Chung, S. W.; Gassman, P. W.; Gu, R.; Kanwar, R. S. (2002) “Evaluation of EPIC for Assessing tile flow and nitrogen losses for alternative agricultural management systems”. In: *Transactions of the ASAE*, 45(4), 1135-1146.
- Collodel, M. G. (2009). *Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão*. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 219p.
- Costa, M. E. L. (2013). *Monitoramento e modelagem de águas de drenagem urbana na bacia do Lago Paranoá*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179p.

- Eckart, K.; McPhee, Z.; Bolisetti, T. (2017). “Performance and implementation of low impact development – A review”. In: *Science of the Total Environment*, 607-608, 413-432.
- Esteves, F. A. (2011). *Fundamentos da Limnologia*. 3ª ed. Interciência, Rio de Janeiro, 826p.
- Ferrante, J. E. T.; Rancan, L; Netto, P. B. (2001). “Meio Físico”. In: Fonseca, F. O. 1 ed. *Olhares sobre o Lago Paranoá*. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Brasília, DF.
- Ferreira, L. C. A. (2008). *Variação da qualidade da água do escoamento superficial de duas bacias de drenagem de Natal/RN*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 119p.
- Franco, E. J. (2004). *Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 143p.
- Garcia, J. I. B. (2005). *Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 168p.
- GDF – Governo do Distrito Federal, Secretaria de Estado de Obras. (2009). *Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal*. Concremat Engenharia, Brasília.
- Gomes, V. M. (2004). *Aspectos qualitativos e quantitativos da água de drenagem pluvial em sub-bacia urbana na cidade de Brasília-DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 85p.
- Goonetilleke, A; Thomas, E. (2003). *Water quality impacts of urbanization: Evaluation of current research*. Centre for Built Environment and Engineering Research, Queensland University of Technology, 93p.
- Henz, S. K. F. (2019). *Análise da eficiência hidráulico-hidrológica e de qualidade da água da bacia de retenção do Guará II – DF*. Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 89p.
- Huber, W. C.; Dickinson, R. E. (1992). *Storm Water Management Model, Version 4: User’s Manual*. U. S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, 502p.
- Huber, W. C.; Rossman, L. A.; Dickinson, R. E. (2005). “EPA Storm Water Management Model, SWMM5”. In: Singh, V. P.; Frevert, D. K. (Org.) *Watershed Models*. CRC Press, Boca Raton, EUA, 339-359.

- James, W.; Rossman, L. E.; James, W. R. C. (2010). User's guide to SWMM5. 13^a ed. CHI, Ontario, Canada, 905p.
- Keßler, S.; Bierl, R.; Meyer, B.; Krein, A. (2016). "Chemical effects of a near-to-nature detention pond on a small urban headwater". In: *Limnologica*, 62 (2017), 118-125.
- Lima, J. B. M. (2004). *Estudo de redes de monitoramento de qualidade das águas superficiais – o caso da bacia do rio Descoberto*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 112p.
- Lodhi, A. R.; Acharya, K. (2014). "Detention basins as best management practices for water quality control in an arid region". In: *Water Science and Engineering*, 7(2), 155-167.
- Marsalek, J.; Jiménez-Cisneros, B. E.; Malmquist, P. -A.; Karamouz, M.; Goldenfum, J.; Chocat, B. (2006). *Urban Water Cycle Processes and Interactions*. International Hydrological Programme, UNESCO, Paris, 87p.
- Milograna, J. (2009). *Sistemática de auxílio à decisão para seleção de alternativas de controle de inundações urbanas*. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 316p.
- Novacap – Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil. (2018). Disponível em: <<http://www.novacap.df.gov.br/>>. Acesso em abril de 2018.
- Piveli, R. P.; Kato, M. T. (2006). *Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos*. ABES, São Paulo, 285p.
- Porto, R. L.; Zahed, K. F.; Tucci, C. E. M.; Bidone, F. (2009). "Drenagem Urbana". In: Tucci, C. E. M. 4^a ed. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre.
- Prodanoff, J. H. A. (2005). *Avaliação da poluição difusa gerada por enxurradas em meio urbano*. Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 266p.
- Reatto, A.; Martins, E. S.; Farias, M. F. R.; Silva, A. V.; Carvalho, O. A. (2004). *Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito Federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo*. Embrapa Cerrados, Planaltina, 31p.
- Righetto, A. M. (2009). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Projeto PROSAB, Editora ABES, Rio de Janeiro, 396p.
- Righetto, A. M.; Gomes, K. M.; Freitas, F. R. S. (2017). "Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana". In: *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(6), 1109-1120.

- Roesner, L. A.; Aldrich, J. A.; Dickinson, R. E. (1992). Storm Water Management Model User's Manual Version 4: Extran Addendum. U. S. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia.
- Rosa, D. W. B. (2017). *Resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana à implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana – Bacia do Córrego do Leitão, Belo Horizonte, Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 218p.
- Rossman, L. A. (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 352p.
- Rossman, L. A.; Huber, W. C. (2016). Storm Water Management Model Reference Manual: Volume I – Hydrology (Revised). USEPA, Cincinnati, Ohio, 231p.
- Salgado, A. A. (2013). *Caracterização da influência de cargas poluidoras difusas na qualidade da água no córrego Botafogo, Goiânia, Goiás*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 127p.
- Sanders, T. G.; Ward, R. C.; Loftis, J. C.; Steele, T. D.; Adrian, D. D.; Yevjevich, V. (1983). Design of networks for monitoring water quality. Water Resources Publications. 1 ed. 331p.
- Sefione, A. L. (2002). *Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave*. Dissertação de Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 240p.
- SEGETH – Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação. (2018). Geoportal. Disponível em: <<http://geoportal.segeth.df.gov.br>> Acesso em fevereiro de 2018.
- Shinma, T. A. (2015). *Avaliação de incertezas na calibração automática do modelo SWMM*. Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 212p.
- Silva, E. C. S. (2013). *Avaliação dos resíduos sólidos produzidos em áreas urbanas: impactos sobre as redes de águas pluviais*. Tese de Doutorado em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 115p.
- Silva, E. P. (2014). *Acúmulo e carreamento de metais pesados e sólidos em superfícies asfálticas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente, Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 111p.

- Souza, F. P. (2014). *Monitoramento e modelagem hidrológica da sub-bacia do lago Paranoá – Brasília/DF – e avaliação de bacia de retenção*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139p.
- State of Iowa. (2009). Storm Water Management Manual. Department of Natural Resources. Disponível em: <<http://www.iowadnr.gov/Environmental-Protection/Water-Quality/NP-DES-Storm-Water/Storm-Water-Manual>>. Acesso em abril de 2018.
- Tominaga, E. N. S. (2013). *Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte*. Dissertação de Mestrado em Engenharia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 137p.
- Troitsky, B.; Zhu, D. Z.; Loewen, M.; Duin, B.; Mahmood, K. (2019). “Nutrient processes and modeling in urban stormwater ponds and constructed wetlands”. In: Canadian Water Resources Journal, 44(3), 230-247.
- Tsuji, T. M. (2018). *Monitoramento e modelagem das águas de drenagem pluvial no núcleo urbano da Bacia do Ribeirão Riacho Fundo*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 150p.
- Tucci, C. E. M. (1998). Modelos Hidrológicos. Primeira Edição. Ed. Universidade, UFRGS, ABRH. Porto Alegre, 669p.
- Tucci, C. E. M. (2005). Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Ministério das Cidades. Programa de Modernização do Setor de Saneamento. 197p.
- Tucci, C. E. M. (2008). “Águas Urbanas”. In: *Estudos Avançados*, São Paulo, 22(63), 97-112.
- Tucci, C. E. M. (2009). Hidrologia: ciência e aplicação. 4ª ed. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre.
- Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Bastos, M. T. (2015). Drenagem Urbana. (1ª ed.). Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Porto Alegre/RS.
- Uberti, A. A. A.; Bacic, I. L. Z.; Panichi, J. A. V.; Neto, J. A. L.; Moser, J. M.; Pundek, M.; Carriao, S. L. (1991). Metodologia para classificação da aptidão de uso das terras do Estado de Santa Catarina. EPAGRI, Florianópolis, 19p.
- VOLKEN, N. J. (2018). *Avaliação hidráulica e hidrológica de bacias de retenção: estudo de caso da bacia do Guará II – DF*. Monografia de Projeto Final em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 85p.

- Von Sperling, M. (1996). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ª ed. DESA/UFMG, Belo Horizonte, 243p.
- Von Sperling, M. (2002). Lagoas de estabilização. 2ª ed. DESA/UFMG, Belo Horizonte, 180p.
- Von Sperling, E.; Tassin, B.; Vinçon-Leite, B. (2006). “Aspectos de qualidade de água em bacias de retenção urbanas”. In: RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 11(2), 27-35.
- Von Sperling, M. (2007). Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. DESA/UFMG, Belo Horizonte, 588p.
- Zanandrea, F. (2016). *Avaliação de técnicas de baixo impacto no controle de impactos hidrológicos em uma bacia urbana em consolidação*. Dissertação de Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 93p.
- Wagener, T.; Wheeler, H. S.; Gupta, H. V. (2004). Rainfall-Runoff Modelling in Gauged and Ungauged Catchments. Imperial College Press. Londres, 306p.
- Walker Jr, W. W. (1987). “Phosphorus removal by urban runoff detention basins”. In: Lake and Reservoir Management, 3(1), 314-326.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Descrição dos elementos de entrada (Área, Width, Dstore Perv e CN)

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
1	0,45	37,4	34,5	59,5
2	0,59	30,7	26,0	66,1
3	2,30	71,4	25,2	66,8
4	1,81	102,4	68,0	42,7
5	2,20	105,8	16,7	75,2
6	0,66	40,3	19,6	72,2
7	1,87	85,2	50,8	50,0
8	1,10	48,2	34,1	59,8
9	2,92	104,8	50,7	50,0
10	2,50	87,3	39,1	56,5
11	1,47	81,8	72,2	41,3
12	1,03	44,1	34,2	59,8
13	0,15	21,7	46,6	52,1
14	3,07	176,5	7,0	87,8
15	0,16	23,6	26,8	65,5
16	0,50	53,4	38,5	56,9
17	0,53	36,3	16,6	75,3
18	0,10	16,6	79,5	39,0
19	0,06	8,7	77,1	39,7
20	2,47	98,1	26,3	65,9
21	1,37	46,5	118,5	30,0
22	0,79	75,3	2,3	95,6
23	0,36	46,3	79,5	39,0
24	1,98	61,9	5,4	90,4
25	0,17	23,1	1,0	98,0
26	2,44	92,2	72,5	41,2
27	2,27	73,3	44,0	53,6
28	4,17	104,6	57,0	47,1
29	3,49	81,1	8,2	86,1
30	0,77	56,3	1,0	98,0
31	1,35	37,6	16,8	75,2
32	1,34	74,6	14,5	77,8
33	0,43	54,3	1,0	98,0
34	0,34	28,9	1,0	98,0
35	0,14	16,8	1,0	98,0
36	0,30	37,1	1,0	98,0

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
37	1,14	36,8	7,0	87,9
38	0,11	17,2	35,0	59,2
39	0,86	93,6	6,3	88,9
40	0,12	12,8	1,0	98,0
41	0,33	33,3	7,8	86,7
42	1,58	83,0	6,9	88,0
43	0,22	17,9	55,6	47,7
44	24,52	498,8	1,0	98,0
45	1,83	96,9	49,9	50,4
46	0,13	16,3	10,6	82,8
47	0,90	60,4	76,3	40,0
48	0,29	22,7	19,8	72,0
49	0,38	44,3	18,2	73,7
50	5,47	107,3	16,6	75,3
51	0,01	4,4	1,0	98,0
52	0,81	32,7	30,8	62,3
53	0,46	49,7	23,1	68,7
54	0,02	6,8	6,8	88,1
55	0,07	19,6	1,0	98,0
56	0,58	49,9	79,5	39,0
57	0,44	38,8	35,8	58,6
58	1,13	61,6	32,9	60,7
59	5,47	107,3	16,6	75,3
60	0,16	31,3	18,1	73,7
61	0,55	41,3	48,8	51,0
62	0,70	43,6	10,5	82,9
63	0,01	4,2	44,1	53,6
64	0,58	52,5	35,1	59,1
65	0,53	36,7	18,1	73,8
66	0,10	31,2	8,8	85,2
67	0,60	21,9	9,9	83,7
68	0,12	19,0	33,6	60,2
69	1,19	84,9	19,8	72,0
70	5,09	158,9	37,4	57,6
71	0,29	39,0	39,1	56,5
72	1,05	66,8	27,6	64,8
73	0,70	49,4	11,0	82,2
74	1,03	35,2	33,9	60,0

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
75	1,78	112,0	16,4	75,6
76	1,59	126,8	36,2	58,4
77	0,35	40,7	10,0	83,6
78	0,14	11,3	12,7	80,0
79	0,53	47,8	62,0	45,0
80	0,37	32,6	19,2	72,6
81	3,84	155,8	17,2	74,8
82	2,11	105,9	17,9	74,0
83	0,38	42,8	8,6	85,5
84	2,78	110,7	14,0	78,3
85	1,10	88,1	28,4	64,1
86	1,65	75,7	11,7	81,3
87	0,88	56,9	7,7	86,8
88	0,35	35,8	11,5	81,5
89	0,19	26,0	14,2	78,1
90	2,89	100,1	35,4	58,9
91	0,10	14,5	6,9	88,0
92	2,81	144,7	6,8	88,3
93	0,88	62,8	54,8	48,1
95	1,32	86,2	23,8	68,1
96	0,14	16,8	8,6	85,5
97	0,98	81,1	36,6	58,1
98	0,32	31,9	26,4	65,8
99	1,02	53,2	40,6	55,6
100	1,30	81,2	27,2	65,1
101	0,29	40,1	21,8	69,9
102	0,27	22,4	40,4	55,7
103	1,23	70,0	34,9	59,3
104	1,00	78,2	40,7	55,5
105	1,24	63,4	9,9	83,7
107	0,16	26,1	54,1	48,4
109	1,69	94,3	37,0	57,9
110	0,43	38,4	18,6	73,2
112	4,77	170,7	35,5	58,8
113	0,58	52,8	7,5	87,2
115	1,43	65,1	63,1	44,6
116	1,86	89,7	9,4	84,3
118	0,59	46,6	38,1	57,2
119	1,41	119,4	12,9	79,8
122	2,22	100,0	7,4	87,3
123	0,24	35,8	13,5	79,1
124	0,77	62,4	6,0	89,4

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
125	1,44	94,8	26,7	65,5
126	0,04	9,9	35,3	59,0
127	1,10	85,1	37,2	57,7
128	1,07	104,3	36,3	58,3
129	0,51	47,5	21,2	70,5
130	0,10	14,5	27,7	64,7
131	0,82	46,4	2,5	95,2
132	2,36	154,7	21,9	69,8
133	0,19	31,2	1,0	98,0
134	0,38	62,4	74,1	40,7
136	0,38	47,5	36,8	58,0
137	0,15	20,1	36,1	58,5
138	0,24	27,6	1,0	98,0
139	0,14	16,8	18,5	73,3
141	1,33	74,5	9,0	84,9
142	1,26	63,5	5,1	90,8
143	0,82	91,0	1,0	98,0
144	1,39	75,2	2,8	94,8
145	0,29	31,2	3,2	94,0
147	7,38	103,1	14,5	77,8
148	0,62	59,1	31,9	61,5
149	0,29	40,1	25,5	66,6
150	0,19	31,2	21,9	69,8
151	1,14	64,8	18,6	73,3
154	1,58	126,7	7,9	86,5
155	2,59	76,5	5,8	89,7
156	0,29	24,4	8,8	85,3
157	1,56	52,6	5,1	90,9
159	5,45	98,1	7,5	87,1
160	0,24	27,6	10,7	82,6
161	0,05	11,7	1,0	98,0
162	0,05	11,7	16,2	75,8
163	0,04	8,9	1,0	98,0
164	2,51	57,2	2,8	94,8
166	1,39	76,6	37,6	57,5
167	0,52	50,5	3,5	93,5
168	0,05	11,7	18,2	73,6
169	0,87	55,7	1,0	98,0
170	0,17	19,2	1,0	98,0
171	0,88	61,6	1,0	98,0
172	1,40	95,2	7,5	87,1
176	0,53	47,8	46,4	52,3

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
177	0,81	53,5	21,3	70,5
178	4,90	119,9	18,7	73,1
179	0,57	47,6	6,1	89,2
180	0,10	14,5	82,0	38,3
181	0,55	52,7	42,9	54,2
183	0,43	39,6	1,0	98,0
185	0,05	11,7	38,4	57,0
186	0,29	31,2	1,0	98,0
187	0,63	66,7	3,2	94,2
188	0,53	67,2	15,6	76,5
189	0,19	31,2	55,8	47,6
190	1,35	84,3	37,1	57,8
193	0,58	45,1	1,0	98,0
194	0,10	16,6	27,4	65,0
195	1,94	93,8	29,8	63,0
197	1,17	52,6	36,3	58,3
198	2,09	116,3	30,3	62,6
199	0,81	60,0	1,3	97,5
200	2,31	73,3	16,3	75,7
201	3,48	94,0	15,1	77,1
202	2,10	75,6	29,8	63,0
203	1,03	60,5	6,8	88,2
204	0,05	11,7	1,0	98,0
205	0,77	52,9	7,0	87,9
206	0,29	40,1	13,8	78,6
208	0,48	45,1	3,4	93,7
210	3,22	96,2	23,8	68,1
211	0,19	26,0	1,0	98,0
212	0,05	11,7	3,6	93,4
213	2,96	98,3	15,3	76,9
214	0,17	23,1	30,2	62,8
215	2,29	63,7	8,0	86,4
216	3,33	109,6	7,4	87,2
217	1,78	134,4	46,2	52,4
218	1,00	47,7	26,6	65,6
219	4,13	204,7	20,3	71,5
220	0,05	11,7	56,2	47,5
221	0,38	35,4	37,6	57,5
222	2,24	108,8	27,6	64,8
224	1,96	82,9	30,5	62,5
225	3,57	98,7	5,5	90,2
226	2,12	66,5	15,9	76,2

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
227	0,66	49,5	15,4	76,7
228	0,82	52,3	38,8	56,7
229	0,73	45,8	36,9	57,9
230	1,73	90,0	24,7	67,2
231	0,86	70,8	14,0	78,4
232	1,77	103,1	28,7	63,9
233	1,03	41,5	39,8	56,1
234	1,77	75,6	15,5	76,6
235	2,48	63,8	16,3	75,7
236	1,61	70,8	1,6	97,0
237	1,35	57,4	13,1	79,5
238	2,34	86,3	38,9	56,6
239	4,04	202,4	10,7	82,6
240	1,41	76,0	12,0	80,9
241	0,57	51,8	29,7	63,1
242	0,43	39,6	8,7	85,3
243	0,22	42,6	118,5	30,0
244	0,38	44,3	70,4	41,9
245	1,87	72,5	8,8	85,2
246	5,65	174,4	17,0	74,9
247	2,08	122,0	32,6	60,9
248	0,27	37,3	2,7	95,0
249	1,51	72,8	8,9	85,1
250	5,24	127,9	25,1	66,9
251	0,48	47,0	95,6	34,7
252	0,34	58,4	3,2	94,0
253	1,39	50,0	20,3	71,4
255	2,14	74,0	30,0	62,9
256	0,51	59,0	8,3	85,9
257	0,05	11,7	1,1	97,8
258	0,24	35,8	16,8	75,2
259	0,94	56,3	31,3	61,8
260	0,94	53,8	26,3	65,9
261	1,84	112,6	5,8	89,8
262	1,87	99,2	3,8	93,1
263	1,53	76,2	3,5	93,6
264	0,22	28,9	80,5	38,7
265	0,73	55,9	14,2	78,1
266	0,19	31,2	5,3	90,5
267	0,49	46,8	8,4	85,8
268	1,15	108,1	37,2	57,7
269	1,01	101,3	16,0	76,1

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
271	4,00	99,9	18,6	73,2
272	2,11	96,6	5,9	89,6
273	1,10	51,6	10,1	83,4
274	2,57	86,4	17,2	74,7
275	0,38	62,4	2,1	96,1
276	1,15	108,0	18,0	73,9
277	0,34	36,5	1,0	98,0
278	0,62	79,5	4,0	92,7
279	0,10	16,6	23,7	68,2
280	0,19	26,0	12,8	79,9
281	2,11	84,1	4,3	92,1
282	0,95	72,1	7,4	87,3
283	2,08	117,8	8,5	85,6
284	0,43	54,3	2,0	96,3
285	0,82	91,0	1,7	96,8
286	0,05	11,7	2,5	95,3
287	0,58	62,4	6,1	89,3
288	0,29	40,1	30,7	62,3
289	2,25	56,6	20,3	71,5
290	2,21	122,6	17,1	74,8
291	1,10	105,8	8,9	85,1
292	0,62	79,5	50,9	49,9
293	0,43	54,3	3,1	94,2
294	0,62	59,1	11,6	81,4
295	1,81	99,0	10,6	82,7
296	1,06	74,2	21,1	70,7
297	1,34	83,1	19,3	72,5
298	1,12	67,2	1,7	96,8
299	0,22	28,9	1,0	98,0
300	0,29	54,0	1,4	97,3
301	0,48	54,1	7,3	87,4
303	0,29	31,2	2,1	96,0
304	0,19	31,2	1,0	98,0
305	0,29	40,1	1,0	98,0
306	2,03	122,7	31,1	62,0
307	0,29	54,0	3,6	93,3
308	1,53	84,6	2,1	96,0
309	0,97	87,9	8,1	86,2
310	0,77	51,6	13,7	78,7
311	1,32	115,6	8,3	85,9
312	0,27	30,7	2,6	95,2
313	1,87	137,8	3,6	93,4

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
314	1,82	115,9	1,7	96,8
315	3,07	97,6	49,0	50,9
316	0,19	31,2	8,6	85,5
317	2,03	88,3	9,6	84,1
318	0,58	62,4	2,4	95,4
319	0,19	26,0	56,5	47,3
320	1,99	92,6	18,9	72,9
321	2,03	70,3	15,6	76,5
322	0,62	59,1	5,0	91,0
323	0,77	66,0	7,0	87,9
324	0,92	66,0	5,5	90,2
325	0,37	43,3	17,1	74,8
326	2,35	67,3	6,9	88,0
327	0,50	71,3	10,9	82,3
328	0,96	68,5	8,5	85,7
329	0,44	56,2	11,1	82,1
331	0,15	17,4	6,1	89,3
332	1,30	75,8	23,4	68,4
333	0,17	23,1	1,2	97,7
334	1,77	134,1	40,5	55,6
335	1,93	63,8	9,1	84,8
336	0,95	98,1	8,4	85,9
337	0,34	36,5	1,5	97,1
338	1,66	115,1	7,7	86,8
339	2,11	146,2	6,5	88,7
340	0,14	20,5	11,5	81,5
341	1,13	85,7	3,0	94,4
342	1,01	86,4	1,0	98,0
343	2,07	99,8	28,2	64,3
344	0,46	45,7	12,8	79,9
345	0,19	26,0	20,7	71,0
346	1,20	110,5	5,1	90,8
347	1,30	61,7	8,5	85,7
348	1,46	84,6	39,3	56,4
349	1,08	44,2	87,1	36,8
350	1,98	100,3	34,0	59,9
351	0,33	23,4	41,3	55,2
352	0,19	31,2	15,5	76,6
353	0,78	47,6	18,9	72,8
354	1,95	105,8	14,1	78,2
355	1,06	68,5	19,2	72,5
356	0,34	58,4	44,4	53,4

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
357	1,64	81,2	19,3	72,4
358	0,67	57,2	22,1	69,6
359	1,09	45,6	51,4	49,7
362	1,66	90,0	5,1	90,9
363	0,62	57,9	1,0	98,0
364	0,38	38,6	3,7	93,2
365	0,83	72,9	9,4	84,4
366	0,62	57,9	7,7	86,8
367	2,96	107,3	35,0	59,2
368	2,02	94,4	10,2	83,3
369	1,11	50,4	18,5	73,4
370	0,27	37,3	12,7	80,0
371	2,62	93,3	10,5	82,8
372	0,97	51,4	18,1	73,7
373	1,09	64,8	20,0	71,7
374	1,83	96,9	45,1	53,0
375	0,10	14,5	5,9	89,7
376	2,42	151,4	16,5	75,5
377	0,17	23,1	11,5	81,5
378	1,34	116,7	30,8	62,3
379	0,05	11,7	45,3	52,9
380	0,43	41,6	29,0	63,6
381	1,10	105,8	64,5	44,1
382	0,75	59,3	9,7	83,9
383	3,46	97,4	14,9	77,3
384	0,28	47,3	21,8	70,0
385	0,43	44,5	5,6	90,0
386	1,52	75,7	8,3	85,9
387	1,39	88,5	37,2	57,7
388	0,87	60,7	16,9	75,0
389	1,13	86,9	29,6	63,2
390	2,09	83,0	35,1	59,1
391	0,77	36,6	46,9	52,0
392	0,81	59,7	7,0	87,8
393	0,37	43,3	75,6	40,2
394	0,10	31,2	29,9	63,0
395	0,67	51,0	8,4	85,9
396	1,13	107,1	16,0	76,0
397	1,87	98,8	28,9	63,7
398	0,97	63,5	15,4	76,7
399	0,53	53,7	128,8	28,3
400	0,93	50,6	37,5	57,6

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
401	1,28	48,3	27,2	65,2
402	0,87	71,3	41,3	55,2
403	0,62	59,1	55,6	47,7
404	0,15	24,3	17,7	74,2
405	1,41	52,3	34,2	59,8
406	0,63	52,8	29,7	63,1
407	0,19	31,2	2,3	95,7
408	0,14	24,2	1,0	98,0
409	0,28	23,7	2,8	94,8
410	0,48	54,1	44,2	53,5
411	0,29	31,2	56,8	47,2
412	0,68	82,8	48,8	51,0
413	0,19	21,2	37,7	57,4
414	1,00	36,2	53,3	48,8
415	0,48	45,4	73,4	40,9
416	4,87	158,1	36,3	58,3
417	0,35	39,9	4,8	91,4
418	1,87	45,6	37,7	57,4
419	0,34	42,1	81,5	38,4
420	0,98	54,2	83,8	37,7
421	2,08	73,9	33,3	60,4
422	0,77	36,3	6,8	88,2
423	0,29	40,1	27,1	65,2
424	0,61	72,2	1,0	98,0
425	1,20	78,4	24,1	67,9
426	0,14	24,2	27,3	65,1
427	1,02	101,9	61,6	45,2
428	0,29	40,1	119,5	29,8
429	0,29	40,1	38,5	56,9
430	0,72	71,4	34,2	59,8
431	1,69	95,5	1,0	98,0
432	0,72	85,4	21,5	70,3
433	0,67	41,8	60,2	45,8
434	1,14	43,8	34,0	59,9
435	0,42	65,3	1,0	98,0
436	0,96	98,6	20,8	71,0
437	1,87	82,9	1,0	98,0
438	2,45	68,2	14,9	77,3
439	1,90	73,7	17,3	74,6
440	0,70	59,8	57,8	46,8
441	0,41	36,7	46,0	52,5
442	0,24	27,6	33,0	60,6

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
443	3,25	116,5	33,3	60,4
444	0,19	31,2	34,9	59,3
445	0,53	44,7	30,6	62,4
446	1,05	84,6	29,6	63,2
447	0,67	44,9	23,2	68,7
448	0,67	44,9	32,8	60,8
449	1,69	102,3	33,5	60,2
450	1,07	104,0	1,0	98,0
451	0,43	54,3	22,4	69,4
452	0,53	51,1	20,9	70,8
453	0,48	54,1	38,2	57,0
454	2,85	142,0	45,7	52,7
455	0,65	53,0	1,0	98,0
456	0,39	45,4	1,0	98,0
457	0,53	63,3	7,7	86,8
458	0,38	62,4	71,6	41,5
459	1,44	76,6	17,2	74,7
460	1,21	86,3	60,3	45,7
461	1,36	117,3	1,0	98,0
462	0,38	55,0	14,3	78,0
463	0,19	26,0	20,1	71,6
464	5,24	84,9	51,4	49,7
465	0,39	38,0	49,7	50,5
466	1,39	52,4	6,0	89,4
467	0,59	52,0	1,1	97,8
468	1,06	103,7	10,0	83,5
469	1,56	63,9	52,6	49,1
470	1,53	84,0	14,2	78,2
471	0,87	72,7	75,5	40,2
472	4,21	206,7	2,2	95,9
473	0,19	31,2	2,0	96,2
474	0,41	45,2	2,7	94,9
475	0,97	57,8	5,4	90,4
476	2,79	117,0	50,0	50,4
477	0,74	86,4	5,3	90,6
478	0,38	62,4	1,0	98,0
479	0,22	28,9	51,1	49,8
480	6,91	122,0	46,4	52,2
481	1,78	134,5	35,3	59,0
482	0,38	28,2	2,4	95,5
483	0,24	26,2	26,4	65,8
484	1,30	114,6	1,5	97,0

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
485	1,81	85,4	48,4	51,2
486	1,38	53,2	79,5	39,0
487	5,88	175,1	70,0	42,0
488	1,79	94,1	1,0	98,0
489	0,14	24,2	4,2	92,3
490	0,43	66,2	4,1	92,5
491	0,05	11,7	19,8	72,0
494	3,52	155,2	33,9	60,0
495	2,00	62,2	1,0	98,0
496	2,11	67,9	1,0	98,0
497	1,10	73,7	1,0	98,0
498	0,86	64,7	14,7	77,5
499	0,10	31,2	9,0	84,9
500	0,19	31,2	4,7	91,6
501	0,34	58,4	10,9	82,4
502	0,19	31,2	3,1	94,2
503	2,96	78,6	49,8	50,5
504	7,66	141,9	32,9	60,7
505	2,47	65,9	23,5	68,4
506	4,58	139,4	33,3	60,4
507	0,12	11,9	1,0	98,0
508	0,29	40,1	6,3	89,0
509	1,04	62,1	51,9	49,5
510	0,22	28,9	22,4	69,4
511	0,10	31,2	21,5	70,3
512	0,78	32,2	22,8	69,0
513	0,43	54,3	15,2	77,0
514	0,29	40,1	19,8	72,0
515	0,29	40,1	4,8	91,4
516	0,24	35,8	33,6	60,2
517	0,88	65,3	3,5	93,6
518	1,00	57,8	1,0	98,0
519	0,48	54,1	15,2	77,0
520	0,29	40,1	37,8	57,3
521	1,19	110,0	18,4	73,4
522	0,91	65,8	41,3	55,2
523	0,82	55,5	3,1	94,3
524	0,29	40,1	30,8	62,3
525	0,10	14,5	27,2	65,1
526	0,56	57,0	48,3	51,2
527	0,19	31,2	42,9	54,2
528	0,43	39,6	69,9	42,1

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
530	0,29	33,0	56,7	47,3
531	2,31	88,9	4,4	92,0
532	2,59	162,0	1,0	98,0
533	0,05	11,7	7,9	86,5
534	2,38	114,3	53,9	48,5
535	0,14	24,2	16,1	75,9
536	0,58	72,4	39,8	56,1
537	0,29	31,2	64,4	44,1
538	1,89	72,0	4,9	91,2
539	0,86	74,2	3,1	94,3
540	0,97	59,3	53,3	48,8
541	0,05	9,3	53,7	48,6
542	1,15	59,5	83,8	37,8
543	1,44	68,8	46,2	52,4
544	0,12	14,9	52,9	49,0
545	2,42	71,8	48,3	51,3
546	1,30	114,6	17,6	74,2
550	0,13	26,3	43,0	54,1
551	0,96	59,6	47,7	51,6
552	0,05	11,7	20,8	71,0
554	0,31	39,8	66,9	43,2
555	1,31	53,3	26,0	66,1
557	0,81	62,9	63,5	44,5
558	1,24	56,0	48,6	51,1
559	0,49	46,1	19,8	72,0
560	0,47	35,9	118,5	30,0
562	0,28	29,8	32,2	61,2
563	0,58	32,5	37,7	57,4
564	0,10	16,6	27,1	65,2
565	0,02	6,5	65,9	43,5
566	0,08	23,4	43,8	53,7
567	0,09	26,7	34,2	59,8
568	0,24	35,8	9,0	85,0
569	2,28	89,4	25,7	66,4
570	0,91	76,6	83,8	37,7
571	0,96	71,7	49,3	50,8
572	0,96	44,8	43,0	54,1
573	0,54	27,5	47,8	51,5
574	0,19	31,2	7,4	87,3
575	0,10	31,2	13,7	78,8
576	0,05	11,7	13,1	79,5
577	1,61	125,0	43,6	53,8

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
578	0,68	44,5	29,6	63,2
579	0,01	5,3	1,0	98,0
581	0,03	5,1	1,0	98,0
582	0,91	54,2	25,8	66,3
583	0,58	72,4	56,9	47,2
584	1,25	76,6	60,1	45,8
585	1,77	101,2	76,6	39,9
586	0,76	57,2	50,4	50,2
587	0,91	44,1	32,6	60,9
588	1,69	85,8	35,3	59,0
589	0,19	30,2	6,9	88,1
590	0,19	31,2	44,9	53,1
591	1,37	49,0	36,8	58,0
592	0,19	26,0	68,8	42,5
593	0,19	31,2	59,0	46,3
594	0,48	54,1	37,9	57,3
595	0,43	54,3	19,6	72,2
596	0,77	43,2	55,7	47,7
597	1,53	84,1	53,5	48,7
598	0,48	69,8	10,5	82,9
599	0,58	52,8	32,4	61,1
600	0,72	34,2	38,5	56,9
601	0,27	28,3	40,1	55,9
602	1,92	70,6	39,5	56,2
603	1,24	58,3	54,3	48,3
604	0,29	40,1	117,7	30,2
605	0,72	48,9	52,6	49,1
606	0,10	31,2	52,5	49,2
607	0,19	31,2	39,6	56,2
608	0,19	31,2	111,1	31,4
609	2,28	83,2	27,3	65,0
610	0,01	4,0	15,6	76,5
611	0,41	43,9	42,7	54,3
612	0,32	51,6	48,4	51,2
613	0,18	31,1	33,1	60,5
614	1,82	80,2	41,0	55,3
615	0,05	11,7	28,0	64,4
616	0,12	35,2	30,2	62,7
617	0,67	26,1	39,2	56,4
618	0,29	40,1	118,5	30,0
619	0,14	20,5	97,2	34,3
620	0,10	11,4	22,4	69,4

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
621	1,33	59,9	70,4	41,9
622	0,10	31,2	46,4	52,3
625	0,39	35,5	77,0	39,8
629	1,39	60,6	118,5	30,0
630	1,33	57,1	112,7	31,1
631	0,19	31,2	38,3	57,0
632	0,70	67,6	40,5	55,6
635	0,21	34,0	79,5	39,0
637	0,19	26,0	30,8	62,2
638	0,10	31,2	92,6	35,4
639	0,05	7,5	11,2	81,9
640	0,50	71,3	46,7	52,1
644	0,53	67,2	28,0	64,4
645	3,35	124,3	55,4	47,8
646	0,29	40,1	41,1	55,3
649	3,58	63,5	57,6	46,9
651	0,74	71,1	34,3	59,7
652	0,28	38,7	43,6	53,8
653	0,50	43,5	19,8	72,0
654	0,46	49,6	35,6	58,8
656	0,46	52,6	56,6	47,3
660	0,76	65,3	36,8	58,0
661	1,78	94,9	49,3	50,7
662	2,04	70,4	32,4	61,1
663	1,88	100,6	38,8	56,7
665	0,23	23,3	53,7	48,6
667	0,37	21,5	57,0	47,1
669	0,53	42,1	69,1	42,4
671	0,28	22,6	41,1	55,3
672	0,39	33,0	74,4	40,6
673	0,60	44,1	78,8	39,2
675	0,22	32,5	16,8	75,1
676	1,46	84,7	9,8	83,9
677	0,05	11,7	79,5	39,0
678	0,99	72,0	49,2	50,8
679	0,28	44,8	79,5	39,0
680	0,39	36,6	95,8	34,6
682	0,22	28,9	57,4	46,9
683	0,19	26,0	22,3	69,5
684	0,27	28,0	30,5	62,5
686	0,60	29,9	63,7	44,3
687	0,06	11,1	27,3	65,0

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
688	0,91	46,4	44,7	53,2
690	1,35	89,7	78,7	39,2
693	1,13	62,0	22,5	69,3
695	0,40	45,4	79,5	39,0
696	0,90	41,3	56,0	47,5
697	0,88	79,9	61,4	45,3
698	0,08	15,5	64,5	44,0
699	1,18	74,1	50,2	50,3
700	0,67	40,1	35,0	59,2
701	1,75	78,1	35,6	58,8
702	1,82	135,8	50,8	50,0
703	1,29	114,2	25,3	66,7
704	2,72	103,6	43,9	53,7
705	0,49	41,0	79,4	39,0
710	1,92	77,9	26,8	65,5
712	0,11	19,5	30,0	62,9
713	3,05	69,5	39,3	56,4
714	2,01	67,9	38,0	57,2
715	0,80	89,9	59,5	46,1
717	0,56	50,3	42,1	54,7
719	0,20	21,9	19,6	72,2
721	0,76	51,6	35,4	58,9
722	0,16	11,9	58,3	46,6
723	2,71	132,2	39,2	56,5
726	0,67	58,3	49,4	50,7
727	2,02	79,1	57,6	46,9
728	1,90	55,4	61,0	45,4
729	1,54	54,6	69,4	42,3
730	1,63	64,8	41,4	55,1
731	1,85	65,9	42,2	54,6
732	1,11	55,1	33,2	60,5
733	1,61	73,3	40,6	55,6
734	0,98	78,4	88,5	36,5
735	0,08	13,0	23,1	68,7
736	0,82	91,1	48,5	51,1
737	2,56	96,0	70,3	41,9
738	1,22	66,7	81,2	38,5
739	4,11	126,2	69,4	42,3
740	0,03	5,7	79,5	39,0
742	2,28	85,3	78,4	39,3
743	1,50	86,4	96,6	34,5
744	1,86	76,9	44,7	53,2

Sub-bacia	Área (ha)	Width (m)	Dstore Perv (mm)	CN
745	1,91	104,5	40,0	56,0
192_1	3,71	92,9	6,2	89,1
192_2	2,22	80,6	33,6	60,2
223_2	3,29	118,1	9,8	83,9
223_3	2,79	93,3	26,4	65,8
223_4	3,33	135,3	6,1	89,3
330_1	1,26	70,1	88,9	36,4
330_2	2,19	91,9	9,0	84,9
694_1	4,40	187,2	67,2	43,1
694_2	1,67	63,2	55,0	48,0
718_1	1,60	81,5	15,0	77,2
718_2	1,44	60,1	118,5	30,0
720_2	0,49	27,2	97,0	34,4
720_3	0,60	50,3	51,0	49,9
720_4	0,87	58,9	9,1	84,8