

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CARGA POLUIDORA DIFUSA NA ÁGUA E NOS
SEDIMENTOS DE SUB-BACIA DO ARROIO CADENA-
SANTA MARIA/RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Sizabeli Amaral dos Santos

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

**CARGA POLUIDORA DIFUSA NA ÁGUA E NOS
SEDIMENTOS DE SUB-BACIA DO ARROIO CADENA-
SANTA MARIA/RS**

Sizabeli Amaral dos Santos

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Cauduro Gastaldini

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Amaral dos Santos, Sizabeli
Carga poluidora difusa na água e nos sedimentos de sub-bacia do Arroio Cadena-Santa Maria/RS / Sizabeli Amaral dos Santos.-2014.
176 p.; 30cm

Orientadora: Maria do Carmo Cauduro Gastaldini
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2014

1. Qualidade da água 2. Carga difusa 3. Precipitação
4. Sedimento I. Cauduro Gastaldini, Maria do Carmo II.
Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Sizabeli Amaral dos Santos. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

e-mail: sizabeli@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de
Mestrado

**CARGA POLUIDORA DIFUSA NA ÁGUA E NOS SEDIMENTOS DE
SUB-BACIA DO ARROIO CADENA-SANTA MARIA/RS**

elaborada por
Sizabeli Amaral dos Santos

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Maria do Carmo Cauduro Gastaldini, Dr^a.
(Presidente/Orientador)

Alexandre Swarowsky, Dr. (UFSM)

Júlio Cesar Rodrigues de Azevedo, Dr. (UFPR)

Santa Maria, 04 de dezembro de 2014

*Dedico este trabalho aos meus pais
José e Maria e aos meus avós Adélino
(in memoriam) e Eva, exemplos de
força e determinação.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José e Maria pela dedicação e apoio emocional;

Ao meu namorado Osmar Schmidt Filho pelo incentivo, companheirismo, carinho e amor;

Aos meus sogros Osmar Schmidt e Eliete pelo incentivo e carinho;

À professora Maria do Carmo pela orientação, pelos ensinamentos e pela confiança em meu trabalho;

À Universidade Federal de Santa Maria, pelo ensino gratuito e de qualidade proporcionado ao longo da pós-graduação.

Aos técnicos de laboratório Alcides Sartori e José Astério do Carmo pelo apoio nas atividades de campo e de laboratório, pela paciência e amizade;

A Marília Goulart, secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pela amizade, atenção e ajuda prestada nos momentos burocráticos;

Aos servidores e professores do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSM pelo companheirismo e apoio;

Ao grupo GHIDROS pelas instalações e equipamentos utilizados no desenvolvimento desta pesquisa;

Aos colegas e amigos Diego Balestrin, Glaucia Pivetta, Marielle Medeiros, Roberta Lisbôa, Ronaldo Kanopf de Araújo, Taiane Conterato, Vinicius Kuchinski que tornaram mais agradáveis e divertidas as horas de trabalho e as idas ao campo, pela amizade sincera que criamos nesses bons momentos;

Aos bolsistas de iniciação científica pela dedicação e empenho durante toda a pesquisa;

A CAPES pela bolsa de estudos concedida;

A FINEP pelo apoio a pesquisa;

A todos aqueles que não foram citados, mas que com a mesma importância contribuíram para realização deste trabalho;

A todos, *MUITO OBRIGADA!*

Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito.

Chico Xavier

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

CARGA POLUIDORA DIFUSA NA ÁGUA E NOS SEDIMENTOS DE SUB-BACIA DO ARROIO CADENA-SANTA MARIA/RS

AUTOR: SIZABELI AMARAL DOS SANTOS

ORIENTADOR: MARIA DO CARMO CAUDURO GASTALDINI

Data e local da defesa: Santa Maria, 04 de dezembro de 2014.

O desenvolvimento econômico e o crescimento das atividades produtivas vêm acelerando o processo de degradação dos recursos hídricos. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar as cargas de poluentes nas águas superficiais e nos sedimentos veiculados pela rede de drenagem urbana, em um afluente do arroio Cadena, no município de Santa Maria-RS. Obtendo-se uma análise dos fatores que interferem na poluição do curso hídrico como: precipitação, vazões, uso e ocupação do solo, área da bacia e período seco antecedente ao evento. As concentrações médias dos eventos tiveram variabilidade em função da precipitação e da intensidade da precipitação. A concentração média dos poluentes nos eventos mostrou tendência a aumentar com a precipitação e com a intensidade de precipitação. O período seco antecedente apresentou correlação significativa com os metais pesados cobre e níquel. A carga difusa obtida para sólidos suspensos totais foi de 28.812 kg/ha/ano, para DBO de 3.225 kg/ha/ano e para coliformes totais de 5,03E+07 organismos/ha/ano. As curvas M(V), juntamente com as curvas de máxima divergência evidenciaram a variabilidade da carga de lavagem e as diferenças entre os eventos e parâmetros. A diferença na carga poluente deve-se ao processo de degradação elevada devido às atividades antrópicas, como urbanização e lançamento de efluente doméstico. As concentrações de metais pesados nos sedimentos de fundo e em suspensão apresentaram-se abaixo do limite estabelecido na resolução CONAMA nº 454/12 e nas diretrizes de sedimentos do Instituto do Meio Ambiente do Canadá. O material de leito do arroio Cancela-Tamandaí é arenoso, com predomínio de areia grossa e areia média.

Palavras-chave: Qualidade da água, carga difusa, precipitação, sedimento.

ABSTRACT

Master's Essay
Post-Graduation Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

NONPOINT POLLUTANT LOAD IN WATER AND SEDIMENT IN A SUB-BASIN OF THE CADENA CREEK - SANTA MARIA/RS

AUTHOR: SIZABELI AMARAL DOS SANTOS

ADVISOR: MARIA DO CARMO CAUDURO GASTALDINI

Place and date of defense: Santa Maria, 4^o december 2014.

Economic development and growth of productive activities have been accelerating the degradation of water resources. This research aimed to evaluate the pollutant loads in surface waters and in sediments conveyed by urban drainage systems in a tributary of the Cadena creek in the municipality of Santa Maria-RS. A number of factors may interfere with the water pollution, such as precipitation, stream flow, use and occupation of the land area of the basin, and dry period prior to the event. Results showed that the mean concentration of events presented a variability related to precipitation and precipitation intensity. The average concentration of pollutants in the events tended to increase with the precipitation and precipitation intensity. The prior dry period was significantly correlated with the heavy metals copper and nickel. Diffuse load obtained for total suspended solids, BOD and total coliform organisms was 28.812 kg/ha/year, 3.225 kg/ha/year and 5,03E+07 organisms/ha/year, respectively. The curves $M(V)$ along with the curves of maximum divergence evidenced the variability of the first flush and the differences between the events and parameters. The difference in the pollutant load is due to the high degradation process because of anthropogenic activities, such as urbanization and launch of domestic wastewater. Concentrations of heavy metals in bottom and suspended sediments were below the limit established by CONAMA Resolution 454/12 and the guidelines of the sediments of the Environment Institute of Canada. The bed material of the Cancela-Tamandaí creek is sandy with a predominance of coarse and medium sand.

Keywords: water quality, nonpoint load, precipitation, sediment

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FONTES DE SEDIMENTOS E/OU POLUENTES EM ÁREAS URBANAS. ADAPTADO DE TAYLOR (2007)	40
FIGURA 2 - DEFINIÇÃO DA CARGA DE LAVAGEM SEGUNDO GUPTA E SAUL (1996). (ADAPTADO DE BERTRAND ET AL. ,1998).....	49
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ E DO ARROIO CANCELA-TAMANDAÍ.....	59
FIGURA 4 - MODELO NUMÉRICO DE TERRENO DA BACIA DO ARROIO CANCELA-TAMANDAÍ.....	61
FIGURA 5 - USO DO SOLO DA BACIA DO ARROIO CANCELA-TAMANDAÍ NO ANO DE 2014.....	62
FIGURA 6 - TIPOS DE SOLO PRESENTES NA BACIA DO ARROIO CANCELA. FONTE: ADAPTADO DE BELING (2013).	63
FIGURA 7 - ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO NA BACIA DO ARROIO CANCELA-TAMANDAÍ.....	65
FIGURA 8 - AMOSTRADOR TIPO US-BMH-53 ADAPTADO	67
FIGURA 9 - AMOSTRADOR DE NÍVEL ASCENDENTE (ANA).....	68
FIGURA 10 – ESQUEMA DO PREPARO DAS AMOSTRAS E PARÂMETROS ANALISADOS PARA MATERIAL DE LEITO.....	71
FIGURA 11 - PONTOS DE COLETA ADOTADOS E COLETADOS EM EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO.	76
FIGURA 12 - PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ DURANTE O PERÍODO DE JANEIRO DE 2013 A MARÇO DE 2014 E MÉDIA HISTÓRICA (2004-2014).	81
FIGURA 13 – CURVA-CHAVE DA SEÇÃO CANCELA-TAMANDAÍ VÁLIDA PARA O PERÍODO DE ESTUDO, PARA COTAS MAIORES OU IGUAIS A 0,10 M E INFERIORES A 1,50 M.	82
FIGURA 14 - COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (--%--) EM TEMPO SECO PARA OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ.....	85
FIGURA 15 - COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (--%--) EM TEMPO SECO PARA OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DO SEDIMENTO DE FUNDO NA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ.....	90

FIGURA 16 - A, B, C E D: CONCENTRAÇÕES BIODISPONÍVEIS DE METAIS PESADOS OBTIDAS NOS SEDIMENTOS DE FUNDO EM COMPARAÇÃO COM OS NÍVEIS ESTABELECIDOS NA RESOLUÇÃO CONAMA Nº 454/2012 E PELAS DIRETRIZES AMBIENTAIS DO IMAC, PARA EFEITOS ADVERSOS A BIOTA AQUÁTICA,	91
FIGURA 17 – CONCENTRAÇÕES BIODISPONÍVEIS MÁXIMAS, MÍNIMAS, MEDIANAS E ANÔMALAS OBTIDAS PARA CU, NI, PB E ZN OBTIDAS NOS SEDIMENTOS DE FUNDO.	92
FIGURA 18 – CURVA GRANULOMÉTRICA DO SEDIMENTO DE FUNDO OBTIDA DURANTE O PERÍODO DE ESTUDO.....	94
FIGURA 19 - VARIAÇÃO MÉDIA DA CONCENTRAÇÃO DOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NAS AMOSTRAS AM1, AM2 E AM3 DURANTE O ESTUDO.....	96
FIGURA 20 - VARIAÇÃO MÉDIA DA CONCENTRAÇÃO DOS SÓLIDOS SUSPENSOS E DOS METAIS PESADOS PRESENTES NOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NAS AM1, AM2 E AM3 DURANTE O ESTUDO.....	97
FIGURA 21 - CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS, MÍNIMAS, MEDIANAS E ANÔMALAS OBTIDAS PARA CU, NI, PB E ZN OBTIDAS NOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO.....	99
FIGURA 22 - CARGA DIFUSA, EM KG/HA/ANO, DE ST, SS, SD, DBO, DQO, CT E <i>E. COLI</i> NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ	111
FIGURA 23 - CARGA DIFUSA, EM KG/HA/ANO, DE COBRE, NÍQUEL, CHUMBO, ZINCO, NITRITO, NITRATO E FOSFATO NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ.....	111
FIGURA 24 - CARGA DIFUSA, EM KG/HAB/ANO, DE ST, SS, SD, DBO, DQO, CT E <i>E. COLI</i> NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ	112
FIGURA 25 - CARGA DIFUSA, EM KG/HAB/ANO, DE COBRE, NÍQUEL, CHUMBO, ZINCO, NITRITO, NITRATO E FOSFATO NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ.....	113
FIGURA 26 - HIDROGRAMA DO EVENTO, REGISTRADO EM 19/11/2013, COM PONTOS ADOTADOS E COLETADOS.....	114
FIGURA 27 - POLUTOGRAMA DO EVENTO – DIA 11/11/2013	115
FIGURA 28 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO ST DOS EVENTOS ANALISADOS	116
FIGURA 29 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO SÓLIDOS SUSPENSOS DOS EVENTOS ANALISADOS.....	117
FIGURA 30 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO SÓLIDOS DISSOLVIDOS DOS EVENTOS ANALISADOS.....	118

FIGURA 31 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO DBO DOS EVENTOS ANALISADOS	118
FIGURA 32 - CURVAS M(V) PARÂMETRO DQO DOS EVENTOS ANALISADOS	120
FIGURA 33 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO COLIFORMES TOTAIS DOS EVENTOS ANALISADOS.....	120
FIGURA 34 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO <i>E. COLI</i> DOS EVENTOS ANALISADOS	121
FIGURA 35 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO COBRE DOS EVENTOS ANALISADOS	122
FIGURA 36 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO NÍQUEL DOS EVENTOS ANALISADOS.....	123
FIGURA 37 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO CHUMBO DOS EVENTOS ANALISADOS	123
FIGURA 38 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO ZINCO DOS EVENTOS ANALISADOS	124
FIGURA 39 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO NITRITO DOS EVENTOS ANALISADOS.....	125
FIGURA 40 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO NITRATO DOS EVENTOS ANALISADOS.....	126
FIGURA 41 - CURVAS M(V) DO PARÂMETRO FOSFATO DOS EVENTOS ANALISADOS	127
FIGURA 42 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	129
FIGURA 43 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	129
FIGURA 44 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	130
FIGURA 45 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	130
FIGURA 46 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	131
FIGURA 47 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	132
FIGURA 48 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	132
FIGURA 49 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	133
FIGURA 50 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	134
FIGURA 51 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	134
FIGURA 52 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	135
FIGURA 53 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS.....	136

FIGURA 54 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS..... 136

FIGURA 55 - CURVAS MÁXIMA DIVERGÊNCIA PARA OS EVENTOS MONITORADOS..... 137

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA ÁGUAS DOCES, CONFORME RESOLUÇÃO CONAMA 357/05.	37
TABELA 2 - FONTE DE METAIS PESADOS EM ÁREAS URBANAS (CONTINUA)	42
TABELA 3 - VALORES DE REFERÊNCIA PARA SEDIMENTOS ESTABELECIDOS PELO ONTARIO MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND ENERGY PARA METAIS. FONTE: ADAPTADO DE OMEE (2008)	45
TABELA 4 - VALORES DE REFERÊNCIA PARA SEDIMENTOS ESTABELECIDOS PELA RESOLUÇÃO Nº 454/2012. FONTE: ADAPTADO DE CONAMA (2012)	46
TABELA 5 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ.....	60
TABELA 6 - USO DO SOLO NA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ EM 2014.....	62
TABELA 7 - DESCRIÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICA E FLUVIOMÉTRICA UTILIZADAS. .	64
TABELA 8 - RELAÇÃO NÍVEL-GARRAFA DOS AMOSTRADORES DE NÍVEL ASCENDENTE - ANA, INSTALADO NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ	69
TABELA 9 - PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA, METODOLOGIA ANALÍTICA, LIMITE DE DETECÇÃO E LOCAL DAS ANÁLISES (CONTINUA).....	69
TABELA 10 - DESVIO PADRÃO (Σ), COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (--%--), MÉDIA (μ), MÁXIMO E MÍNIMO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA ANALISADOS EM TEMPO SECO NA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ (CONTINUA).....	83
TABELA 11 - CORRELAÇÃO DE PEARSON (R) DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM TEMPO SECO NA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ	87
TABELA 12 - DESVIO PADRÃO (Σ), COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (--%--), MÉDIA (μ), MÁXIMO E MÍNIMO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE SEDIMENTOS ANALISADOS EM TEMPO SECO NA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ.	88
TABELA 13 - DESVIO PADRÃO (Σ), COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (--%--), MÁXIMO E MÍNIMO REFERENTE A GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO ARROIO CANCELA-TAMANDAÍ (CONTINUA).....	93
TABELA 14 - CLASSIFICAÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS POR MEIO DA ESCALA DE WENTWORTH. FONTE: ADAPTADO DE BARTRAM E BALLANCE (1996).....	95

TABELA 15 - VAZÕES MÁXIMAS, MÍNIMAS E MÉDIAS (M ³ /S), INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO (MM/MIN), PRECIPITAÇÃO, PRECIPITAÇÃO EFETIVA(M), VOLUME ESCOADO (M ³) E PERÍODO TEMPO SECO ANTECEDENTE (DIA) DOS EVENTOS NA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ	100
TABELA 16 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DOS EVENTOS, CME, PARA OS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA, NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ	102
TABELA 17 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DOS EVENTOS, CME, PARA NUTRIENTES E METAIS, NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ.	104
TABELA 18 - CORRELAÇÃO DE PEARSON (R) PARA OS PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E CONCENTRAÇÃO MÉDIA DOS EVENTOS, CME, NA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ	107
TABELA 19 - MASSA POLUENTE ACUMULADA, TRANSPORTADA DURANTE OS EVENTOS ANALISADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ	108
TABELA 20 - MASSA POLUENTE ACUMULADA PARA METAIS E NUTRIENTES, TRANSPORTADA DURANTE OS EVENTOS ANALISADOS NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ	109
TABELA 21 - CARGA DIFUSA TOTAL TRANSPORTADA PELO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ.	110

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1- RELAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS POR ALGUNS AUTORES EM ESTUDOS DE QUALIDADE DA ÁGUA E CONCENTRAÇÃO MÉDIA DOS EVENTOS, REALIZADOS NOS CONTINENTES ASIÁTICO E EUROPEU (CONTINUAÇÃO).....	50
QUADRO 2 - RELAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS POR ALGUNS AUTORES EM ESTUDOS QUALIDADE DA ÁGUA, REALIZADOS NA AMÉRICA DO NORTE.....	53
QUADRO 3 - RELAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS POR ALGUNS AUTORES EM ESTUDOS DE QUALIDADE DA ÁGUA E QUALIDADE DE SEDIMENTOS REALIZADOS NA AMÉRICA DO SUL (CONTINUA).....	54

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DO EVENTO (CME).....	72
EQUAÇÃO 2 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA PARCIAL DO EVENTO	73
EQUAÇÃO 3 - ADIMENSIONAL DE MASSA POLUENTE ACUMULADA	74
EQUAÇÃO 4 - ADIMENSIONAL DE VOLUME ESCOADO ACUMULADO.....	74
EQUAÇÃO 5 - DIFERENÇA ENTRE L E F (Δ).....	74
EQUAÇÃO 6 - MASSA TOTAL DE POLUENTE DURANTE O EVENTO DEVIDO À CARGA DE BASE	76
EQUAÇÃO 7 - CARGA DE POLUIÇÃO DIFUSA EM FUNÇÃO DA ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA	77
EQUAÇÃO 8 - CARGA DE POLUIÇÃO DIFUSA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE HABITANTES	77
EQUAÇÃO 9 - CURVA-CHAVE DA SEÇÃO CANCELA-TAMANDAÍ	83

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANA	Amostrador de Nível Ascendente
As	Arsênio
Cd	Cádmio
C(t)	Concentração no tempo t
Cm	Centímetro
CME	Concentração Média do Evento
CPME	Concentração Média Parcial do Evento
Co	Cobalto
Colif.	Coliformes
Cond.	Condutividade
CE	Condutividade
CP	Coleta pontual
Cr	Cromo
CT	Coliformes totais
Cu	Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio em cinco dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Δt	Intervalo de tempo
EPA	Environmental Protection Agency
Esc.	Escoamento
<i>E.coli.</i>	<i>Escherichia coli</i>
g	Gramma
H	Cota
h	Hora
ha	Hectare
hab	Habitante
I _{máxima}	Intensidade máxima
IMAC	Instituto do Meio Ambiente do Canadá
Kg	Kilograma

L	Litros
L	Adimensional de massa poluente acumulada
M	Massa total de poluente acumulada
m(t)	Massa poluente no tempo t
m ³	Metro cúbico
mg	Miligrama
mín	Mínimo
mL	Mililitro
mm	Milímetro
Ni	Níquel
NMP	Número mais provável
°C	Grau centígrado
OD	Oxigênio Dissolvido
Pb	Chumbo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PTSA	Período de tempo seco antecedente
P _{ef.}	Precipitação efetiva
Q	Vazão
Q _{máx}	Vazão máxima
Q _{méd}	Vazão média
Q _{mín}	Vazão mínima
Q(t)	Vazão no tempo t
RS	Rio Grande do Sul
SD	Sólidos Dissolvidos
SS	Sólidos suspensos
ST	Sólidos Totais
t	Tempo
Temp.	Temperatura
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
V	Volume total escoado durante o evento
v(t)	Volume escoado no tempo t
Vol.	Volume

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	31
2 OBJETIVO GERAL	33
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	35
3.1 QUALIDADE DA ÁGUA	35
3.1.1 QUALIDADE DA ÁGUA NO BRASIL	36
3.1.2 PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA E LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	36
3.2 TIPOS DE POLUIÇÃO	38
3.2.1 <i>Poluição difusa em áreas urbanas</i>	39
3.3 FONTES DE POLUIÇÃO URBANA	39
3.3.1 <i>Sedimentos como fonte de contaminação</i>	41
3.3.2 <i>Qualidade dos sedimentos em meio urbano</i>	41
3.3.2.1 <i>Metais pesados</i>	43
3.3.2.2 <i>Nutrientes</i>	44
3.4 DIRETRIZES PARA QUALIDADE DE SEDIMENTOS	44
3.4.1 <i>A biodisponibilidade de metais nos sedimentos</i>	46
3.5 POLUTOGRAMA	47
3.5.1 CARGA DE LAVAGEM – <i>FIRST FLUSH</i>	48
3.6 ESTUDOS DE MONITORAMENTO JÁ REALIZADOS.....	49
2.7 ESTUDOS DE MONITORAMENTO DOS POLUENTES NO ARROIO CANCELA-TAMANDAÍ.....	56
.....	58
4 MATERIAL E MÉTODOS	59
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	59
4.2 ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO.....	64
4.3 MONITORAMENTO QUALITATIVO E QUANTITATIVO.....	66
4.4 AMOSTRADOR DE NÍVEL ASCENDENTE – ANA	67
4.5 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA ANALISADOS	69
4.6 PARÂMETROS DE QUALIDADE DO MATERIAL DE LEITO.....	70
4.7 CONSTRUÇÃO DOS HIDROGRAMAS	72
4.8 CONCENTRAÇÃO MÉDIA DO EVENTO (CME).....	72
4.8.1 <i>Concentração Média Parcial do Evento (CMPE)</i>	73
3.8.2 <i>Análise da carga de lavagem</i>	75
4.9 ANÁLISE DA CARGA DE POLUIÇÃO DIFUSA	75

5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	79
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
6.1 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS DO PERÍODO AVALIADO.....	81
6.2 CURVA-CHAVE DA SEÇÃO CANCELA-TAMANDAÍ.....	82
6.3 QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ	83
6.3.1 <i>Análise das características de tempo seco</i>	83
6.4 QUALIDADE DO SEDIMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ	88
6.4.1 <i>Análise das características do sedimento de fundo</i>	88
6.4.2 <i>Comparação dos resultados obtidos para metais pesados biodisponíveis com os valores de referência para sedimentos de fundo</i>	90
6.4.3 <i>Granulometria das amostras dos sedimentos de fundo</i>	93
6.4.4 <i>Avaliação dos sedimentos em suspensão</i>	95
6.4.4.1 <i>Comparação dos resultados obtidos com a diretriz brasileira e internacional (IMAC) vigente</i>	98
6.5 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO	99
6.5.1 <i>Análise do escoamento superficial</i>	105
6.5.2 <i>Carga difusa do escoamento superficial</i>	108
6.5.3 <i>Estimativa da carga de lavagem</i>	113
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	139
REFERÊNCIAS	141
APÊNDICE A – DIVISÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA-TAMANDAÍ EM SETORES CENSITÁRIOS	153
APÊNDICE B – HIDROGRAMAS, PONTOS ADOTADOS E COLETADOS NOS EVENTOS DA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ	157
APÊNDICE C – POLUTOGRAMAS DOS EVENTOS MONITORADOS NA BACIA CANCELA-TAMANDAÍ	167

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e o crescimento das atividades produtivas vêm acelerando o processo de degradação dos recursos naturais. Deste modo, é vital que estes recursos sejam avaliados e protegidos conciliando-os com as demandas de água para as atividades humanas. A degradação qualitativa dos corpos hídricos está diretamente vinculada à poluição orgânica. Os lançamentos inadequados de esgotos sanitários e resíduos sólidos nos recursos hídricos promovem a contaminação gradativa das águas, transformando em um grave problema de saúde pública.

As redes de drenagem urbana transportam elevadas cargas de poluentes como matéria orgânica, compostos tóxicos, bactérias. Estas produzem impactos negativos diversos a curto e longo prazo, tais como, o aumento de despejos, deterioração das águas pluviais e deterioração dos corpos receptores.

Um dos grandes problemas verificados nas bacias hidrográficas urbanas brasileiras se refere à quantidade de resíduos sólidos, esgoto doméstico e sedimentos que são lançados nos rios e corpos d'água que drenam essas bacias. Segundo Nascimento e Heller (2005) a urbanização produz impactos distintos de natureza física, química e biológica sobre os meios receptores, na própria área urbana e a jusante dela. Ou seja, os rios ao passarem por áreas urbanas recebem uma carga poluente de grandes proporções que causam alterações na qualidade da água, na biota aquática, na morfologia fluvial e no regime hidrológico (POLETO et al. 2010; MARTÍNEZ e POLETO, 2010).

De acordo com Lerner et al. (2011) é importante quantificar as cargas de poluição difusa para que haja uma avaliação correta do potencial poluidor, dos impactos gerados e para definir uma proposta de medidas de controle, que auxiliem na deficiência das leis brasileiras de saneamento, que pouco contemplam a problemática da poluição difusa. Há uma falta de compreensão dos riscos da poluição por fontes difusas, devido aos problemas técnicos de medições e ausência de preocupação entre as partes interessadas e reguladores.

Este estudo torna-se importante para embasar decisões regulatórias e conduzir a avaliações sobre o risco de contaminação da área, como também

desenvolver programas de monitoramento e contribuir no conhecimento da qualidade da água e dos sedimentos de sistemas de drenagem em regiões urbanas.

2 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa visou quantificar as cargas de poluentes nas águas superficiais e nos sedimentos veiculados pela rede de drenagem urbana, no Arroio Cancela-Tamandaí localizado no município de Santa Maria-RS.

2.1 Objetivos Específicos

Avaliar a presença de poluentes orgânicos, nutrientes (nitrito, nitrato e fosfato) e metais pesados (cobre, níquel, chumbo e zinco) na água e nos sedimentos;

Determinar as concentrações médias dos poluentes para os eventos considerados;

Determinar as concentrações de íons metálicos nos sedimentos fluviais em suspensão e nos sedimentos de fundo;

Relacionar as concentrações biodisponíveis de íons metálicos nos sedimentos de fundo com os critérios de qualidade, a partir de dois níveis estabelecidos nas legislações brasileira e internacional;

Traçar as curvas M(V) dos poluentes transportados na água.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Qualidade da água

A água é de vital importância para a sobrevivência dos seres vivos, pois está presente na maioria dos processos metabólicos. E ainda, no ciclo hidrológico ela interage com todo o ambiente, acumulando as informações dessas interações, sendo assim um indicador ambiental de grande eficiência (OKI, 2002).

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para os diversos usos é um fator determinante no processo de desenvolvimento econômico e social de uma comunidade. Atender a essa demanda constitui-se, assim, em um dos maiores desafios do homem na atualidade, devido à escassez crescente e ao comprometimento da qualidade das águas.

Para alguns autores como UNESCO/WHO (1998) e Von Sperling (2005) o conceito de qualidade da água é mais amplo do que a simples caracterização da água pela fórmula molecular H_2O . A água por possuir propriedades solventes e a capacidade de transportar partículas, agrega a si muitos componentes os quais definem a sua qualidade.

A qualidade da água não se refere, necessariamente, a um estado de pureza, e sim às características químicas, físicas e biológicas, a partir destas características são estipuladas diferentes finalidades para a utilização deste recurso. Diante disto, a política normativa nacional de uso da água, como consta na resolução nº 357/2005 do CONAMA, procurou estabelecer parâmetros que definem limites aceitáveis de elementos naturalmente presentes, considerando os diferentes usos.

Atualmente, os esgotos domésticos representam o principal problema sobre os recursos hídricos no Brasil, em função da falta de rede coletora, de tratamento ou do tratamento ineficiente dos efluentes coletados. Resultando no lançamento de cargas orgânicas domésticas remanescentes nos corpos hídricos, principalmente nas proximidades dos aglomerados urbanos, incorrendo na deterioração da qualidade da água com consequências econômicas e sociais (ANA, 2012).

A poluição das águas por cargas difusas é um fenômeno aleatório como o evento de precipitação e possui origem no ciclo hidrológico. Inicia-se com o arraste dos poluentes atmosféricos pela chuva e o escoamento superficial direto será responsável pelo transporte dos poluentes dispostos sobre a superfície da área urbana até o lançamento final no corpo receptor.

Para Martins (2005) o município de Santa Maria-RS apresenta uma ocupação urbana acelerada e desordenada, cuja expansão, em alguns aspectos, desconsidera o meio físico e na maioria dos casos, há o uso indiscriminado de espaços como: encostas íngremes, topos de morros, faixas marginais de cursos fluviais, áreas alagáveis e inundáveis, gerando deterioração ambiental.

3.1.1 Qualidade da água no Brasil

No país a qualidade das águas é classificada por meio do índice de qualidade das águas (IQA). O IQA foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation, dos Estados Unidos, em 1970. Em 1975, este índice foi adaptado pela Companhia Ambiental do estado de São Paulo, sendo atualmente o índice mais utilizado no Brasil.

O IQA avalia a qualidade da água para o abastecimento público após o tratamento convencional. Portanto, seus resultados devem ser interpretados levando em consideração este uso da água. Este índice é particularmente sensível à contaminação por esgotos domésticos, o que justifica sua utilização visto que esta ainda é a principal pressão sobre a qualidade das águas brasileiras.

3.1.2 Parâmetros da qualidade da água e legislação brasileira

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº357 de 2005, indica os limites de vários parâmetros para o enquadramento de corpos hídricos, conforme descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Padrões de qualidade da água para águas doces, conforme Resolução CONAMA 357/05.

Parâmetros de Qualidade da água	Unidade	Padrões de Qualidade das águas			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Turbidez	UNT	≤ 40	≤ 100	≤ 100	-
pH	-	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Oxigênio dissolvido	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 2
Sólidos totais	mg/L	≤ 500	≤ 500	≤ 500	-
DBO ₅	mg/L	≤ 3	≤ 5	≤ 10	-
Coliformes Totais	NMP/100	-	-	-	-
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100	≤ 200 ^a	≤ 1000 ^b	≤ 4000 ^b	-
Cobre	mg/L	0,009	0,009	0,013	0,013
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,025
Zinco	mg/L	0,18	0,18	0,5	0,5
Chumbo	mg/L	0,01	0,01	0,033	0,033
Nitrato	mg/L - N	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-
Nitrito	mg/L - N	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Fósforo Total (Ambiente lêntico1)	mg/L - P	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,05	-
Fósforo Total (Ambiente lótico2)	mg/L - P	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,15	-

Fonte: Brasil (2005)

a recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA nº274/00.

b recreação de contato secundário (≤2500 NMP/100mL), dessedentação de animais criados confinados (≤1000 NMP/100ML).

Os parâmetros mais utilizados para avaliar a qualidade da água são o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio (indicadores de proteção da vida aquática e da contaminação por matéria orgânica biodegradável); o nitrogênio, o fósforo e a clorofila (indicadores de eutrofização), os coliformes totais e os coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (indicadores biológicos). Cada parâmetro influencia de forma diferenciada na qualidade da água, podendo ter relações entre si.

Alguns metais, quando em baixas concentrações, são micronutrientes essenciais ao desenvolvimento dos seres vivos. Porém pode-se encontrar alguns que são tóxicos ao homem, animais e vegetais e são introduzidos nos recursos hídricos, principalmente por atividades antropogênicas. Os principais são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Zn. Para Gromaire et al. (2001), Madrid et al. (2002) e Ge et al. (2000) os metais mais impactantes e comuns em áreas urbanas são Cd, Cu, Pb e Zn. Estes elementos podem entrar na cadeia trófica, afetando plantas, animais, homens e poluindo os mananciais hídricos (ACCIOLY e SIQUEIRA, 2000).

O Cd em condições naturais é encontrado na água, em concentrações traços ou abaixo dos limites de detecção, mas pode ser nela introduzido por alguns despejos industriais. É considerado um elemento de elevado potencial tóxico, podendo causar intoxicação aguda e crônica. Em geral a origem do Pb é a poluição por efluentes de indústrias ou minas, ou como resultado da ação corrosiva sobre as canalizações desse metal. É um metal cumulativo, podendo causar saturnismo, moléstia que pode levar à morte.

Além dos metais, os nutrientes também provocam alterações nos corpos hídricos, influenciando a eutrofização dos ambientes aquáticos. O nitrogênio é um importante nutriente para o crescimento de algas e plantas aquáticas superiores, podendo também contribuir para o fenômeno de eutrofização. Dentro do ciclo do nitrogênio, este elemento encontra-se de várias formas e estados de oxidação. No meio aquático, as formas mais comuns deste elemento são nitrato, nitrito e amônia. Pode ter origem antropogênica através do lançamento de despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes.

O fósforo ocorre em águas naturais e em efluentes geralmente em forma de fosfatos de vários tipos, entre eles: ortofosfatos, metafosfatos, polifosfatos, fosfatos ácidos, orgânicos entre outros. É um dos mais importantes nutrientes para o crescimento de plantas aquáticas. Quando esse crescimento ocorre em excesso pode haver o fenômeno da eutrofização. A presença de fosfato na água pode ser originária de processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica e chuva) ou de processos antropogênicos (despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais, fertilizantes e pesticidas, drenagem pluvial).

3.2 Tipos de poluição

De acordo com a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, em seu Artigo 3º, define-se poluição como sendo:

“[...] qualquer alteração adversa das características do meio ambiente, resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, criem condições adversas às atividades sociais e econômicas, afetem desfavoravelmente a biota, afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos [...]”, (BRASIL, 1981).

Estas atividades geram diferentes tipos de poluição, sendo a poluição difusa de origem pluvial destaque de muitos estudos.

3.2.1 Poluição difusa em áreas urbanas

Os sedimentos vêm sendo considerados como um poluente importante para os ecossistemas fluviais devido ao impacto negativo que podem causar não só à qualidade da água, mas também à biota aquática (RUSSELL et al. 2001). As fontes não pontuais de poluentes são consideradas como as principais causas de alteração da qualidade de água em cursos d'água em áreas urbanas (DELETIC, 2001).

A poluição gerada em áreas urbanas tem origem no escoamento superficial sobre as áreas impermeáveis. Este processo carrega o material, solto ou solúvel que se transforma em cargas poluidoras significativas. As redes de drenagem urbanas são responsáveis pela veiculação dessas cargas, sendo importantes fontes de degradação dos corpos hídricos. Essa poluição apresenta-se de forma bastante diversificada e depende de fatores como uso e ocupação do solo, densidade populacional, estações do ano, topografia, geologia e das características e frequência das precipitações.

3.3 Fontes de poluição urbana

A falta de planejamento urbano e cumprimento da legislação vigente favorecem a excessiva impermeabilização da superfície urbana pelo revestimento de terrenos e/ou pela compactação dos solos. Um sistema hídrico de captação pluvial eficiente deve considerar informações sobre os diferentes tipos de solos que

ocorrem numa microbacia urbana, para que a drenagem adequada seja efetuada sem danos ambientais.

O crescimento urbano acelerado tem provocado um excesso de superfícies impermeabilizadas, que reduzem a infiltração de águas das chuvas, aumentando os riscos de erosão, compactação e deslizamentos de solos, bem como alagamentos de córregos e ruas (ROBAINA et al., 2001). Durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas (TUCCI, 2003).

De acordo com Jaffé et al. (2003) contribuições antropogênicas elevando as concentrações de Pb em áreas urbanas foram encontradas principalmente nos escoamentos superficiais de ruas. Contudo, metais como Zn e Cu são encontrados com frequência em esgotos domésticos, o que indica a contribuição antropogênica de metais pesados para o aumento das concentrações adsorvidas nos sedimentos (MIYAZAWA, 1996).

O ambiente urbano origina uma vasta e complexa mistura de poluentes que podem ser oriundos de fontes frequentemente encontradas nesses locais e até mesmo carregadas de áreas próximas ou muito afastadas, como ilustra a figura 1 (POLETO e CASTILHO, 2008).

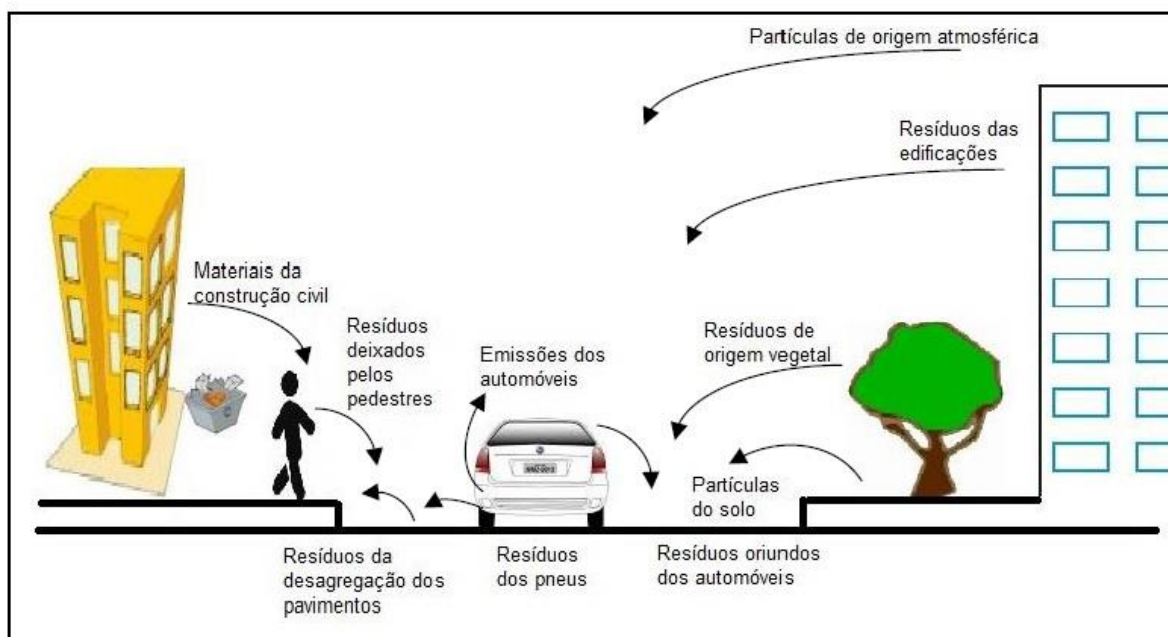


Figura 1 - Fontes de sedimentos e/ou poluentes em áreas urbanas. Adaptado de Taylor (2007)

Em trechos de rios urbanos, o potencial poluidor dos sedimentos pode ser elevado devido à presença adicional de poluentes orgânicos e biológicos oriundos do lançamento de efluentes domésticos sem tratamento e do efeito de “lavagem” (first flush) das ruas e calçadas pelo escoamento superficial.

3.3.1 Sedimentos como fonte de contaminação

Segundo Charlesworth et al. (2000) as áreas impermeáveis e os sistemas de drenagem são os principais locais para o acúmulo de sedimentos. Sabe-se que os sedimentos de ruas e estradas são fontes de metais e outros contaminantes no meio ambiente urbano. Além disso, em áreas urbanas, o fluxo de veículos por áreas impermeáveis tende a concentrar os metais que deverão ser transportados para a rede de drenagem durante os eventos de chuva (ADACHI e TAINOSHO, 2005).

Os sedimentos e poluentes podem ser derivados de diversas fontes sejam elas naturais ou antrópicas. Estudos realizados por Poletto et al. (2009b) em 20 cidades da região metropolitana de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul indicaram que, em média, 46% dos sedimentos fluviais em suspensão são originários das áreas pavimentadas, 23% provêm de ruas não pavimentadas (ruas de terra ou apenas cascalhadas) e 31% são do próprio canal fluvial, devido a ação de processos erosivos em função das alterações hidrológicas causadas pelas intervenções antrópicas urbanas.

3.3.2 Qualidade dos sedimentos em meio urbano

O conhecimento da quantidade de sedimentos transportada pelos rios é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região. Isto se deve ao fato dos danos causados pela deposição destes sedimentos dependem da quantidade e da natureza deles, os quais, por sua vez, dependerem dos processos de desagregação, transporte e deposição (CARVALHO, 2008).

A quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é superior à encontrada no esgoto *in natura*. Em uma bacia hidrográfica urbana a concentração de sedimentos em suspensão é mais significativa no início das enchentes. Geralmente 95% da carga concentra-se nos primeiros 25 mm de chuva. O polutograma gerado por uma área urbana após um período seco mostra um pico de concentração antes do pico do hidrograma, indicando que a concentração no início é alta, mesmo que haja uma pequena vazão (TUCCI, 2007).

Os sedimentos transportados pelo escoamento superficial causam problemas de sedimentação como também contaminam as águas com os poluentes associados a eles (POLETO e MERTEN, 2008b).

Segundo Carvalho (2000) os sedimentos podem agir como catalisadores, carreadores e fixadores de agentes poluidores. Produtos químicos são assimilados sobre e dentro das partículas de sedimento, trocas iônicas podem ocorrer entre o soluto e o sedimento. As partículas de sedimento agem como potencializadores dos produtos gerados por agentes químicos decorrentes de resíduos, resíduos tóxicos, nutrientes, bactérias patogênicas e vírus.

Para Licht (1998), o sedimento de fundo é um material não consolidado, distribuído ao longo dos vales do sistema de drenagem e orientado a partir da interação constante e contínua dos processos de intemperismo e erosão.

Em relação aos elementos carreados para o corpo hídrico, menos de 1% das substâncias que atingem o sistema aquático são dissolvidas em água, conseqüentemente, mais de 99% são estocadas no compartimento sedimentar (FÖRSTNER et al., 1995). Dentre os poluentes frequentemente encontrados nos sedimentos urbanos têm-se os metais pesados, que podem ter origem em diversas fontes. Na tabela 2 são mostradas as fontes de metais pesados em áreas urbanas.

Tabela 2 - Fonte de metais pesados em áreas urbanas (Continua)

Metais pesados	Fonte de poluentes
Cu	Tintas especiais, fertilizantes líquidos e sólidos, algicidas, na fabricação e nas fiações elétricas, equipamentos eletrônicos, indústrias cerâmicas.

Tabela 2 - Fonte de metais pesados em áreas urbanas (Conclusão)

Metais pesados	Fonte de poluentes
Ni	Queima de combustíveis fósseis, asfaltenos, fundição de metais e utilização em mineração.
Pb	Combustíveis fósseis, baterias, tintas, soldas e vidros, queima de combustíveis fósseis.
Zn	Indústrias metalúrgicas, indústrias galvânicas, queima de combustíveis, pneus, baterias, equipamentos eletrônicos.

Adaptado de: Lincoln et al. (2007), Wong et al. (2007), Terazono et al. (2006), Dagan et al. (2007), Darrie (2001); CDC (2003); Charlesworth et al. (2003); Golding (2006); Santos et al. (2006); Taylor (2007).

3.3.2.1 Metais pesados

Taylor e Owens (2009) afirmam que a maior parte dos sedimentos transportados para dentro das bacias urbanizadas são contaminados. Os sedimentos finos tem grande capacidade de adsorver poluentes, principalmente os metais tornando um bom indicador de transporte na bacia hidrográfica (POLETO; MERTEN, 2008a).

Deletic e Orr (2005) amostraram sedimentos em rodovia urbana em Aberdeen (Escócia) por meio do “método úmido”, aspirando amostras após a lavagem de superfícies da rodovia. Analisaram concentrações de metais pesados e nutrientes. As concentrações de metais pesados foram maiores na fração de tamanho de partículas menores do que 63µm.

Poleto (2009a) fez um estudo da concentração de cinco metais (Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) associados aos sedimentos urbanos recolhidos em ruas pavimentadas e barrancos em 20 cidades no Sul do Brasil, encontrou valores acima dos legais. Avaliou que os metais vindos de fontes difusas de poluentes são transportados mais rapidamente ao curso d’água por estarem associados às partículas finas de sedimentos, pois o material grosseiro fica retido nas encostas do escoamento urbano. Martinez e Poleto (2010) avaliaram a distribuição de Pb nos sedimentos urbanos de regiões impermeabilizadas da cidade de Porto Alegre-RS, encontrando

concentrações máximas nas partículas mais finas dos sedimentos coletados, independentemente do ponto de origem da amostra.

3.3.2.2 Nutrientes

São considerados como contaminantes os resíduos orgânicos que contêm nutrientes (N e P) e que favorecem o desenvolvimento de várias espécies de que podem ser patogênicos. Os principais micro-organismos encontrados nos resíduos orgânicos são bactérias, fungos, protozoários, actinomicetes, algas e vírus.

O aumento da disponibilidade de nutrientes (especialmente do fósforo) causa uma maior produção de algas e macrófitas. Quando esta condição se encontra associada ao fluxo de efluentes domésticos tem-se como principal consequência a redução do oxigênio dissolvido na água, e ocasionando a redução de espécies que compõem a biota aquática.

O estudo realizado por Vaze e Chiew (2004) determinou a carga de nutrientes associados a diferentes faixas granulométricas, sendo esses poluentes determinados para as amostras já secas. Deste modo, tem-se uma indicação de nutrientes disponíveis na superfície das partículas dos sedimentos. A partir da dissolução destes sedimentos secos em água, obtém-se um indicativo do potencial que pode ser lixiviado.

3.4 Diretrizes para qualidade de sedimentos

Para Van Metre e Mahler (2003) três grupos de contaminantes são frequentemente identificados em sedimentos aquáticos urbanos e tem diretrizes de qualidade de sedimentos ou também chamados *sediment quality guidelines* - (SQG), com base em seus efeitos tóxicos sobre a biota aquática: elementos traço (especialmente os metais pesados), hidrocarbonetos e compostos organoclorados. São definidos critérios de qualidade, a partir de dois níveis:

Nível I - limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota;

Nível II - limiar acima do qual prevê maior probabilidade de efeitos severos adversos à biota.

A tabela 3 expressa os valores de referência para qualidade de sedimentos, em relação aos metais pesados, estabelecidos pelo Ontario Ministry of the Environment and Energy.

Tabela 3 - Valores de referência para sedimentos estabelecidos pelo Ontario Ministry of the Environment and Energy para metais. Fonte: Adaptado de OMEE (2008)

Metais Pesados e Arsênio	NIVEL I (mg Kg⁻¹)	NIVEL II (mg Kg⁻¹)
Cd	0.6	10
Pb	31	250
Cu	16	110
Cr	26	110
Ni	16	75
Zn	120	820

Para Poletto (2007) em estudos de qualidade ambiental é necessário avaliar as concentrações de metais com respeito aos valores de referência, que possibilita uma avaliação da poluição e seus possíveis impactos ecológicos.

“Historicamente, devido à necessidade de orientar o destino ou gerenciar materiais originados de dragagens, inúmeras agências internacionais desenvolveram ou estão desenvolvendo critérios para a qualidade dos sedimentos” (POLETO, 2007, p.29).

O primeiro guia em sedimentos foi desenvolvido pela Administração Federal da Qualidade da Água e adotado pela Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos em 1973, os critérios incluíam sete parâmetros de avaliação (Ar, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn e Co), se algum valor da concentração dos metais estivesse acima do valor estipulado, o sedimento era classificado como poluído ou deveria passar por tratamento.

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA, nº 454 de 01 de novembro de 2012, que baseada em referências internacionais (Environmental Canada, 2002 e Long et al., 1995) estabeleceu os procedimentos

mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras. Segundo o art.10 da CONAMA nº 454/2012 são definidos critérios de qualidade, a partir de dois níveis:

Nível I - limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota;

Nível II - limiar acima do qual prevê maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

Na tabela 4 são mostrados os valores de referência para os sedimentos contendo metais pesados e arsênio estabelecidos pela resolução nº 454/2012.

Tabela 4 - Valores de referência para sedimentos estabelecidos pela resolução nº 454/2012. Fonte: Adaptado de CONAMA (2012)

Metais Pesados (mg Kg ⁻¹)	Níveis de classificação do material a ser dragado (em unidade do material seco)	
	NIVEL I	NIVEL II
Cd	0,6	3,5
Pb	35	91,3
Cu	35,7	197
Cr	37,3	90
Ni	18	35,9
Zn	123	315

Poleto (2007) afirma que a criação dos valores de referência não permite prever a dinâmica dos poluentes associados aos sedimentos dentro do ecossistema aquático, e tem-se a necessidade de estudos mais aprofundados em especiação das substâncias.

3.4.1 A biodisponibilidade de metais nos sedimentos

A biodisponibilidade pode ser definida como a quantidade máxima do elemento encontrado no sedimento que está potencialmente disponível para a incorporação biológica

De acordo CCME (1999) e Schriks et al. (2010) o sedimento tem grande importância no metabolismo dos corpos hídricos, pois nele se depositam muitos compostos que, incorporados à fase sólida no sedimento, tornam-se menos biodisponíveis, pois na fase aquosa são mais passíveis de serem sequestrados pelos organismos. No entanto, os sedimentos podem acumular material procedente da coluna d'água e processando esse material, podendo torná-lo novamente disponível em solução.

Deste disto, os contaminantes tóxicos presentes no sedimento são potencialmente prejudiciais, relacionando-se à continuidade da degradação ambiental mesmo quando presentes em baixos níveis na coluna d'água e ainda depois de cessada a descarga de poluentes no corpo d'água receptor (U.S.EPA 2005).

3.5 Polutograma

A concentração dos poluentes no escoamento gerado varia ao longo do evento hidrológico tal como variam as vazões. Os valores formam um polutograma, ou seja, uma combinação dos dados de qualidade do escoamento superficial com os dados de vazão (HUANG et al. 2007).

Difícilmente se consegue calcular ou prever a distribuição temporal das concentrações de poluentes, isto é, o polutograma. Na maioria dos estudos de poluição por cargas difusas o objetivo principal é avaliar o impacto do lançamento sobre o corpo receptor, e a resposta do ecossistema aquático ao dano. Sendo que o impacto e a resposta do corpo hídrico, geralmente, se dão de forma razoavelmente lenta dependendo da quantidade de poluentes e da capacidade de assimilação do curso d'água.

A carga de lavagem, muito discutida por diversos autores (Nascimento, 2001; Huang, 2007; Poletto, 2007; Obermann et al., 2009; Huang et al., 2011; Lee et al., 2011), se trata da remoção inicial do material depositado sobre o solo e carreado no período entre chuvas, com pico do polutograma antes do pico das vazões. Devido as perdas iniciais a carga de lavagem pode ou não ocorrer, com grande influência do

tipo de solo, rugosidade, conservação do pavimento, da altura de lâmina formada na superfície tornando pouco ou grande representatividade.

3.5.1 Carga de lavagem – *First flush*

O fenômeno da carga de lavagem tem sido analisado em diversos estudos, (DELETIC, 1998; HUANG et al., 2007; HUANG et al., 2011; HATHAWAY et al., 2012; LI et al., 2012a; JUNG et al., 2013; CHOW e YUSOP, 2014; KIM et al., 2014). Este fenômeno tem sido amplamente definido como sendo a remoção inicial do material acumulado sobre a superfície, no período entre chuvas, pelo escoamento superficial transportando-o para a rede de drenagem. Esta remoção de material produz um pico na concentração dos poluentes no início do escoamento superficial.

O fenômeno de carga de lavagem é comumente obtido através de comparações entre uma fração da carga de poluição total com uma fração da carga de escoamento, ambos calculados no mesmo ponto escolhido na primeira parte da curva cumulativa do escoamento. Deletic (1998) limitou o fenômeno da carga de lavagem quando a carga poluente total do evento é transportada pelos primeiros 20% do volume do escoamento superficial.

Gupta e Saul (1996) caracterizaram a carga de lavagem como sendo a porção do evento até o ponto de máxima divergência entre a percentagem acumulada de poluente e a percentagem acumulada do volume escoado, plotadas em comparação a percentagem acumulada de tempo do evento, ilustrada na figura 2.

As curvas $M(V)$ ilustram a distribuição dos poluentes durante todo o evento. O diferencial nesta representação adimensional do fenômeno com as curvas $M(V)$ é a inclusão do tempo. Esta variável é explícita nesta representação e implícita para as curvas $M(V)$, onde o tempo aumenta juntamente com as mesmas. Estas curvas, chamadas de curvas $M(V)$, possibilitam uma análise adimensional capaz de confrontar eventos de diferentes características e localização. Esta definição apresenta menos restrições, pois não são fixadas percentagens de carga transportada no volume escoado, possibilitando uma melhor avaliação do fenômeno

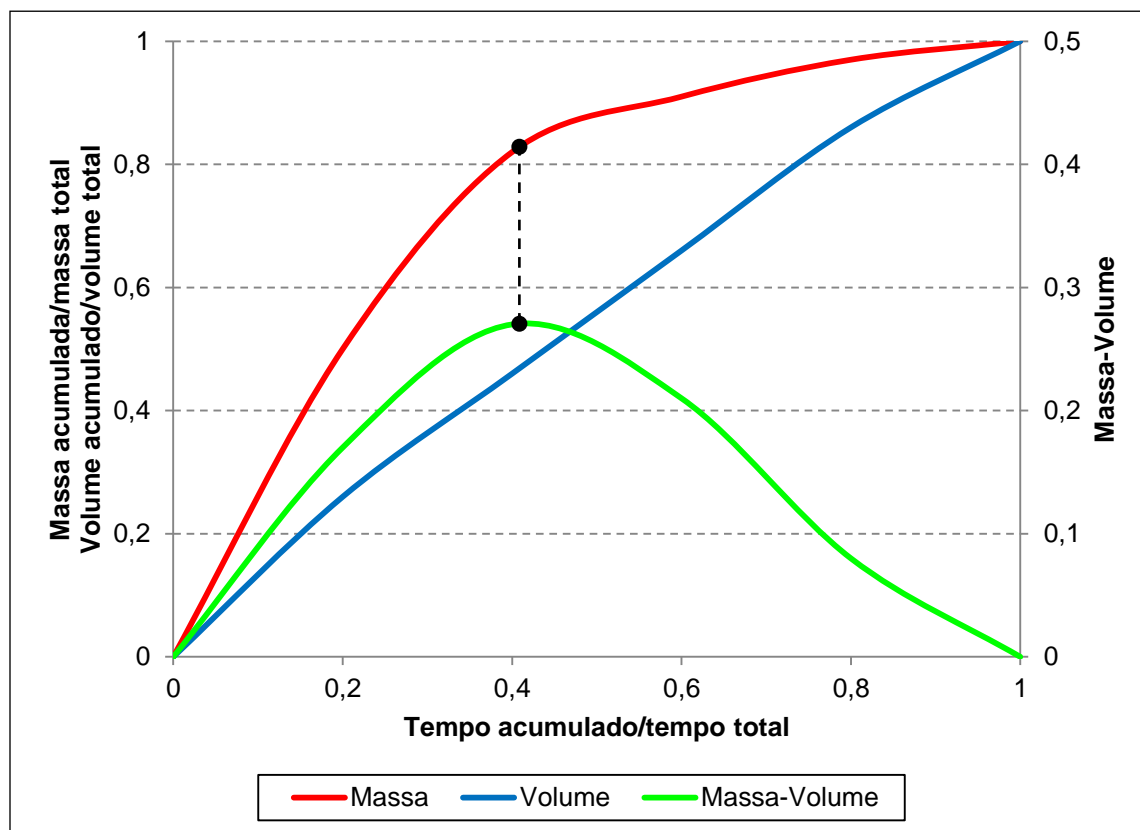


Figura 2 - Definição da carga de lavagem segundo Gupta e Saul (1996). Adaptado de Bertrand et al. (1998)

3.6 Estudos de monitoramento já realizados

No quadro 1 apresenta-se, de forma resumida, uma descrição dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de qualidade da água e CME, realizados na Ásia.

Quadro 1 - Relação dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de qualidade da água e concentração média dos eventos, realizados nos continentes Asiático e Europeu (Continua)

Autor	Resultados obtidos
Drolc et al. (2007)	Local: ao sudeste da Eslovénia, na área inferior do rio Krka. Apresenta características de urbanização, industrial e de agricultura.

Quadro 1- Relação dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de qualidade da água e concentração média dos eventos, realizados nos continentes Asiático e Europeu (Continuação)

Autor	Resultados obtidos
Drolc et al. (2007)	<p>Resultados</p> <p><u>Porção superior do rio</u></p> <p>Q: 78,1 (m³/s); SS: 5,3 mg.L⁻¹; NO₃-N: 1,40 mg.L⁻¹; DQO: 3,6 mg.L⁻¹</p> <p><u>Porção inferior do rio</u></p> <p>Q: 78,1 (m³/s); SS: 6,6 mg.L⁻¹; NO₃-N: 1,54 mg.L⁻¹; DQO: 4,5 mg.L⁻¹</p>
	<p>Local: Arroio Porsuk, ao sul da cidade de Kütahya, no oeste da Turquia. A bacia apresenta características de uso do solo urbanas e industriais, pois o arroio abrange todo município. Tem sido fortemente poluído por atividades domésticas e industriais.</p> <p>Período: de 1995 a 2005</p> <p>Resultados</p> <p><u>Inverno</u></p> <p>Temperatura: 5,34 °C; pH: 8,10 ; CE: 541,10 (µS/cm); SD: 337,75 mg.L⁻¹ ; SS: 34,72 mg.L⁻¹; NO₂-N: 0,02 mg.L⁻¹; NO₃-N: 1,15 mg.L⁻¹; OD: 11,04 mg.L⁻¹; DBO: 3,04 mg.L⁻¹; DQO: 20,46 mg.L⁻¹; CT: 9,99E+02 NMP/100 mL; E. coli: 2,15E+02 NMP/100 mL</p> <p><u>Primavera</u></p> <p>Altin et al. (2009) Temperatura: 8,83°C; pH: 8,08 ; CE: 518,61 (µS/cm); SD: 319,94 mg.L⁻¹ ; SS: 23,42 mg.L⁻¹; NO₂-N: 0,02 mg.L⁻¹; NO₃-N: 0,80 mg.L⁻¹; OD: 10,43 mg.L⁻¹; DBO: 3,01 mg.L⁻¹; DQO: 27,24mg.L⁻¹; CT: 1,18E+03 NMP/100 mL; E. coli: 1,64E+02 NMP/100 mL</p> <p><u>Verão</u></p> <p>Temperatura: 13,48 °C; pH: 7,97 ; CE: 518,15 (µS/cm); SD: 361,39 mg.L⁻¹ ; SS: 17,76 mg.L⁻¹; NO₂-N: 0,06 mg.L⁻¹; NO₃-N: 0,87 mg.L⁻¹; OD: 8,90 mg.L⁻¹; DBO: 3,39 mg.L⁻¹; DQO: 25,74 mg.L⁻¹; Coliformes totais: 1,50E+03 NMP/100 mL; E. coli: 2,93E+02 NMP/100</p> <p><u>Outono</u></p> <p>Temperatura: 11,53 °C; pH: 7,97 ; CE.: 581,33 (µS/cm); SD: 370,38 mg.L⁻¹ ; SS: 20,76 mg.L⁻¹; NO₂-N: 0,06 mg.L⁻¹; NO₃-N: 0,87 mg.L⁻¹; OD: 8,74 mg.L⁻¹; DBO: 3,36 mg.L⁻¹; DQO: 24,92 mg.L⁻¹; CT: 2,25E+03 NMP/100 mL; E. coli: 9,25E+02NMP/100</p>

Quadro 1- Relação dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de qualidade da água e concentração média dos eventos, realizados nos continentes Asiático e Europeu (Continuação)

Autor	Resultados obtidos
Li et al. (2012a)	<p>Local: realizado no parque Taoranting e arredores. Sendo uma área mista, ou seja, comercial e residencial localizada no centro de mista, ou seja, comercial e residencial localizada no centro de Pequim-China.</p> <p>Período: Junho de 2009 a Junho de 2010.</p> <p>Resultados: CME, em mg.L-1</p> <p><u>Escoamento das ruas:</u></p> <p>Cu: 0,011; Pb: 0,034; Zn: 0,315</p> <p><u>Escoamento de estacionamentos:</u></p> <p>Cu: 0,008; Pb: 0,035; Zn: 0,089</p>
Li et al. (2012b)	<p>Local: cidade de Wuhan, na intersecção rio Yangtze, com o seu maior afluente, o rio Han. A área de estudo localiza-se em uma área residencial, com algumas pequenas empresas e poucas indústrias.</p> <p>Período: Junho de 2003 a Agosto de 2005.</p> <p>Resultados: CMEs, em mg.L⁻¹</p> <p>SS: 380; DQO: 275; NT: 17,1; PT: 2,32</p>
Zhang et al. (2013)	<p>Local: área urbana de Chongqing, China.</p> <p>Período: Junho de 2010 a Agosto de 2011.</p> <p>Resultados:</p> <p>pH (médio): 8,22</p> <p><u>CMEs, em mg.L⁻¹</u></p> <p>DQO: 163,17; NO₃⁻: 2,00; SS: 461,11; Pb: 0,0031; Cu: 0,0065; Zn: 0,0058</p> <p><u>Carga anual de poluentes, em g/m².ano</u></p> <p>DQO: 176,22; NO₃⁻: 2,16; SS: 498,00; Pb: 0,0033; Cu: 0,0070; Zn: 0,0063</p>

Quadro 1- Relação dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de qualidade da água e concentração média dos eventos, realizados nos continentes Asiático e Europeu (Conclusão)

Autor	Resultados obtidos
Chow e Yusop (2014)	Local: Johor, Malásia.
	Período: Março de 2008 a Junho de 2009
	Resultados: CME, em mg.L ⁻¹
	<u>Área residencial</u>
	SS: 27; DBO: 8,1; DQO: 45,1; NO₃: 0,990; NO₂: 0,016; Zn: 0,06
	<u>Área comercial</u>
	SS: 250; DBO: 126,3; DQO: 301,7; NO₃: 1,042; NO₂: 0,006; Zn: 0,15
	<u>Área industrial</u>
	SS: 141; DBO: 55,5; DQO: 134,6; NO₃: 1,369; NO₂: 0,019; Zn: 0,29
Kim et al. (2014)	Local: Lago Sihwa, abrangendo as cidades de Ansan, Siheung e Hwaseong na Coréia do Sul.
	Período: de 2008 a 2009
	Resultados: CMEs obtidas, em mg.L ⁻¹
	<u>Área industrial</u>
	SS: 600; DQO: 107,7; NT: 18,8; PT: 5,0
	<u>Área urbana</u>
	SS: 230; DQO: 17; NT: 3,5; PT: 0,75
	<u>Área rural</u>
	Ponto JJB → SS: 800; DQO: 30; NT: 6,0; PT: 1,0
	Ponto MS → SS: 380; DQO: 23; NT: 5,0; PT: 0,7

No quadro 2 apresenta-se, de forma resumida, uma descrição dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de monitoramento da qualidade realizados na América do Norte.

Quadro 2 - Relação dos resultados obtidos por alguns autores em estudos qualidade da água, realizados na América do Norte

Autor	Resultados
Berretta et al. (2011)	<p>Local: pequeno estacionamento na cidade de Gainesville, na Flórida/EUA.</p> <p>Período: Março a outubro de 2008.</p> <p>Resultados: Em mg.L⁻¹- DQO: 92,9;</p> <p>CME, em µg.L⁻¹: PO₃⁻: 0,8; No³⁻: 1,0; Cu²⁺: 26,7; Ni²⁺: 6,1; Pb²⁺: 30,2 Zn²⁺: 61,0</p> <p>pH: 7,41; T (°C): 23,45; CE (µS cm⁻¹): 98,66</p>
Bajjali (2012)	<p>Local: Nos arroios Newton e Faxon na cidade de Superior, WI-EUA. A bacia é composta por áreas de floresta, urbana e agricultura.</p> <p>Período: de 2005 a 2010</p> <p>Resultados: <u>Ao longo do Arroio Newton</u></p> <p>OD: variando de, aproximadamente, 20 a 2 mg.L⁻¹ pH: variando de, aproximadamente, 13 a 4,5 Temperatura: entre, aproximadamente, 30 a -1 °C CE: oscilando entre, aproximadamente, 200 a 3000 µS/cm NO₃-N: entre 20,79 e 24,33 mg.L⁻¹ P: entre 0,29 e 0,46 mg.L⁻¹</p>
Hathaway et al. (2012)	<p>Local: canal localizado no campus da Universidade Estadual da Carolina do Norte.</p> <p>Período: de Outubro de 2005 a Setembro de 2006.</p> <p>Resultados: CMEs, em mg.L⁻¹</p> <p>ST: 140,7; PO₄: 0,09; NO₃⁻/NO₂⁻: 0,46</p>

No quadro 3 apresenta-se, de forma resumida, uma descrição dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de qualidade da água e sedimentos realizados na América do Sul.

Quadro 3 - Relação dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de qualidade da água e qualidade de sedimentos realizados na América do Sul (Continua)

Autor	Resultados
<p>Fostier et al. (2005)</p>	<p>Local: bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, localizado na região sudeste do Brasil, no estado de São Paulo. A bacia apresenta características de uso e ocupação do solo mistas, urbanização, industrial e de agricultura.</p> <p>Área: 11.538 km²</p> <p>Período: Novembro/2005 a Agosto/2007</p> <p>Resultados</p> <p>Sedimentos: concentração de Hg foram inferiores a 100 ng.g⁻¹.</p> <p>Água: concentrações médias de Hg variaram de < 1,1 a 24 ng.g⁻¹.</p>
<p>Bregunçe et al. (2011)</p>	<p>Local: bacia hidrográfica do Ribeirão dos Muller, localizada no Primeiro Planalto Paranaense. A área da bacia apresenta-se com 42,68% urbanizada, 36,76% com solo descoberto, 16,55% com vegetação rasteira, 2,6% com vegetação densa e 1,4% da área coberta por água.</p> <p>Período: fevereiro a agosto de 2007.</p> <p>Resultados:</p> <p>Tubidez (NTU): 46,64; T (°C): 17,20; ST (mg.L⁻¹): 472,20; SS (mg.L⁻¹): 105,00; SD (mg.L⁻¹): 329,36; OD (mg.L⁻¹): 1,14; DQO (mg.L⁻¹): 250,82; pH: 7,30; N (mg.L⁻¹): 15,40; P (mg.L⁻¹): 3,93</p>
<p>Chiba et al. (2011)</p>	<p>Local: sub-bacia do sudeste do Brasil, localizada na região central do estado de São Paulo. Apresenta características de uso e ocupação do solo de áreas urbanas, agrícolas e áreas naturais.</p> <p>Período: As amostras foram coletadas em fevereiro e março de 2008 (período chuvoso) e Setembro de 2008 (período seco).</p> <p>Resultados: resultados médios para:</p> <p><u>Período seco</u></p> <p>pH: 6,89; CE (µS/cm): 120; OD (mg.L⁻¹): 8,27</p> <p>Concentração de metais pesados no sedimento:</p> <p>Cu (mg.Kg⁻¹): 0,15 a 90,90; Ni (mg.Kg⁻¹): >2,35 a 26,49; Pb (mg.Kg⁻¹): >5,34 a 26,58; Zn (mg.Kg⁻¹): >0,30 a 190,65.</p>

Quadro 3 - Relação dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de qualidade da água e qualidade de sedimentos realizados na América do Sul (Continuação)

Autor	Resultados
Chiba et al. (2011)	<p><u>Período chuvoso</u></p> <p>pH: 7,09; CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$): 170; OD (mg.L^{-1}): 5,00</p> <p>Concentração de metais pesados na água:</p> <p>Cu (mg.Kg^{-1}): >0,004 a 0,026; Ni (mg.Kg^{-1}): >0,003 a 0,069; Pb (mg.Kg^{-1}): >0,007 a 0,226; Zn (mg.Kg^{-1}): >0,004 a 0,065.</p> <p>Concentração de metais pesados no sedimento:</p> <p>Cu (mg.Kg^{-1}): 2,34 a 79,61; Ni (mg.Kg^{-1}): >2,35 a 43,04; Pb (mg.Kg^{-1}): >5,34 a 28,29; Zn (mg.Kg^{-1}): >0,30 a 105,71.</p>
Cunha et al. (2011)	<p>Local: localizado na região sudeste do Brasil, no estado de São Paulo.</p> <p>Área: aproximadamente 248.000 km^2</p> <p>Período: 2005 a 2009</p> <p>Resultados</p> <p>Concentrações médias para amostras de água foram de:</p> <p>P: 0,40 mg.L^{-1}; DBO: 5 mg.L^{-1}.</p>
Campanha et al. (2012)	<p>Local: bacia hidrográfica Turvo/Grande localiza-se na região noroeste do estado de São Paulo, onde 91% da população reside na área urbana e apenas 30% do esgoto gerado é tratado.</p> <p>Área: 15.983 km^2</p> <p>Período: Fevereiro e Julho de 2010. Estação chuvosa e estação seca, respectivamente.</p> <p>Resultados: variação das concentrações de metais pesados obtidas nos sedimentos.</p> <p>Cu: 10,3 a 108,8 mg.Kg^{-1} Ni: 8,5 a 69,2 mg.Kg^{-1} Pb: 11,8 a 70,7 mg.Kg^{-1}</p>
Martínez e Poletto (2014)	<p>Local: a área de estudo está localizada entre o centro e a parte norte da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.</p>

Quadro 3 - Relação dos resultados obtidos por alguns autores em estudos de qualidade da água e qualidade de sedimentos realizados na América do Sul (Conclusão)

Autor	Resultados
Martínez e Poletto (2014)	Local: a área de estudo está localizada entre o centro e a parte norte da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
	Período: Junho de 2009.
	Resultados: concentrações médias de metais pesados acumulados nas ruas, em cada região de estudo.
	<u>Área industrial</u>
	Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$): 491,00; Ni ($\mu\text{g g}^{-1}$): 61,50; Pb ($\mu\text{g g}^{-1}$): 139,40
	<u>Área residencial</u>
	Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$): 723,60; Ni ($\mu\text{g g}^{-1}$): 57,00; Pb ($\mu\text{g g}^{-1}$): 145,60
	<u>Área comercial</u>
	Zn ($\mu\text{g g}^{-1}$): 744,20; Ni ($\mu\text{g.g}^{-1}$): 93,00; Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$): 665,00

2.7 Estudos de monitoramento dos poluentes no arroio Cancela-Tamandaí

Brites e Gastaldini (2007) avaliaram a carga de poluentes veiculados pelo escoamento superficial urbano na bacia hidrográfica do arroio Cancela no município. Obtiveram os valores para carga difusa de drenagem urbana: 75,06 kg/ha/ano para DBO, $6,5\text{E}+11$ organismos/ha/ano para coliformes termotolerantes, 1.685,8 kg/ha/ano para sólidos suspensos totais. Observaram, também, elevadas concentrações de DBO e coliformes termotolerantes e baixas concentrações de oxigênio dissolvido, durante amostragens em tempo com ausência de precipitação, indicando elevada poluição oriunda do lançamento de esgotos domésticos na bacia, o que demonstra os efeitos do lançamento de efluente na bacia.

Chamun (2008) avaliou a carga de poluição difusa de esgotos domésticos lançada na bacia hidrográfica do arroio Cancela, na seção Cancela-Tamandaí. Os resultados das análises mostraram uma tendência de degradação da qualidade da água durante o dia devido à variação horária de contribuição de esgoto. A seção de

monitoramento correspondente à bacia Cancela-Tamandaí foi a que apresentou maior contribuição de esgotos domésticos, avaliado pelas cargas de DBO e *Escherichia coli*.

Dotto (2006) caracterizou o processo de acumulação de sedimentos em superfícies impermeáveis e analisaram a carga de sedimentos que chega ao arroio proveniente das águas pluviais. O enfoque foi a quantificação e a comparação de sedimento seco de ruas com intensidade de urbanização semelhante, porém com intensidade de tráfego e declividade diferentes, a avaliação da carga total de sedimento proveniente da microdrenagem e a contribuição à modelagem do processo de acumulação dos sedimentos na superfície.

As análises das amostras líquidas, provenientes da microdrenagem, mostraram que a concentração de sedimentos variou de 8,0 a 6.000 mg/L, confirmando uma grande variabilidade dos valores.

A concentração de sedimentos no início da cheia, mesmo com a vazão reduzida, é mais elevada, apresentando um pico, que nos eventos mais significativos representa a presença do fenômeno da carga de lavagem das ruas. A granulometria do material líquido amostrado indica que o escoamento transporta partículas, que variam de muito finas a mais grosseiras, confirmando o transporte do material presente nas sarjetas e áreas adjacentes pela drenagem.

Gastaldini e Silva (2013) quantificaram poluentes ligados a diversos tamanhos de sedimentos em superfícies impermeáveis, constatando que a granulometria $\leq 63\mu\text{m}$ representa em média 3% da carga total de sedimentos e a granulometria $> 250\mu\text{m}$ representa em média 69% da carga de sedimento nas ruas. As maiores concentrações de metais pesados foram obtidas na granulometria $\leq 63\mu\text{m}$, comprovando estudos realizados por Deletic e Orr (2005) e Egotawatta e Goonetilleke (2006) que constataram que os metais aderem-se as menores partículas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo do presente trabalho foi a bacia hidrográfica do arroio Cancela-Tamandaí, situada na área urbana do município de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul.

A bacia do arroio Cancela-Tamandaí encontra-se entre as coordenadas geográficas $53^{\circ}47'11''$ e $53^{\circ}48'17''$ de longitude oeste e $29^{\circ}41'35''$ e $29^{\circ}42'07''$ de latitude sul, abrangendo uma área total de 2,7 Km². A bacia percorre os bairros Nossa Senhora de Lourdes, Nonoai, Nossa Senhora das Dores, Cerrito e uma pequena área do bairro Centro, conforme ilustrado na figura 3.

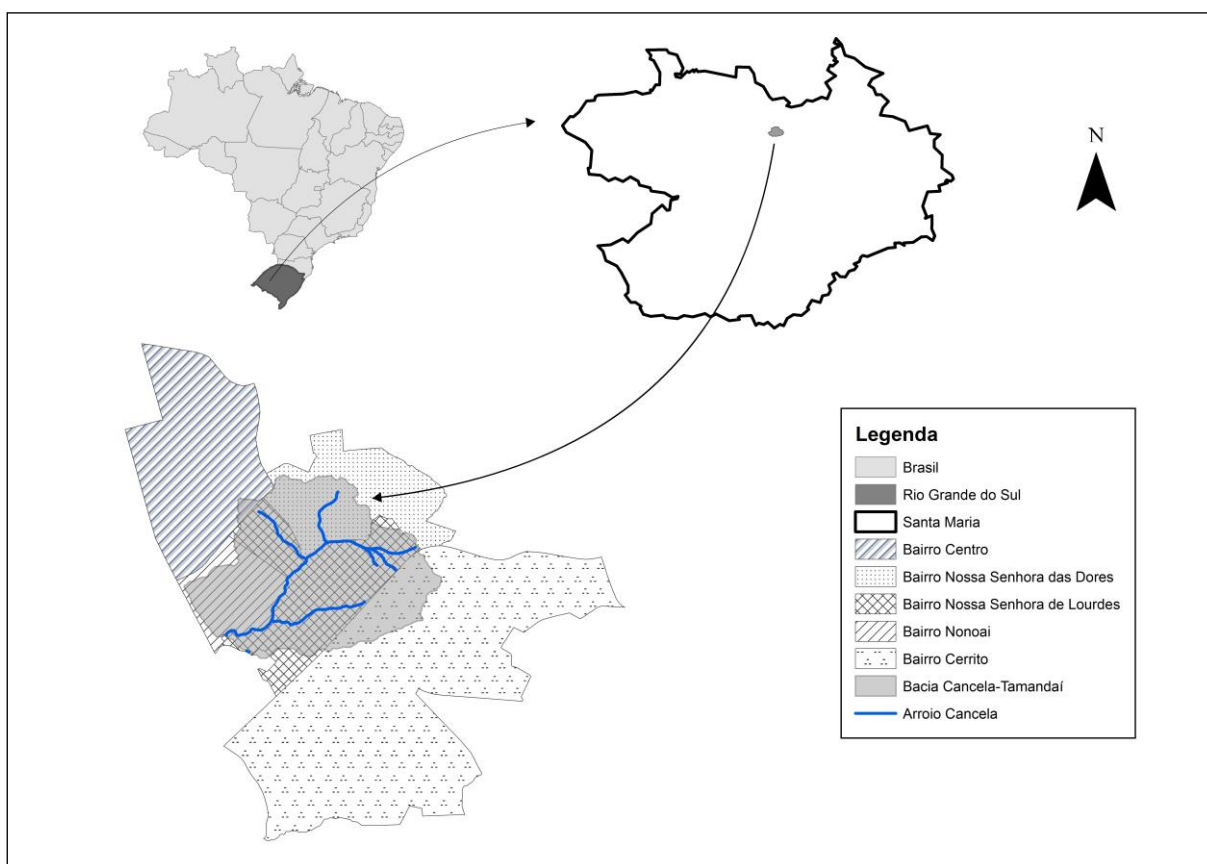


Figura 3 - Localização da bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí e do arroio Cancela-Tamandaí

O arroio Cancela-Tamandaí, afluente do arroio Cadena, recebe grande parte do esgotamento cloacal e pluvial dos arredores, contribuindo para a degradação da qualidade da água. O fluxo no arroio é constante ao longo do ano, seu curso não se encontra canalizado.

Apesar de a área possuir um sistema de esgoto sanitário do tipo separador absoluto em boa parcela da bacia, uma fração considerável das águas servidas é lançada clandestinamente diretamente na rede de drenagem urbana (CHAMUN, 2008). Outra situação comum é a presença de resíduos sólidos nos canais, geralmente resíduos oriundos das residências e estabelecimentos comerciais (BRITES e GASTALDINI, 2007). Ambos os problemas contribuem para a baixa qualidade das águas dos canais naturais da região, que em períodos de estiagem exalam odor característico de amônia, além de apresentarem aspecto visual precário.

De acordo com o Censo Demográfico 2010, Santa Maria conta com 261.031 habitantes (IBGE, 2010), com mais de 90% da população situada na zona urbana. O clima da região é subtropical úmido, de acordo com a classificação de com o sistema Köppen, caracterizada pela ocorrência de precipitações bem distribuídas ao longo dos 12 meses do ano (KUNCHTNER e BURIOL, 2001).

Na tabela 5 constam os parâmetros da caracterização física da área da bacia Cancela-Tamandaí.

Tabela 5 - Características físicas da bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí.

Parâmetro	Método	Bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí
Área de drenagem (A)		2,7 Km ²
Perímetro da bacia (P)		7,65 Km
Comprimento do rio principal (L)		2,38 Km
Densidade da drenagem (D _d)	$D_d = \frac{L_t}{A}$	1,91 Km/Km ²
Coeficiente de compacidade (K _c)		1,30
Fator de forma (K _f)		0,65
Elevação mínima		85 m
Elevação máxima		210 m
Declividade do Rio principal (S)		0,027 m/m
Declividade média da Bacia (S _m)		0,062 m/m
Tempo de concentração (T _c)	Carter ($T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$)	29 min

As elevações do terreno variam desde 81 m até 200 m acima do nível do mar, possuindo uma declividade média de 6,2% (Figura 4).

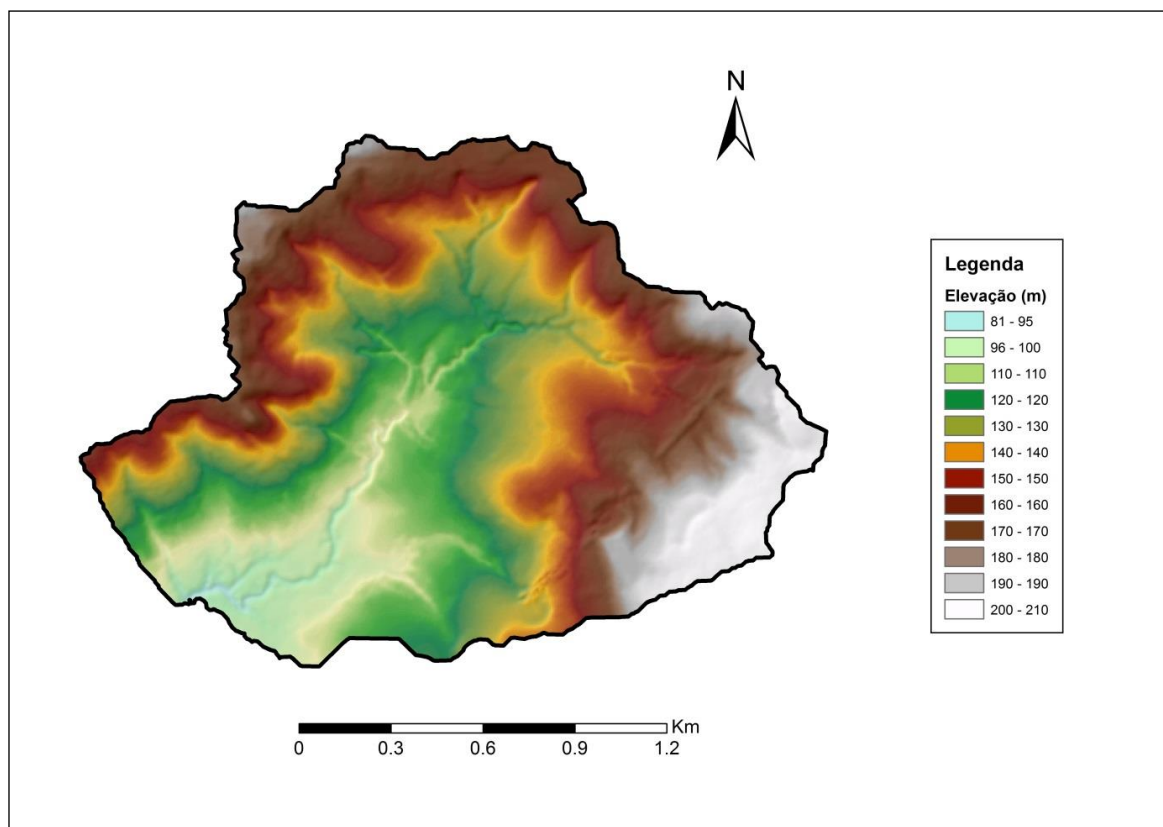


Figura 4 - Modelo numérico de terreno da bacia do arroio Cancela-Tamandaí

Na bacia Cancela-Tamandaí evidenciou-se seis usos do solo, sendo eles: campos, ruas, solos expostos, áreas impermeáveis (telhados, calçadas), terrenos/jardins e vegetação arbórea, ilustrados na figura 5.

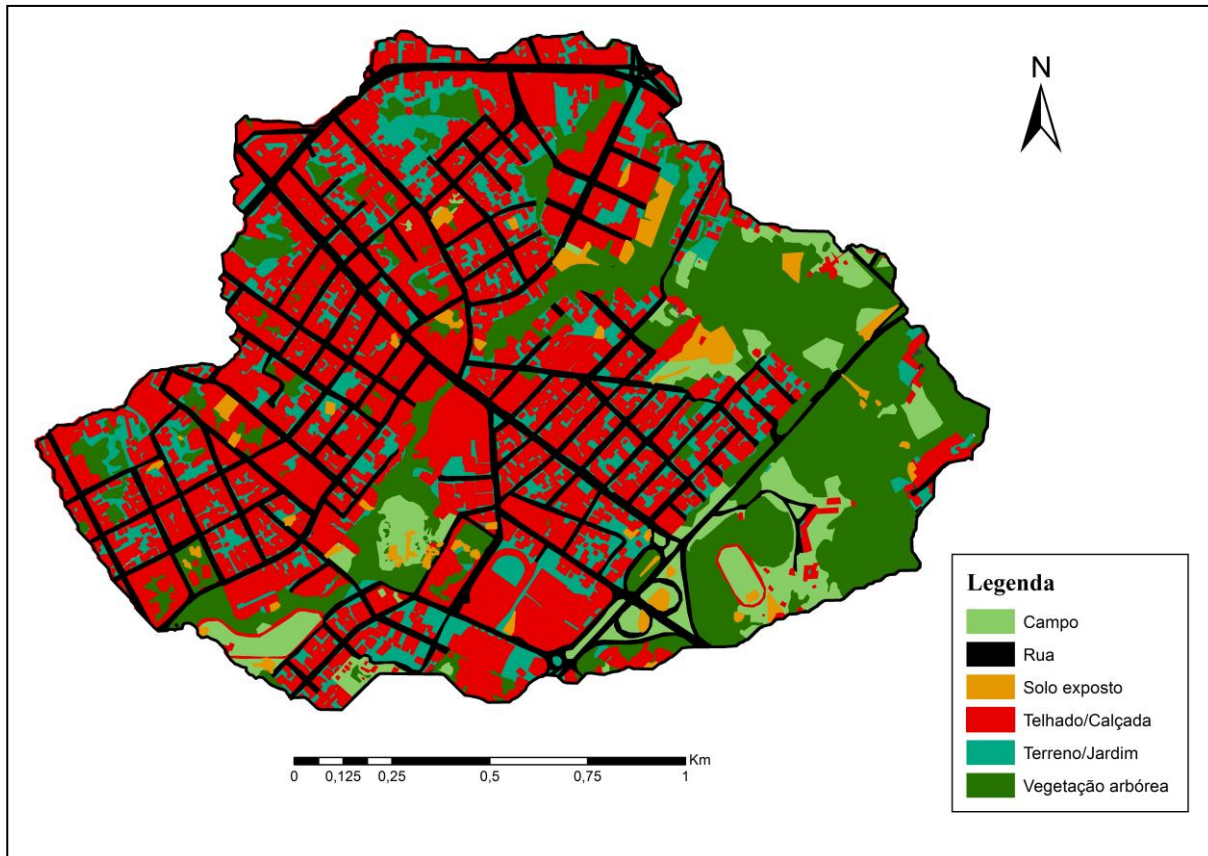


Figura 5 - Uso do solo da bacia do Arroio Cancela-Tamandaí no ano de 2014

Na tabela 6 descreve-se, resumidamente, a área de ocupação de cada uso do solo e suas porcentagens em relação à área total da bacia.

Tabela 6 - Uso do solo na bacia Cancela-Tamandaí em 2014

Uso do Solo	Área (Km ²)	Percentual (%)
Campo	0,18	6,48
Rua	0,42	15,37
Solo exposto	0,06	2,04
Telhado/Calçada	0,96	35,37
Terreno/Jardim	0,47	17,22
Vegetação arbórea	0,64	23,52

Observou-se que há predomínio de ruas e telhados/calçados na bacia Cancela-Tamandaí, sendo aproximadamente 51% da área total da bacia composta é

de áreas impermeáveis. De acordo com Maciel Filho (1990), o solo predominante na bacia (58,15% da área) pertence à formação Santa Maria, formados a partir de rochas sedimentares, caracterizada pela baixa permeabilidade.

A figura 6 apresenta os tipos de solo presentes na bacia Cancela-Tamandaí.

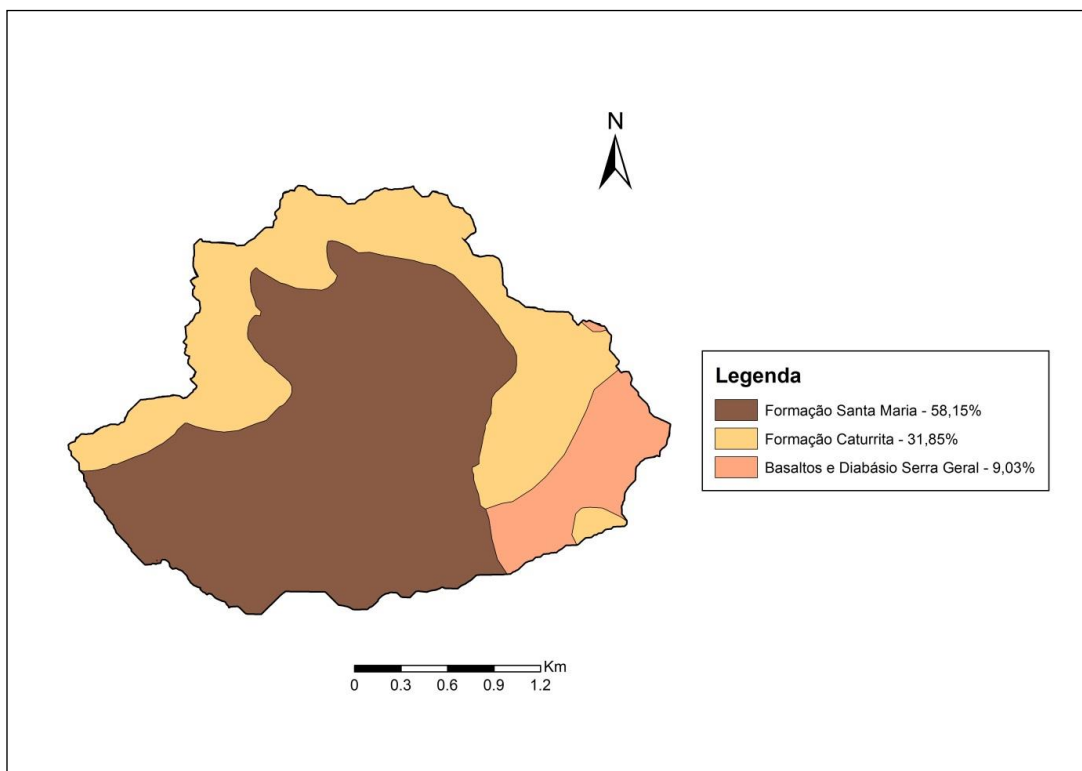


Figura 6 - Tipos de solo presentes na bacia do arroio Cancela. Fonte: Adaptado de Beling (2013)

A formação Caturrita, com maiores frações de silte e areia na composição granulométrica, é mais permeável e está presente em 31,85% da bacia, já a formação Basalto e Diabásio Serra Geral predominam em uma pequena área da bacia, 9,03% da área total. Sendo estes solos formados pelo intemperismo de rochas basálticas, caracterizam-se pela pouca espessura, textura argilosa e alta saturação por bases (rico em nutrientes) e apresentarem alta suscetibilidade a processos erosivos.

4.2 Estações de Monitoramento

A tabela 7 descreve as coordenadas geográficas, tipo de equipamento e os períodos de dados utilizados, das estações fluviométrica e pluviométrica na área de estudo.

Tabela 7 - Descrição das estações pluviométrica e fluviométrica utilizadas.

Código da Estação	Nome	Coordenadas Geográficas		Equipamento	Período utilizado
		Latitude	Longitude		
PLV-HDMEC Pluvio DAER	DAER	29°41'38.89"S	53°48'10.27"O	Pluviógrafo (eletrônico) $\Delta t=1$ min	2013 a Fev/2014
00001165	Planalto	29°42'23.00"S	53°47'59.80"O	Pluviógrafo (eletrônico) $\Delta t=1$ min	Mar/2014
MAN-CACI	Tamandaí- CACISM	29°42'7.42"S	53°48'18.09"O	Linígrafo (eletrônico) $\Delta t=5$ min	2013 a 2014

Na figura 7 ilustra-se a bacia hidrográfica arroio Cancela-Tamandaí, juntamente com as estações de monitoramento da qualidade da água, estação fluviométrica e pluviométricas existentes.

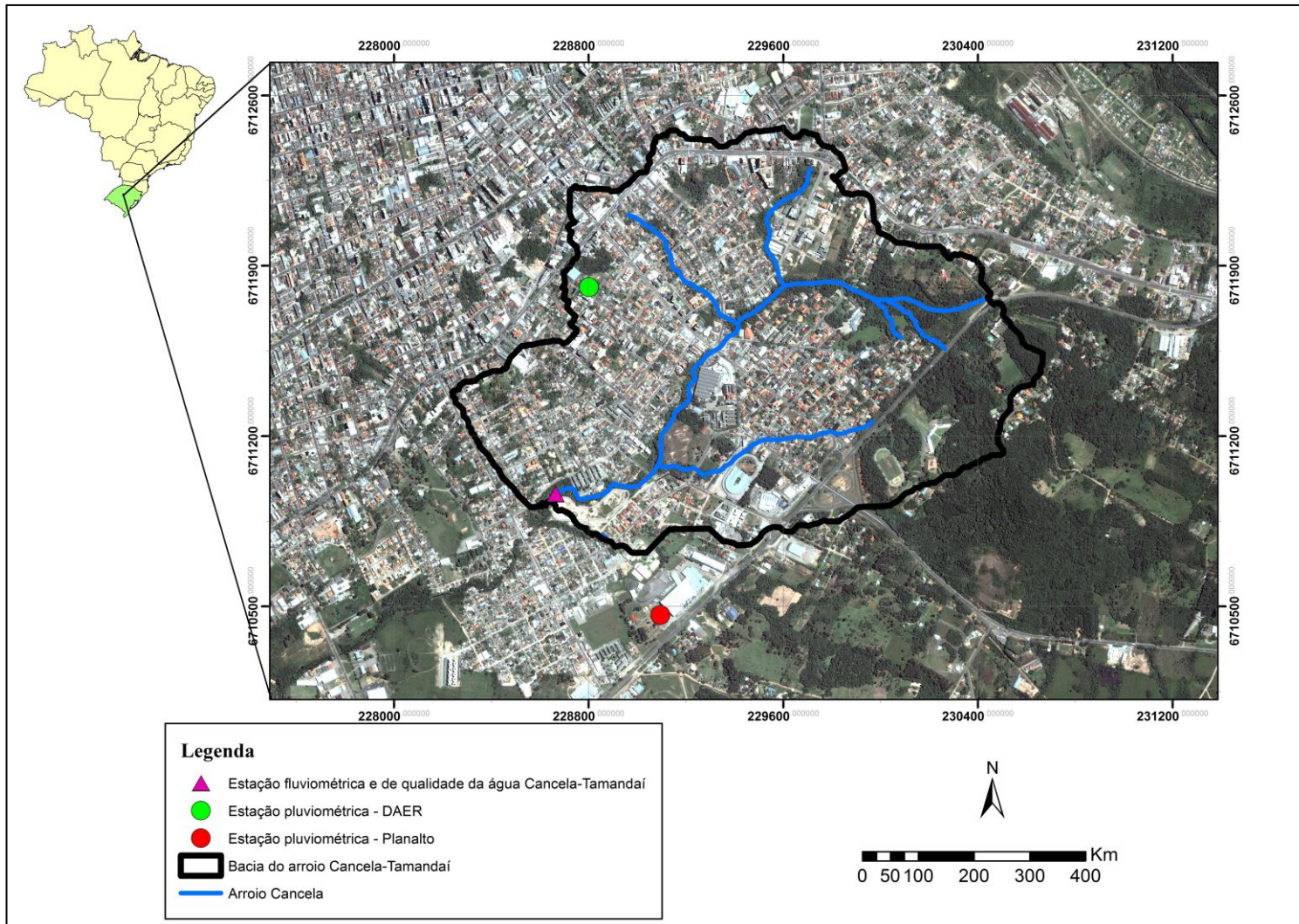


Figura 7 - Estações de monitoramento na bacia do arroio Cancela-Tamandaí

4.3 Monitoramento qualitativo e quantitativo

Para a avaliação quantitativa e qualitativa das águas e dos sedimentos em tempo seco foram realizadas 29 campanhas, no período de 31/01/2013 a 18/03/2014. Sendo que no período de 31/01/2013 a 13/05/2013 foram coletadas apenas amostras de água, e no período seguinte, de 17/07/2013 a 18/03/2014 foram coletadas amostras de água e sedimentos de fundo. Assim, totalizando 20 campanhas para caracterização dos sedimentos de leito e 29 campanhas para a caracterização da água no arroio Cancela-Tamandaí.

Para a avaliação da qualidade da água e dos sedimentos em suspensão durante a passagem da onda de cheia foram monitorados 17 eventos de precipitação, no período de 14/02/2013 a 17/03/2014. O ponto de amostragem para o monitoramento da qualidade da água e dos sedimentos está junto à estação fluviométrica Cancela-Tamandaí. O monitoramento qualitativo e quantitativo na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí consistiram em:

- Coleta de amostras de água: Coleta manual e coleta com Amostrador de Nível Ascendente (ANA), na seção de monitoramento;
A coleta manual foi realizada no centro da seção de amostragem em um ponto representativo da massa líquida, utilizando-se de recipientes plásticos limpos, previamente identificados, com enxágue dos frascos três vezes com a própria amostra e evitando aeração excessiva no momento da coleta.
- Coleta de amostras do material de leito: a coleta de amostras para a caracterização do material de leito foi realizada utilizando o amostrador tipo US-BMH-53, é um equipamento do tipo “piston-core” construído em PVC, para uso em cursos d’água rasos. Consiste em uma peça contendo um pistão dentro de um cilindro de 5,08 cm de diâmetro e 20,32 cm de comprimento, que é pressionado no leito do rio para coletar a amostra pela pressão de uma manivela no topo da peça. O comprimento total do amostrador é de 116,84 cm, como mostra a figura 8.



Figura 8 - Amostrador tipo US-BMH-53 adaptado

- Medições dos perfis de velocidade nas seções de monitoramento para determinação das descargas líquidas, utilizando o software Hidromolnete (BACK, 2006);
- Análises de laboratório para determinação da concentração dos parâmetros de qualidade: OD, temperatura, sólidos suspensos, sólidos totais, sólidos dissolvidos, pH, condutividade, turbidez, DBO, DQO, coliformes totais, *Escherichia coli*, nitrito, nitrato e fosfato e os metais: cobre, níquel, zinco e chumbo;

4.4 Amostrador de Nível Ascendente – ANA

Os amostradores ANA possibilitam o monitoramento da variação da qualidade da água e sedimentos em suspensão, em níveis pré-estabelecidos, durante eventos de precipitação, possibilitando assim, a avaliação da variação da qualidade da água durante o evento chuvoso, mesmo em períodos noturnos, quando não é possível a coleta manual de amostras.

O amostrador de nível ascendente, ANA, utilizado para coletar amostras de água durante a subida da onda de cheia, em níveis pré-estabelecidos, foi construído com base nas especificações sugeridas por Umezawa (1979).

O equipamento é constituído de garrafas nas quais são acoplados tubos na forma de sifão em suas extremidades, onde um dos tubos permite a entrada d'água e o outro a saída de ar durante o enchimento da garrafa. A forma de sifão da tubulação evita a recirculação de água no interior da garrafa enquanto a mesma permanecer submersa. Os bocais de tomada d'água foram instalados no sentido contra-corrente para facilitar a admissão da amostra. A coleta d'água em uma determinada garrafa é realizada do momento em que o nível d'água atinge o bocal de tomada até o momento em que atinge o ponto mais alto do seu sifão.

O amostrador foi instalado na margem direita da estação fluviométrica Cancela-Tamandaí com 10 garrafas fixadas a uma profundidade conforme a elevação do nível d'água no local.

A figura 9 ilustra o amostrador instalado na seção de amostragem da bacia hidrográfica do Cancela-Tamandaí.



Figura 9 - Amostrador de Nível Ascendente (ANA)

As amostras foram agrupadas a fim de formar uma amostra representativa para as análises de qualidade da água. Na tabela 8 apresenta-se a relação nível-garrafa dos amostradores na seção de monitoramento.

Tabela 8 - Relação nível-garrafa dos amostradores de nível ascendente - ANA, instalado na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí

Garrafa	Cota (cm)
G1	29
G2	40
G3	51
G4	61
G5	72
G6	89
G7	99
G8	118
G9	130
G10	150

4.5 Parâmetros de qualidade da água analisados

Os parâmetros de qualidade da água analisados, metodologia utilizada, o limite de detecção do método de avaliação dos parâmetros de qualidade da água e os locais de análise dos parâmetros estão descritos, resumidamente, na tabela 9.

A metodologia utilizada para as análises seguiu a descrita no Standard Methods for the Examination of the water and wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1998).

Tabela 9 - Parâmetros de qualidade da água, metodologia analítica, limite de detecção e local das análises (Continua)

Parâmetros de Qualidade da água/sedimentos	Metodologia Analítica	Limite de Detecção	Local de análise
Temperatura da água	Termometria	0,1°C	<i>In situ</i>

Tabela 9 - Parâmetros de qualidade da água, metodologia analítica, limite de detecção e local das análises (Conclusão)

Parâmetros de Qualidade da água/sedimentos	Metodologia Analítica	Limite de Detecção	Local de análise
Turbidez	Nefelométrico	0,1 UNT	LASAM
Sólidos totais	Gravimétrico	0,1 mg/L	LASAM
Sólidos suspensos	Gravimétrico	0,1 mg/L	LASAM
Sólidos dissolvidos	Gravimétrico	0,1 mg/L	LASAM
pH	Potenciométrico	0,1	LASAM
Condutividade elétrica	Potenciométrico	0,1 μ S/cm	LASAM
Oxigênio dissolvido	Oxímetro	0,1 mg/L	In situ
DBO ₅	Winckler	0,1 mg/L	LASAM
DQO	Titulométrico - Refluxo	0,1 mg/L	LASAM
Coliformes Totais	Ideex-colilert	1 NMP/100 mL	LASAM
<i>Escherichia coli</i>	Ideex-colilert	1 NMP/100 mL	LASAM
Cobre, Níquel	ICP - MS	0,1 μ /L	LAQUIA
Zinco, Chumbo	ICP - OES	0,1 μ /L	LAQUIA
Nitrito	Cromatografia Iônica	0,1 mg/L	LABEFLO
Nitrato	Cromatografia Iônica	0,1 mg/L	LABEFLO
Fosfato	Cromatografia Iônica	0,1 mg/L	LABEFLO

Notas: *in situ*: determinação em campo, no momento da coleta; LASAM: Laboratório de saneamento Ambiental- Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSM; LAQUIA: Laboratório de Química Industrial da UFSM; LABEFLO: Laboratório de Engenharia Florestal da UFSM

4.6 Parâmetros de qualidade do material de leito

Para a caracterização qualitativa do sedimento de fundo foram realizadas ao longo deste estudo 20 campanhas de coleta.

Para sedimentos foram determinados os parâmetros de DBO_{5,20}, DQO, pH, CE, Coliformes totais, *E. coli*, nutrientes (fosfato, nitrato, nitrito) e metais (cobre, níquel, chumbo, zinco). Os parâmetros de DBO_{5,20}, coliformes termotolerantes, e *E. coli* foram determinados ainda com o sedimento úmido.

O preparo da amostra ainda úmida foi adaptado a partir da metodologia proposta por Vaze e Chiew (2004) para sedimento seco. O preparo das amostras de sedimento seco consiste na retirada do material orgânico, dos resíduos, secagem

em estufa e pesagem. Após são peneiradas nas peneiras de malha 500 μ m, 250 μ m e 63 μ m.

O esquema do preparo das amostras de sedimento úmido e seco, bem como dos parâmetros analisados é mostrado na figura 10.

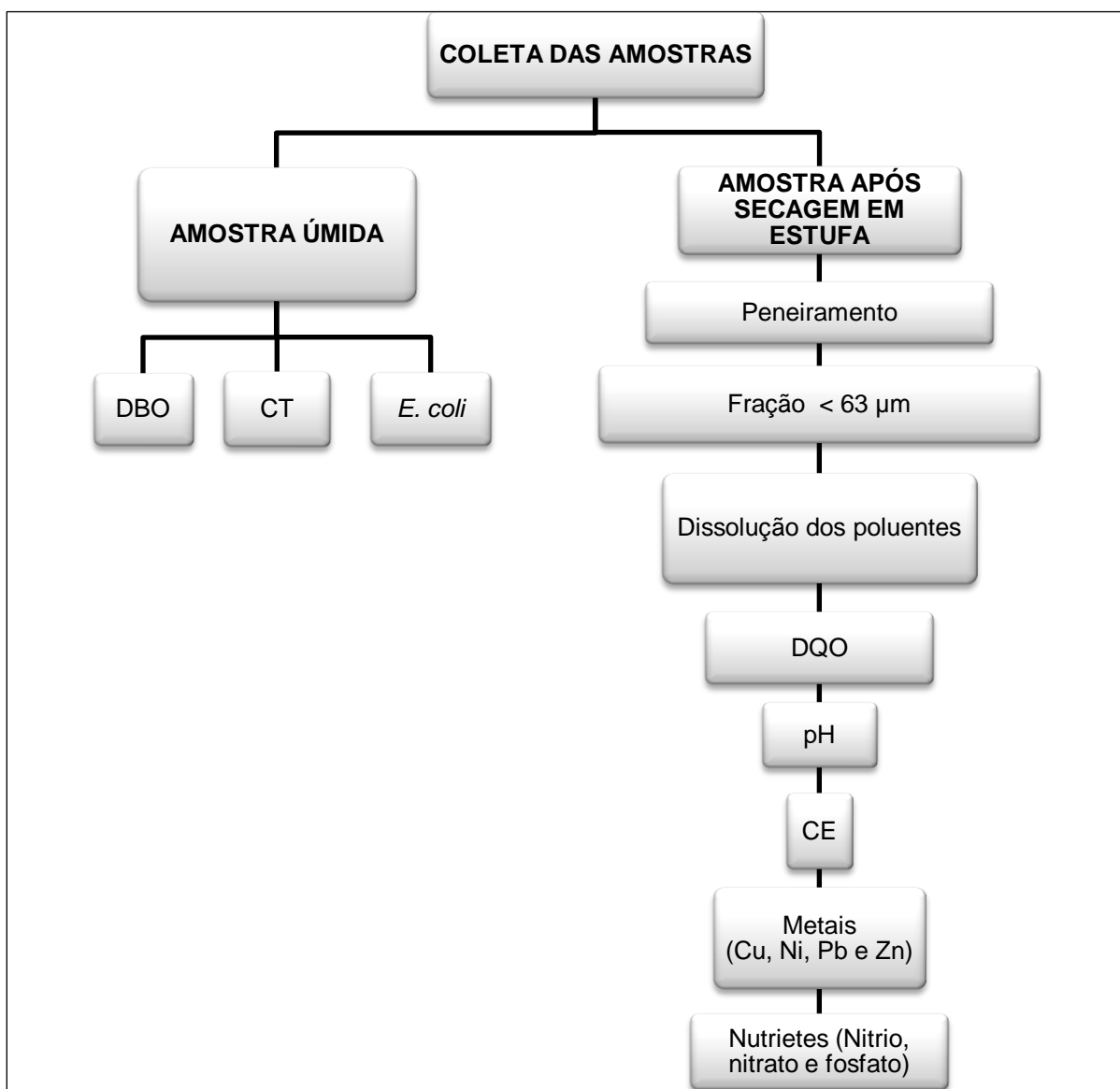


Figura 10 – Esquema do preparo das amostras e parâmetros analisados para material de leito

O material retido em cada uma das peneiras e o passante na peneira de malha igual a 63 μ m foram pesados. Da fração mais fina, ou seja, das partículas

menores que 63µm foram retirados no mínimo 2g do material para a dissolução em 100 mL de água de Milli-Q. A amostra é agitada para dissolução dos poluentes agregados aos sedimentos e deixada em repouso por duas horas. Após o descanso extrai-se a porção sobrenadante e armazena-se em recipientes plásticos descontaminados, conforme metodologia proposta por Vaze e Chiew (2004), Carreras et al. (2012); Nabelkova et al. (2012).

4.7 Construção dos hidrogramas

Para a construção dos hidrogramas foi determinada a curva chave de vazão em relação ao nível de água e a vazão que escoava no leito fluvial. Esta curva foi utilizada para converter dados de cota-vazão em dias que não se tem dados de campo.

4.8 Concentração Média do Evento (CME)

A Concentração Média do Evento (CME), para os parâmetros de qualidade d'água, é apropriada para avaliar os efeitos do escoamento superficial nos corpos d'água receptores, uma vez que estes respondem lentamente as vazões pluviais. Portanto, este foi um importante parâmetro a ser analisado (LEE et al., 2011). A equação 1 indica como esta concentração foi determinada.

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{tr} C_t Q_t dt}{\int_0^{tr} Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (1)$$

Sendo:

CME = concentração média do evento (mg/L);

M = massa total de poluente durante o evento (g);

V = volume total durante o evento (m³);

t = tempo (s);

C_t = concentração no tempo t (mg/L);

Q_t = vazão no tempo t (m³/s);

Δt = intervalo de tempo (s).

4.8.1 Concentração Média Parcial do Evento (CMPE)

A Concentração Média Parcial do Evento foi determinada para intervalos de tempo menores que a duração total do evento e foi determinada pela equação 2.

$$CMPE = \frac{m(t)}{v(t)} = \frac{\int_0^t C_t Q_t dt}{\int_0^t Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (2)$$

Sendo:

CMPE = concentração média parcial do evento (mg/L);

m(t) = massa poluente transportada até o tempo t (g);

v(t) = volume escoado até o tempo t (m³);

t = tempo (s);

C_t = concentração no tempo t (mg/L);

Q_t = vazão no tempo t (m³/s);

Δt = intervalo de tempo (s).

Para a análise do fenômeno da carga de lavagem, no escoamento superficial urbano, tornou-se necessário normalizar adimensionalmente as massas poluentes transportadas e os volumes escoados. Para este procedimento utilizou-se as equações 3 e 4, respectivamente.

$$L = \frac{m(t)}{M} \quad (3)$$

$$F = \frac{v(t)}{V} \quad (4)$$

Em que:

L=adimensional de massa poluente acumulada;

F=adimensional de volume escoado acumulado

m(t)= massa poluente transportada até o tempo t (g);

v(t) = volume escoado até o tempo t (m³);

M = massa total de poluente durante o evento (g);

V = volume total durante o evento (m³);

O fenômeno de carga de lavagem ocorre no tempo t se a curva adimensional de massa poluente acumulada (L) exceder a curva adimensional de volume escoado acumulado (F) em todos os instantes durante o evento.

Conforme a definição da máxima divergência considera-se que uma substancial carga de lavagem ocorre se a diferença máxima entre a curva adimensional de massa poluente acumulada, L, e a curva adimensional de volume escoado acumulado, F, for maior que 0,2. A equação 5 indica esta diferença.

$$\Delta = L - F \quad (5)$$

Em que:

Δ = diferença entre a curva adimensional de massa poluente acumulada, L, e a curva adimensional de volume escoado acumulado, F.

3.8.2 Análise da carga de lavagem

No presente estudo, realizado na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí, avaliou-se o fenômeno da carga de lavagem por meio da aplicação da metodologia descrita por Gupta e Saul (1996).

Por meio de análises gráficas das curvas $M(V)$, observou-se a posição destas em relação ao bissetor, indicando a distribuição dos poluentes durante todo o evento. Se a curva apresenta declividade de 45° assume-se que os poluentes foram distribuídos uniformemente durante o evento, a carga de lavagem não ocorreu quando a curva permanecer abaixo do bissetor (curva $<45^\circ$), quando esta permanecer acima do bissetor (curva $>45^\circ$) a ocorrência da carga de lavagem foi evidenciada.

4.9 Análise da carga de poluição difusa

Para que houvesse a avaliação completa das características de qualidade da água em eventos de precipitação, foram realizadas coletas de amostras caracterizadas como coletas em tempo seco.

Durante a passagem da onda de cheia foram adotados pontos iniciais e finais (pontos coletados), ilustrados na figura 11, assumindo as características do tempo seco mais próximo ao evento.

A adoção de pontos iniciais justifica-se pela dificuldade de chegar à estação antes do início da precipitação, devido à ocorrência em horários imprevistos. Os pontos finais justificam-se pela extensão de alguns eventos impossibilitando a permanência da equipe em campo.

As massas poluentes totais foram obtidas através da multiplicação das CMEs pelos volumes totais escoados durante os eventos de precipitação.

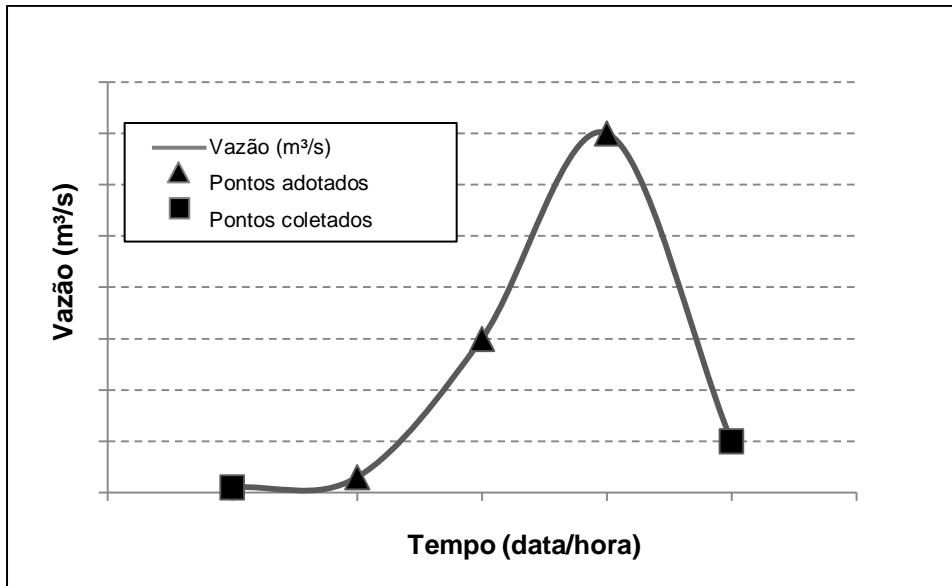


Figura 11 - Pontos de coleta adotados e coletados em eventos de precipitação

Como os corpos d'água apresentam uma carga poluente de base e vazão de base, o valor da massa poluente causada por esta carga foi obtida conforme a equação 6.

$$M_{\text{base}} = C_{\text{base}} Q_{\text{base}} \Delta t \quad (6)$$

Em que:

M_{base} = massa total de poluente durante o evento devido à carga de base (g);

C_{base} = concentração anterior ao início do evento (mg/L);

Q_{base} = vazão anterior ao início do evento (m³/s);

Δt = duração total do evento (s).

Para a avaliação da carga difusa na bacia considerou-se a área da bacia de 2,70 Km², período de monitoramento de 455 dias para ST, SS, SD, DBO, DQO, CT, *E. coli* e 243 dias para metais e nutrientes. O número de habitantes, obtido junto ao IBGE (2010), foi de 6.231 domicílios e 14.293 habitantes, detalhados no Apêndice A.

A carga de poluição difusa em função da área da bacia foi determinada conforme a equação 7.

$$\text{Carga difusa em função da área} = \frac{\sum \text{Massa Total dos Eventos}}{\text{Área da bacia} * \text{Período de monitoramento}} \quad (7)$$

A carga de poluição difusa em função do número de habitantes foi obtida conforme a equação 8.

$$\text{Carga difusa em função do n}^\circ \text{ de hab.} = \frac{\sum \text{Massa Total dos Eventos}}{\text{N}^\circ \text{ de habitantes} * \text{Período de monitoramento}} \quad (8)$$

O número de habitantes na bacia foi obtido a partir de dados dos setores censitários, ilustrados na figura e tabela A.1 no apêndice A, disponibilizados pelo IBGE (2010), em que cada setor tem sua população correspondente.

5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos, após as análises, foram tabulados e analisados estatisticamente utilizando o *software* SPSS *Statistcs* 17.0 para cálculo das médias (μ), mínimos, máximos, desvio padrão (σ), coeficiente de variação (--%--) e correlação de Pearson (r).

A comparação entre as concentrações unitárias dos parâmetros de qualidade da água e os fatores ambientais (períodos seco e chuvoso) foi analisada estatisticamente a partir do índice de correlação de Pearson (r).

Segundo UWE (2014), Florence et al. (2012) e Kim et al. (2007) este coeficiente indica o grau de intensidade da correlação entre duas variáveis e, ainda, o sentido dessa correlação. As unidades adotadas não afetam o valor do coeficiente de correlação, e sim evidencia a força de associação entre as variáveis (UWE, 2014).

Uma correlação varia de +1 (correlação perfeita positiva) a -1 (correlação perfeita negativa), sendo também adimensional (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Crespo (2005) estabelece limites entre os índices de correlação tais como:

- $0,6 \leq r \leq 1$, conclusões significativas entre as variáveis analisadas;
- $0,3 \leq r < 0,6$, há uma correlação relativamente fraca entre as variáveis;
- e se $0 < r < 0,3$, a correlação é muito fraca e, praticamente, nada se pode concluir sobre a relação entre as variáveis em estudo.

“Um valor do coeficiente de correlação elevado, embora estatisticamente significativo, não implica necessariamente numa relação de causa e efeito, mas a tendência que as variáveis apresentam quanto à sua variação conjunta” (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p.359).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Condições hidrológicas do período avaliado

Os dados hidrológicos de precipitação foram utilizados para elaboração dos hidrogramas dos eventos monitorados na bacia de estudo, e também, para correlação da precipitação e dos períodos de dias secos antecedentes aos eventos analisados.

A figura 12 ilustra a precipitação total registrada nos pluviômetros da bacia Cancela-Tamandaí, em comparação com a série histórica obtida pela estação do INMET (localizada no Campus da UFSM), durante o período de janeiro de 2013 a março de 2014. Devido a problemas técnicos na estação DAER, no mês de março (mar/14), os dados de precipitação utilizados neste período foram os obtidos pela estação pluviométrica Planalto.

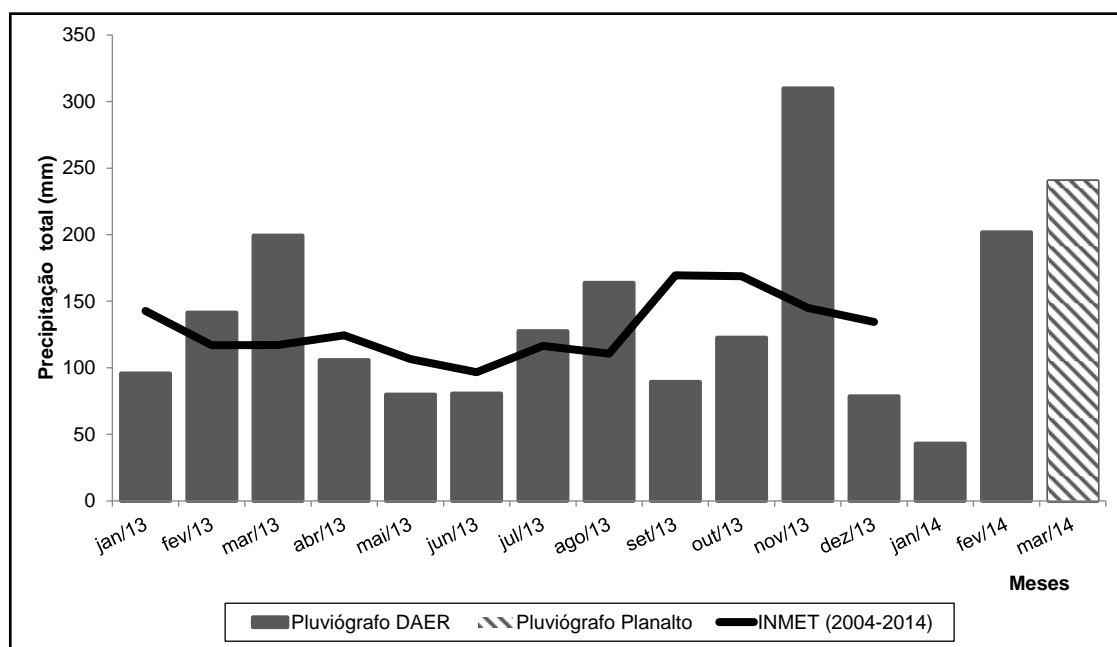


Figura 12 - Precipitação na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí durante o período de janeiro de 2013 a março de 2014 e média histórica (2004-2014)

O regime de distribuição das chuvas, no período estudado foi relativamente uniforme, com desvio de precipitação no mês de novembro (310 mm). A precipitação máxima registrada ocorreu no mês de novembro (310 mm) e a precipitação mínima registrada foi de 43 mm no mês janeiro, salienta-se que devido a problemas técnicos, a precipitação de dezembro/13 considerada para esse estudo foi a registrada na estação pluviométrica Planalto.

6.2 Curva-chave da seção Cancela-Tamandaí

A curva chave, ilustrada na figura 13, utilizada na estação Tamandaí-CACISM foi calibrada a partir de 21 medições realizadas em campo. A equação da curva-chave é válida para cotas maiores ou iguais a 0,10 m e inferiores a 1,50 m, pode ser expressa pela equação 9.

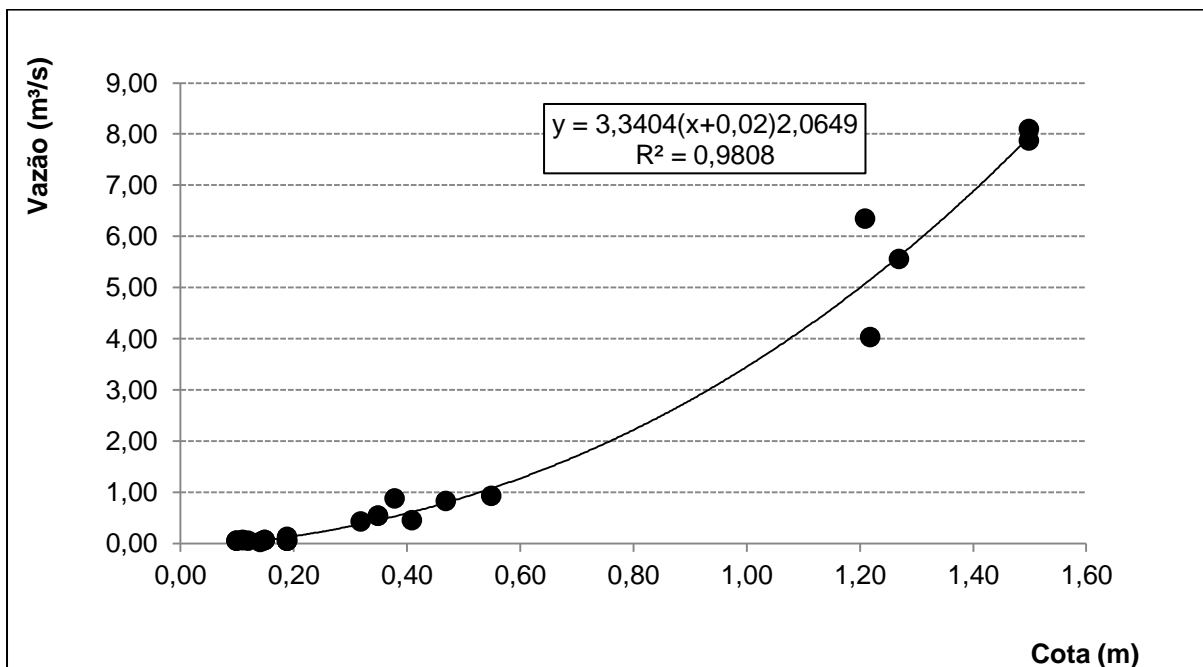


Figura 13 – Curva-chave da seção Cancela-Tamandaí válida para o período de estudo, para cotas maiores ou iguais a 0,10 m e inferiores a 1,50 m

Para $0,10 \text{ m} \leq H \leq 1,50 \text{ m}$

$$Q = 3,34 \text{ 04} (H + 0,02)^{2,0649} \quad (9)$$

Em que: $Q = \text{m}^3/\text{s}$; $H = \text{m}$

As vazões necessárias para a pesquisa ficaram dentro desses valores de cota, então não foi preciso extrapolação para cotas maiores.

6.3 Qualidade da água na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí

6.3.1 Análise das características de tempo seco

A bacia Cancela-Tamandaí, com predomínio de áreas impermeáveis, possui alto grau de degradação ambiental. Os parâmetros de qualidade da água analisados em tempo seco (no período de 31/01/2013 a 18/03/2014) evidenciam a degradação do corpo hídrico, tendo parâmetros em desacordo com os limites estabelecidos pelas classes existentes na resolução CONAMA nº 357/2005.

A análise estatística de desvio padrão (σ), coeficiente de variação (--%--), média (μ), máximo e mínimo dos parâmetros de qualidade da água analisados em tempo seco estão na tabela 10.

Tabela 10 - Desvio Padrão (σ), coeficiente de variação (--%--), média (μ), máximo e mínimo dos parâmetros de qualidade da água analisados em tempo seco na bacia Cancela-Tamandaí (Continua)

Parâmetros	Nº de amostras (N)	DP (σ)	CV (--%--)	Média (μ)	Mediana	Máximo	Mínimo
T (°C)	29	3,5	18	19,7	20,1	25,9	8,1
Turb. (NTU)	29	5,9	42	14	13	30	4

Tabela 10 - Desvio Padrão (σ), coeficiente de variação (--%--), média (μ), máximo e mínimo dos parâmetros de qualidade da água analisados em tempo seco na bacia Cancela-Tamandaí (Conclusão)

Parâmetros	Nº de amostras (N)	DP (σ)	CV (--%--)	Média (μ)	Mediana	Máximo	Mínimo
ST (mg/L)	29	35,7	14	223	230	278	123
SS (mg/L)	29	8,1	70	15	12	45	3
SD (mg/L)	29	35,3	15	208	208	271	114
pH	29	0,1	2	7,7	7,7	8,0	7,1
CE (uS/cm)	29	33,7	14	377	373	500	297
DBO (mg/L)	29	78,0	75	124	91	298	38
DQO(mg/L)	29	148,0	66	216	179	519	62
OD (mg/L)	29	1,8	75	2,4	1,75	6,05	0,36
CT (NMP/100mL)	29	2,02E+06	167	1,21E+06	1,23E+06	8,16E+06	1,69E+05
<i>E. coli</i>	29	3,33E+05	123	2,72E+05	3,05E+05	1,39E+06	1,00E+04
Cobre ($\mu\text{g/L}$)	18	0,35	7	5	5	6,5	5,0
Níquel ($\mu\text{g/L}$)	18	5,16	37	14	14	20,0	4,9
Chumbo ($\mu\text{g/L}$)	18	10,53	27	40	40	70,0	21,6
Zinco ($\mu\text{g/L}$)	18	14,28	71	20	18,7	65,7	10,0
Nitrito (mg/L)	18	2,40	337	1,0	0,1	10,0	0,0
Nitrato (mg/L)	18	0,91	156	1,0	0,12	3,2	0,0
Fosfato (mg/L)	18	0,38	60	1,0	0,51	1,2	0,2

Analisando os parâmetros de qualidade da água em tempo seco, tem-se que a concentração média obtida para SS foi de 15 mg/L, Cu igual a 5 $\mu\text{g/L}$, Ni foi de 14 $\mu\text{g/L}$, Pb igual a 40 $\mu\text{g/L}$ e para Zinco de 20 $\mu\text{g/L}$.

Em um estudo semelhante a este Beck (2012) avaliou as concentrações de SS, Cu, Pb, Zn em áreas urbanas na cidade de Sidney, obtendo concentrações de 13 mg/L, 8,5 $\mu\text{g/L}$, 3 $\mu\text{g/L}$, 25 $\mu\text{g/L}$ para SS, Cu, Pb e Zn, respectivamente. Observou-se que a concentração de Pb, obtida no arroio Cancela-Tamandaí, foi superior a encontrada por Beck (2012), o inverso ocorreu para concentração de Zn. Esta situação justifica-se pelo uso e ocupação do solo, em que na bacia Cancela-Tamandaí não há a presença de indústrias metalúrgicas e galvanicas, pois o acréscimo do Zn pode ser reflexo da presença deste tipo de empreendimentos.

Os parâmetros OD, CT, e *E. coli* apresentaram ampla faixa de variação, sendo: 6,05 a 0,36 mg/L, 8,16E+06 a 1,69E+05 NMP/100mL e 1,39E+06 a 1,00E+04 NMP/100mL, respectivamente. As concentrações medianas para OD, CT, e *E. coli* obtidas foram de 1,75 mg/L para OD, 1,23E+06 NMP/100mL para CT e 3,05E+05 NMP/100mL para *E. coli*.

A variabilidade dos dados, extraindo a ordem de influencia das grandezas, foi expressa pelo coeficiente de variação. Os parâmetros analisados que apresentaram maior variabilidade foram SS 70%, DBO 75%, DQO, 66%, Zn 71%, nitrito 337%, nitrato 156% e fosfato 60%, a representação gráfica do coeficiente de variação está ilustrada figura 14. Observa-se ampla variabilidade dos parâmetros, devido às interferências do ambiente, tais como, a sazonalidade das coletas, horário de coletas e o lançamento de efluentes e a acumulação de resíduos nas vias urbanas.

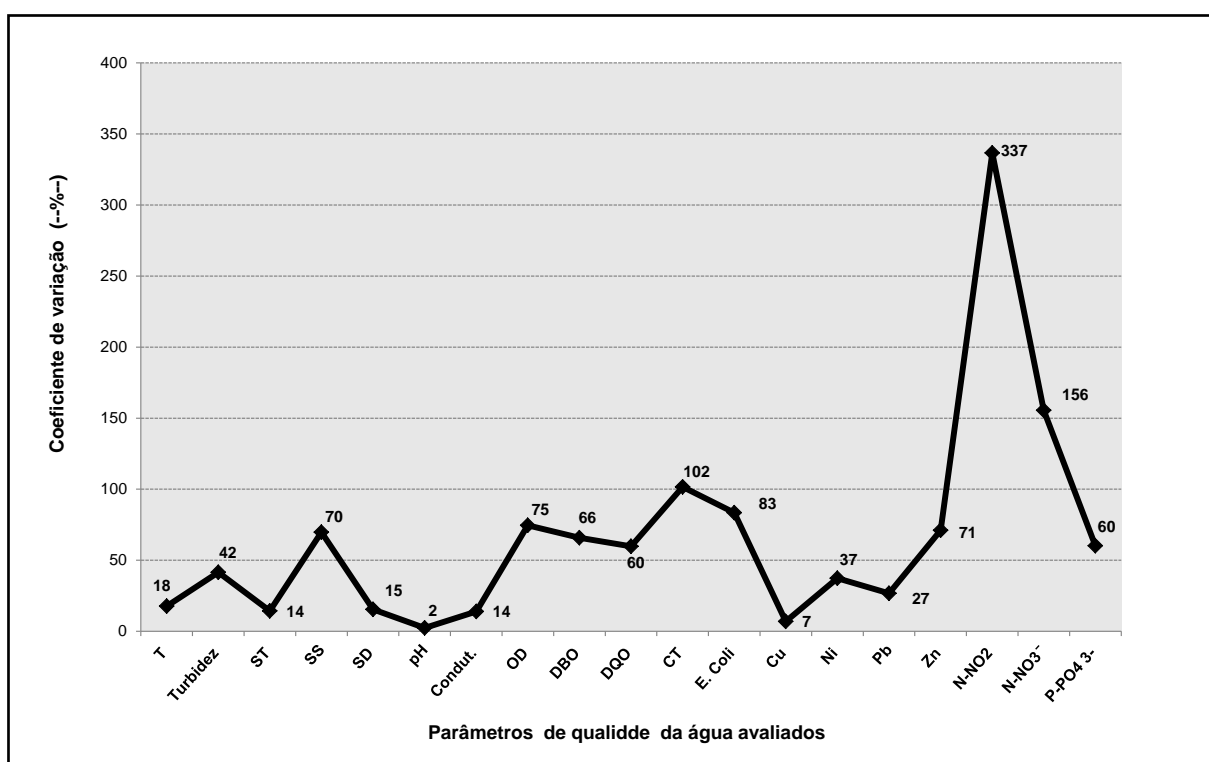


Figura 14 - Coeficiente de variação (---%) em tempo seco para os parâmetros de qualidade da água na bacia Cancela-Tamandaí.

Nota-se que os parâmetros com maior variabilidade foram nitrito e nitrato, 337% e 156%, respectivamente. Situação devido ao processo de oxidação da amônia, onde a fração nitrito é a fase intermediária e o nitrato o produto final da oxidação, salienta-se ainda que para poluição recente o nitrogênio apresenta-se basicamente na forma de nitrito e se antiga na forma de nitrato. Com isto, constata-

se que o corpo hídrico sofre continuamente o processo de degradação da qualidade da água.

Na tabela 11 apresentam-se os coeficientes de correlação de Pearson (r) para os parâmetros de qualidade em tempo seco. A correlação entre temperatura e pH foi de $r=0,90$ significativamente positiva, pois o aumento da temperatura da água favorece a quebra das moléculas de hidrogênio e oxigênio, contribuindo para a diminuição do pH. No entanto, neste estudo a temperatura da água apresentou relação direta com o pH, ocasionando o seu aumento com a elevação da temperatura da água

Temperatura e DBO apresentaram correlação positiva ($r=0,60$), pois a temperatura da água influencia de modo direto a atividade microbológica no corpo hídrico. Turbidez e *E. coli* ($r=0,63$), pois a presença de efluentes domésticos eleva a turbidez da água. Sólidos totais e sólidos dissolvidos ($r=0,96$), apresentando relação direta entre si. As correlações entre cobre e nitrito ($r=0,99$), CE e nitrato ($r=0,66$), DBO e DQO ($r=0,78$), OD e nitrito ($r=0,85$) reforçam a ação de degradação antropogênica ocorrida na bacia, como o lançamento de efluentes sem o devido tratamento prévio e a presença de resíduos sólidos no corpo hídrico. A elevada correlação entre Cu e nitrito evidência que estes poluentes podem estar sendo provenientes da mesma fonte de poluição/contaminação.

Tabela 11 - Correlação de Pearson (r) dos parâmetros de qualidade da água em tempo seco na bacia Cancela-Tamandaí

Correlação	T (°C)	Turb. (NTU)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	pH	CE (uS/cm)	OD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	E.C (NMP/100mL)	Cu (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Vazão (m³/s)	
T (°C)	1																				
Turb. (NTU)	-0,18	1																			
ST (mg/L)	-0,10	0,13	1																		
SS (mg/L)	-0,11	0,50	0,16	1																	
SD (mg/L)	-0,08	0,03	0,96	0,05	1																
pH	0,90	0,01	0,55	0,16	0,54	1															
CE (uS/cm)	0,20	-0,14	0,50	0,04	0,56	0,27	1														
OD (mg/L)	-0,36	0,27	-0,15	0,03	-0,20	0,09	-0,75	1													
DBO (mg/L)	0,60	-0,14	0,06	-0,26	0,06	-0,26	0,23	-0,23	1												
DQO (mg/L)	0,14	0,15	0,33	-0,19	0,32	-0,16	0,50	0,40	0,78	1											
CT (NMP/100mL)	0,27	-0,05	0,06	0,02	-0,12	0,15	-0,35	0,15	0,01	-0,20	1										
E.C (NMP/100mL)	-0,05	0,63	0,06	0,33	-0,07	0,04	-0,32	0,37	-0,10	-0,03	0,23	1									
Cobre (mg/L)	-0,13	0,08	-0,14	0,20	-0,05	-0,12	0,04	-0,02	0,33	0,18	-0,42	0,12	1								
Níquel (mg/L)	-0,18	-0,09	0,43	0,12	0,51	0,40	0,45	-0,32	-0,30	-0,14	-0,34	-0,17	-0,15	1							
Chumbo (mg/L)	-0,28	-0,25	0,10	0,16	0,14	-0,06	0,30	-0,18	-0,45	0,04	-0,31	-0,26	-0,25	0,14	1						
Zinco (mg/L)	-0,07	-0,22	0,11	-0,27	0,21	0,34	0,20	-0,11	0,40	0,20	-0,06	-0,12	0,38	0,42	-0,37	1					
Nitrito (mg/L)	0,04	0,00	-0,14	0,14	-0,12	-0,09	-0,10	-0,02	0,43	0,16	0,10	0,13	0,99	-0,36	0,43	-0,44	1				
Nitrato (mg/L)	-0,62	0,30	-0,16	0,07	-0,23	-0,22	-0,75	0,85	-0,15	-0,32	0,45	0,30	-0,10	-0,25	-0,30	0,00	-0,06	1			
Fosfato (mg/L)	0,04	-0,05	0,14	0,30	0,20	0,31	0,66	-0,60	-0,16	-0,10	-0,17	-0,20	-0,10	0,34	0,10	0,30	-0,13	-0,60	1		
Vazão (m³/s)	-0,14	0,08	-0,07	-0,22	-0,08	-0,33	-0,24	0,30	0,14	0,03	-0,23	-0,27	0,16	-0,16	-0,17	-0,12	0,16	0,50	-0,50	1,00	

6.4 Qualidade do sedimento na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí

A deposição de sedimentos na bacia Cancela-Tamandaí, deve-se ao acúmulo de sedimentos em áreas impermeabilizadas, bem como nos sistemas de drenagem.

6.4.1 Análise das características do sedimento de fundo

Durante os eventos chuvosos os sedimentos acumulados são carregados para o corpo hídrico, causando o aumento da concentração de poluentes nos sedimentos de fundo, que após o cessar do evento são depositados no leito do arroio.

O desvio padrão (σ), coeficiente de variação (--%--), média (μ), máximo e mínimo dos parâmetros de qualidade de sedimentos analisados em tempo seco estão na tabela 12.

Tabela 12 - Desvio Padrão (σ), coeficiente de variação (--%--), média (μ), máximo e mínimo dos parâmetros de qualidade de sedimentos analisados em tempo seco na bacia Cancela-Tamandaí.

Parâmetros	Nº de amostras (N)	DP (σ)	CV (--%--)	Média (μ)	Mediana	Máximo	Mínimo
pH		1,32	22	6,0	6,5	7,5	3,1
Cond. (uS/cm)		85,12	59	144	132	435	12
DBO (mg/L)		106,19	108	98	75	398	13
DQO(mg/L)		252,4	100	253	159	923	47
CT (NMP/100mL)		1,14E+05	214	1,84E+04	1,83E+04	5,03E+05	5,00E+02
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)		1,58E+04	134	4,24E+03	3,93E+03	5,00E+04	5,00E+02
Cobre ($\mu\text{g/kg}$)	20	26,22	157	16,7	8,5	107	5
Níquel ($\mu\text{g/kg}$)		25,42	63	40,1	34,0	102	10
Chumbo ($\mu\text{g/kg}$)		11,5	28	41,8	40,0	70	30
Zinco ($\mu\text{g/kg}$)		29,42	91	32,2	20,0	107	10
Nitrito (mg/L)		0	0	0,000	0	-	-
Nitrato (mg/L)		0,03	190	0,014	0	0,10	0
Fosfato (mg/L)		0,09	248	0,037	0	0,29	0

- =não detectado

As concentrações médias obtidas para metais pesados nos sedimentos de fundo foram de 16,7 µg/kg (Cu); 40 µg/kg (Ni); 41,8 µg/kg (Pb); 32,2 µg/kg (Zn). Em um estudo semelhante Skordas et al. (2014) avaliaram a concentração biodisponível de metais pesados nos sedimentos de leito no reservatório Karla, situado na região central da Grécia

As concentrações obtidas para metais pesados nos sedimentos de fundo do arroio Cancela-Tamandaí variaram de 5,0 a 107 µg/kg (Cu); 10 a 102 µg/kg (Ni); 30 a 70 µg/Kg (Pb); 10 a 107 µg/Kg (Zn). Em comparação com as concentrações encontradas por Skordas et al. (2014) observa-se ampla diferença com os resultados obtidos na bacia Cancela-Tamandaí, este fato deve-se as diferenças entre o ambiente lântico e lótico. O arroio cancela-Tamandaí por apresentar maior movimentação da massa líquida, bem como de poluentes obteve concentrações de metais pesados biodisponíveis menores em relação ao reservatório.

Os parâmetros analisados na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí apresentaram ampla variabilidade nos resultados. Os parâmetros avaliados que apresentaram maior variabilidade foram CE 59%, DBO 108%, DQO, 100%, CT 214%, *E. coli* 134%, Cobre 157%, Nitrato 190% e fosfato 248%, ilustrados na figura 15.

Na sub bacia hidrográfica do Rio Attert Carreras et al. (2012) também avaliaram a concentração de metais pesados e nutrientes nos sedimentos de leito na fração <63 µm. Devido à litologia arenito presente na sub-bacia, onde, o leito do canal é formado com areia, 40% do sedimento em suspensão transportados é >63µm. O semelhante ocorre na bacia Cancela-Tamandaí, apresentando em sua composição granulométrica maiores frações areia, ou seja, > 63µm.

Para Carreras et al. (2012), as concentrações mínimas de Cu, Ni, Pb e Zn foram encontradas em áreas com predominância de florestas, no que diz respeito as concentrações máximas foram registradas em áreas mistas (pastagens, lavouras, urbanas).

De acordo com Lincoln et al. (2007), Wong et al. (2007), Terazono et al. (2006), Dagan et al. (2007), Darrie (2001); CDC (2003); Charlesworth et al. (2003); Golding (2006); Santos et al. (2006) e Taylor (2007) estes poluentes são encontrados em bacias rurais e urbanas, porém com mais frequência em áreas

urbanas. A bacia Cancela-Tamandaí é caracterizada como bacia urbana, apresentando, também, pequenas áreas mistas de campos e vegetação arbórea.

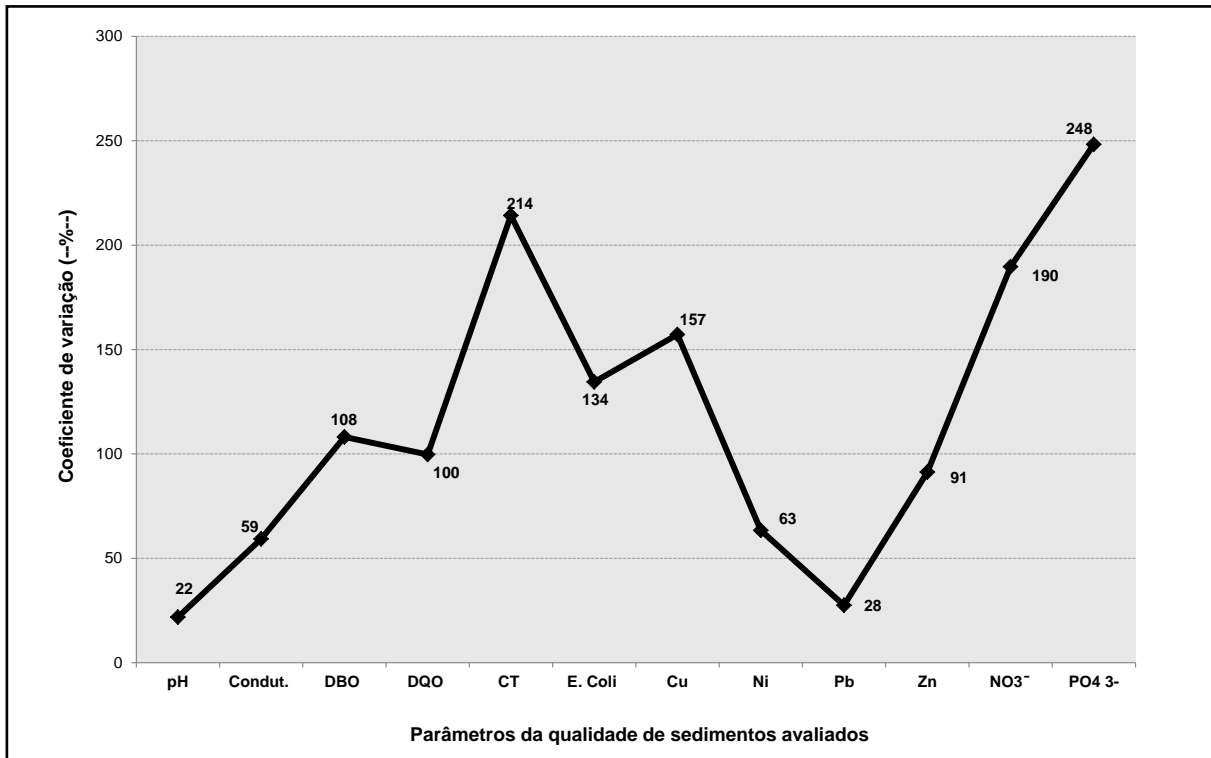


Figura 15 - Coeficiente de variação (CV) em tempo seco para os parâmetros de qualidade do sedimento de fundo na bacia Cancela-Tamandaí

5.4.2 Comparação dos resultados obtidos para metais pesados biodisponíveis com os valores de referência para sedimentos de fundo

Ressalta-se que a concentração de metais pesados nos sedimentos, nas legislações brasileira e internacional é dada em unidade de material seco, ou seja, mg/kg ou µg/kg. Diante disto, para cada campanha de coleta realizada foram determinadas as concentrações de cada metal pesado, para a massa seca obtida em cada amostra.

Salienta-se que a legislação brasileira é baseada na norma internacional, com concentrações limítrofes iguais. Os resultados obtidos referentes a metais (Cu, Ni,

Pb e Zn) e nutrientes (nitrito, nitrato e fosfato) foram confrontados com as diretrizes para qualidade de sedimentos internacional (instituto do meio ambiente do Canadá- Environmental Canada, 2002) e nacional (resolução CONAMA nº 454/2012), como mostrado na figura 16.

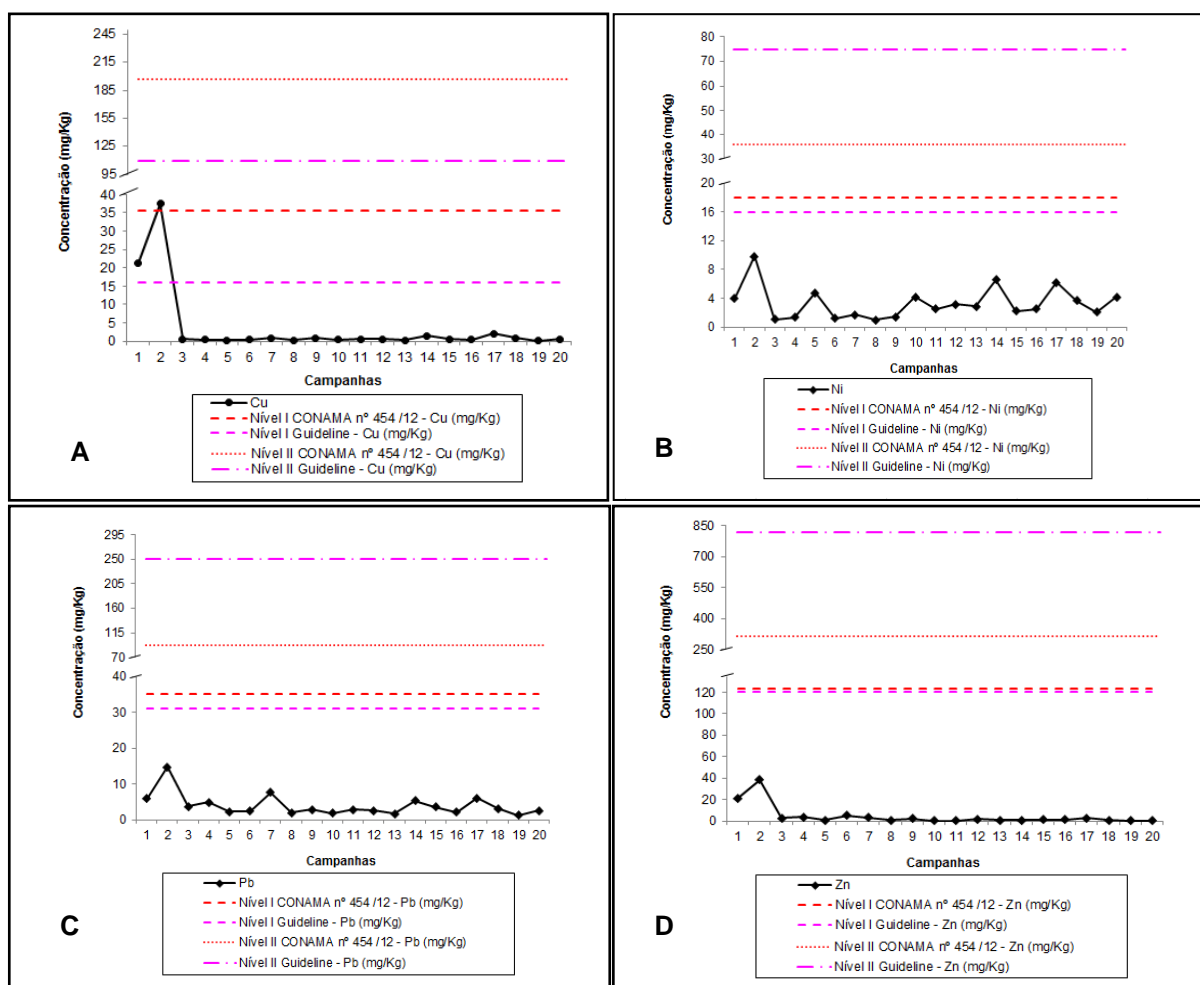


Figura 16 - A, B, C e D: Concentrações biodisponíveis de metais pesados obtidas nos sedimentos de fundo em comparação com os níveis estabelecidos na resolução CONAMA nº 454/2012 e pelas diretrizes ambientais do IMAC, para efeitos adversos a biota aquática

Das 20 campanhas realizadas, a amostra referente à segunda campanha apresentou concentração biodisponível de cobre (37,39 mg/kg) acima do limite permitido pelas legislações para o nível I (35,7 e 16 mg/kg para CONAMA nº 454/2012 e IMAC, respectivamente). O restante das amostras coletadas não

apresentaram concentrações de metais pesados biodisponíveis acima dos limites para os níveis I e II estabelecidos pela legislação brasileira e internacional.

Apesar das amostras de sedimento de fundo, durante o estudo, na maioria não extrapolarem as concentrações limítrofes estabelecidas, destaca-se a periculosidade dos metais pesados.

Zhang et al. (2014) salientam em seu estudo que os metais pesados são altamente tóxicos, persistentes e bioacumulados no meio ambiente. De acordo com Javed e Usmani (2014) elementos como Cu, Ni, Pb e Zn são considerados os mais perigosos para ecossistema aquático pelos estudos toxicológicos, particularmente tóxicos para animais aquáticos e humanos.

A figura 17 ilustra as concentrações biodisponíveis máximas, mínimas, medianas, bem como as concentrações anômalas de Cu, Ni, Pb e Zn, encontradas na fração dos sedimentos de fundo <63 μm , durante o estudo.

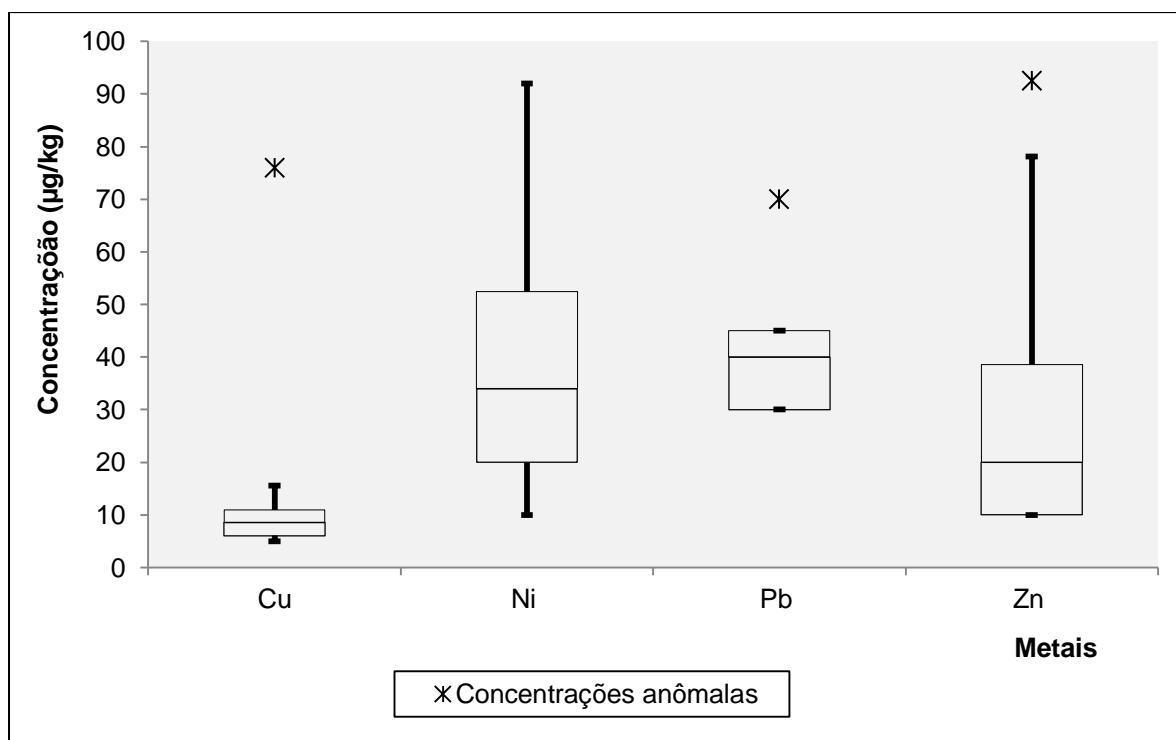


Figura 17 – Concentrações biodisponíveis máximas, mínimas, medianas e anômalas obtidas para Cu, Ni, Pb e Zn obtidas nos sedimentos de fundo.

Observou-se que as concentrações de Cu possuíram menor dispersão, ou seja, durante o período de estudo as concentrações obtidas foram similares entre si.

As concentrações de Ni, Pb e Zn apresentaram maior dispersão durante o período de estudo. No entanto concentrações anômalas, concentrações acima do limite superior, foram observadas em todos os metais pesados analisados.

A resolução CONAMA nº 454/12 e a diretriz internacional (utilizada pelo instituto do meio ambiente do Canadá) não dispõem de concentrações máximas para os nutrientes analisados neste estudo.

Antunes et al. (2013) avaliaram o conteúdo de nutrientes em amostras de sedimentos de fundo em um afluente da bacia hidrográfica Taquari-Antas, com características de área rural. As altas concentrações de nutrientes justificam-se pela predominância de bacia rural, onde, há uma maior quantidade de vegetação em ambas as margens do córrego, fornecendo lignina para o ambiente aquático, enquanto a vegetação ripária e aquática pode fornecer celulose.

Diante disto, as baixas concentrações de nutrientes, na parcela biodisponível, (nitrito, nitrato e fosfato) obtidas no sedimento de fundo na bacia Cancela-Tamandaí são resultado da predominância de características urbanas, ou seja, grande número de áreas impermeáveis, e pouca vegetação, principalmente nas margens do arroio.

5.4.3 Granulometria das amostras dos sedimentos de fundo

A análise estatística de desvio padrão (σ), coeficiente de variação (---%---), média (μ), máximo e mínimo da granulometria dos sedimentos de fundo são mostrados na tabela 13.

Tabela 13 - Desvio Padrão (σ), coeficiente de variação (---%---), máximo e mínimo referente a granulometria dos sedimentos de fundo do arroio Cancela-Tamandaí (Continua)

Faixa granulométrica	DP (σ)	CV(---%---)	Frações (%)		
			Máximo	Média (μ)	Mínimo
500 μ m	13,67	25	78,71	54,80	17,33

Tabela 13 - Desvio Padrão (σ), coeficiente de variação (--%--), máximo e mínimo referente a granulometria dos sedimentos de fundo do arroio Cancela-Tamandaí (Conclusão)

Faixa granulométrica	DP (σ)	CV(--%--)	Frações (%)		
			Máximo	Média (μ)	Mínimo
63 μm	2,61	52	12,83	5,05	0,32
Fração < 63 μm	0,20	54	0,86	0,36	0,03

A granulometria das amostras de sedimentos de fundo para a fração maior ou igual a 500 μm variou de 17,33% a 78,71%, de 69,26% a 17,56% variou a fração menor ou igual a 250 μm , a fração maior ou igual a 63 μm variou de 0,32% a 12,83% e a fração fina (< 63 μm), em média foi de 0,36% do total da amostra coletada.

A curva granulométrica do sedimento de fundo é ilustrada na figura 18.

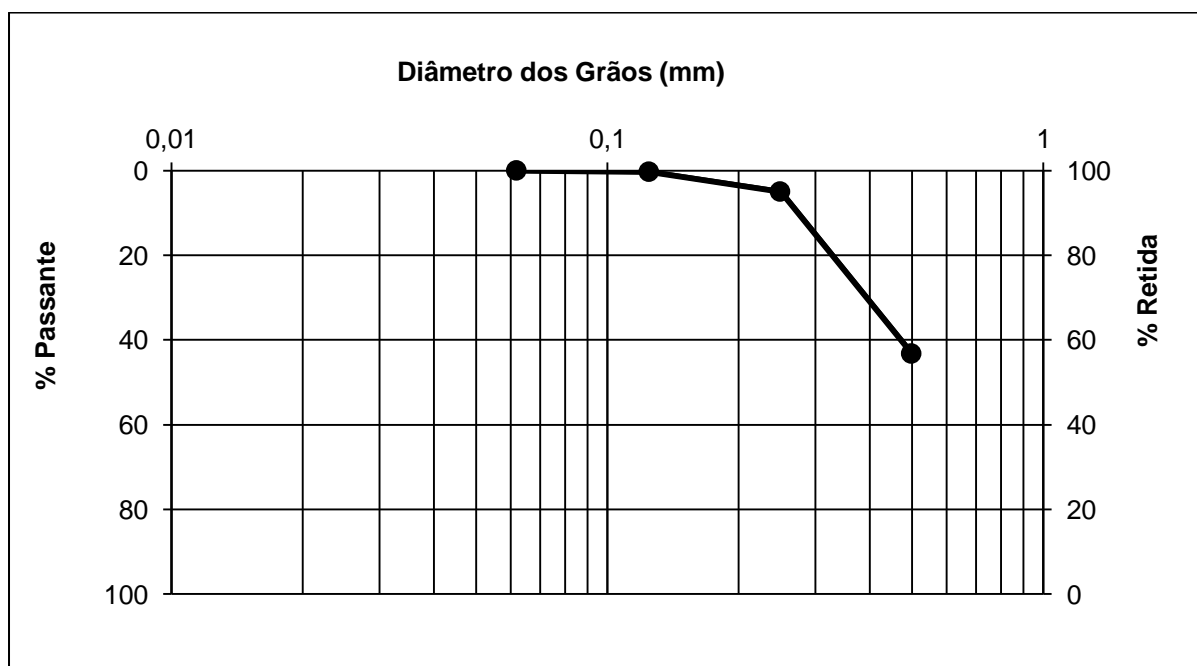


Figura 18 – Curva granulométrica do sedimento de fundo obtida durante o período de estudo

As amostras de sedimento de fundo foram classificadas utilizando a escala Wentworth, onde as partículas são classificadas de acordo com faixas

granulométricas, classificação também utilizada pela resolução CONAMA nº 454/12 e pelo Instituto do Meio Ambiente do Canadá.

As classificações granulométricas dos sedimentos de fundo da bacia Cancela-Tamandaí são mostradas na tabela 14.

Tabela 14 - Classificação do tamanho das partículas por meio da escala de Wentworth. Fonte: Adaptado de Bartram e Ballance (1996).

Frações	Faixa de diâmetro dos grãos	Peso (%)
Areia grossa	(1000 μm - 500 μm)	54,80
Areia média	(500 μm - 250 μm)	39,79
Areia fina	(250 μm - 63 μm)	5,05
Silte, argila	(<63 μm)	0,36

Face ao exposto o material de leito do arroio Cancela-Tamandaí é caracterizado como arenoso. As frações predominantes foram de areia grossa e média.

6.4.4 Avaliação dos sedimentos em suspensão

A partir das amostras coletadas, por meio do amostrador ANA, avaliou-se a concentração dos sedimentos em suspensão durante os eventos. As concentrações de sedimentos em suspensão variaram de 1.367 a 1.723 mg/L, apresentando média de 1.554 mg/L, como ilustra a figura 19.

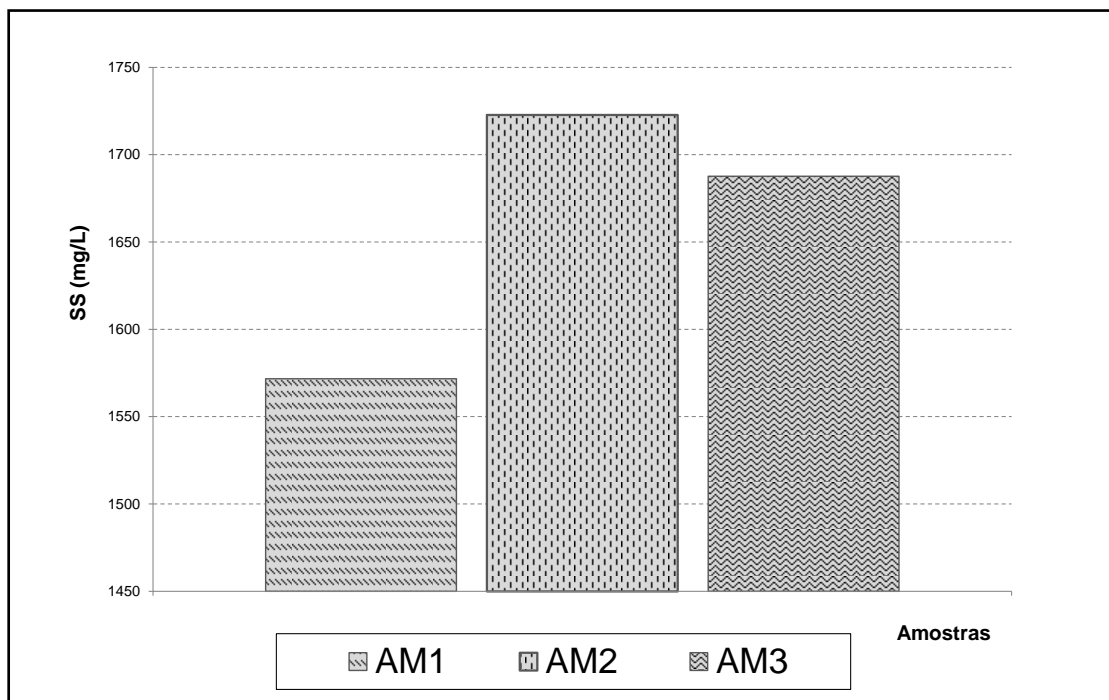


Figura 19 - Variação média da concentração dos sedimentos em suspensão nas amostras AM1, AM2 e AM3 durante o estudo

Observou-se que a distribuição dos sedimentos aumenta até o ápice do evento, posteriormente as concentrações tendem a diminuir, porém, sem apresentarem grandes variações. Onde independente do evento, AM1 é referente às primeiras garrafas, AM2 referente às garrafas intermediárias e AM3 referente às garrafas das cotas mais altas, coletadas pelo amostrador ANA.

De acordo LI et al. (2000) a concentração de sedimentos na direção vertical apresenta distribuição estável quando as partículas de sedimento possuem movimento aleatório devido à turbulência do fluxo. Situação semelhante foi obtida para as concentrações de sólidos em suspensão na bacia Cancela-Tamandaí, onde, após o pico do evento, com grande turbulência devido ao aumento da vazão e da velocidade do escoamento, as concentrações não apresentaram grande variação no seu comportamento.

Arias et al. (2013) avaliaram a concentração de sedimentos em suspensão em uma bacia hidrográfica na cidade de Gainesville-Florida, a bacia estudada apresentava 15% do total de sua área composta por área impermeável. A concentração média obtida foi de 33,1 mg/L, quando comparada a concentração

média dos sedimentos em suspensão encontrados na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí observa-se grande variabilidade nesta concentração.

Diante disto, observou-se que o uso do solo tem grande influência no carreamento das partículas e poluentes, pois na bacia Cancela-Tamandaí apresenta metade de sua área composta por áreas impermeáveis, acarretando em altas concentrações de sedimentos em suspensão durante os eventos.

Os metais pesados podem ser transportados de modo direto ou indireto para o ambiente aquático, por meio de partículas ou dissolvidos na água (WANG, 2011). Diante do exposto, a concentração de poluentes nos sedimentos em suspensão, na bacia de estudo, foi realizada indiretamente por meio das amostras oriundas do amostrador ANA.

A variação na concentração média dos sólidos suspensos e dos metais pesados durante a passagem da onda de cheia é mostrada na figura 20. Observou-se que a concentração de metais pesados apresenta comportamento contrário ao dos sedimentos em suspensão, a partir da AM2, em que a concentração de sólidos em suspensão apresenta declínio, contrariamente a concentração dos metais pesados.

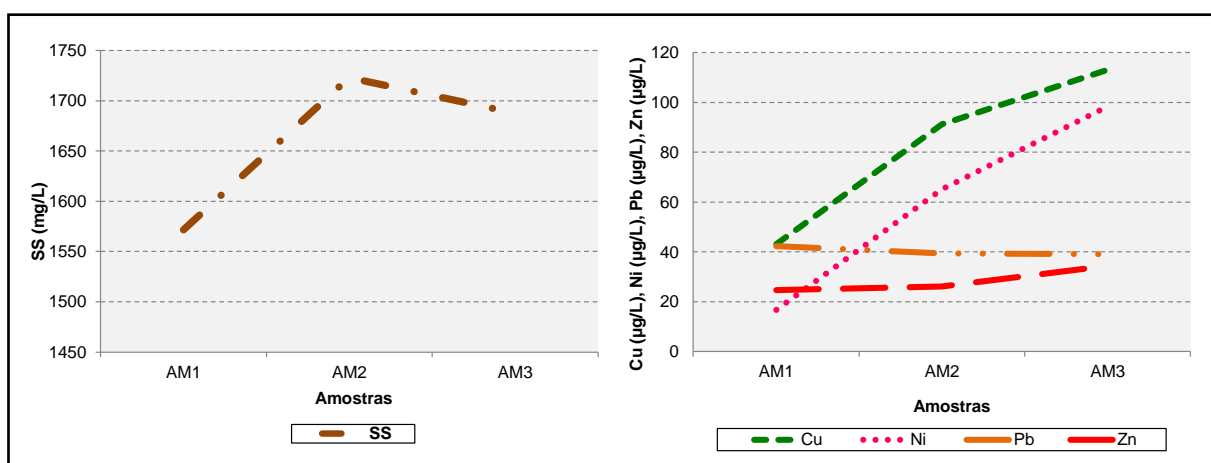


Figura 20 - Variação média da concentração dos sólidos suspensos e dos metais pesados presentes nos sedimentos em suspensão nas AM1, AM2 e AM3 durante o estudo

A concentração máxima de Cu, Ni, e Zn, ocorreu na amostra AM3, com exceção para o Pb, este apresentou um comportamento constante ao longo do evento.

O aumento gradativo da concentração dos metais pesados pode estar relacionado com os sedimentos depositados no leito do arroio, com o aumento da vazão e do turbilhonamento da água os sedimentos de leito são ressuspensos. Assim, os metais pesados ligados às partículas dos sedimentos ressuspensos são somados aos sedimentos em suspensão carregados pelo escoamento gerado no evento.

Reações entre água e o sedimentos de leito ocorrem com frequência, causando significativa ressuspensão e sedimentação, onde, os poluentes adsorvidos pelos sedimentos fluviais são liberados para a água por meio da ressuspensão dos sedimentos de leito, grande parte da carga suspensa é sedimento fino, enquanto que as partículas grosseiras caem gradualmente à medida que a velocidade de sedimentação aumenta (ATHANASIOS et al., 2008; LUCA et al. 2013).

Zhu et al. (2014) avaliaram o processo de liberação dos poluentes nos sedimentos em suspensão durante o processo de transporte nos corpos hídricos, constataram que a distribuição de sedimentos deveu-se principalmente à difusão turbulenta. Esta constatação vem de encontro com o observado na seção Cancela-Tamadaí, onde, as concentrações elevadas de metais pesados foram obtidas para as cotas mais altas (de 0,99 a 1,50 m), apresentando maior vazão e maior turbilhonamento da água.

6.4.4.1 Comparação dos resultados obtidos com a diretriz brasileira e internacional (IMAC) vigente.

Assim como os resultados obtidos para os sedimentos de fundo as concentrações encontradas para os sedimentos em suspensão, ilustrados na figura 21, também foram confrontadas com as diretrizes para qualidade de sedimentos internacional (diretrizes do IMAC) e nacional (resolução CONAMA nº 454/2012), referentes a metais (Cu, Ni, Pb e Zn) e nutrientes (nitrito, nitrato e fosfato).

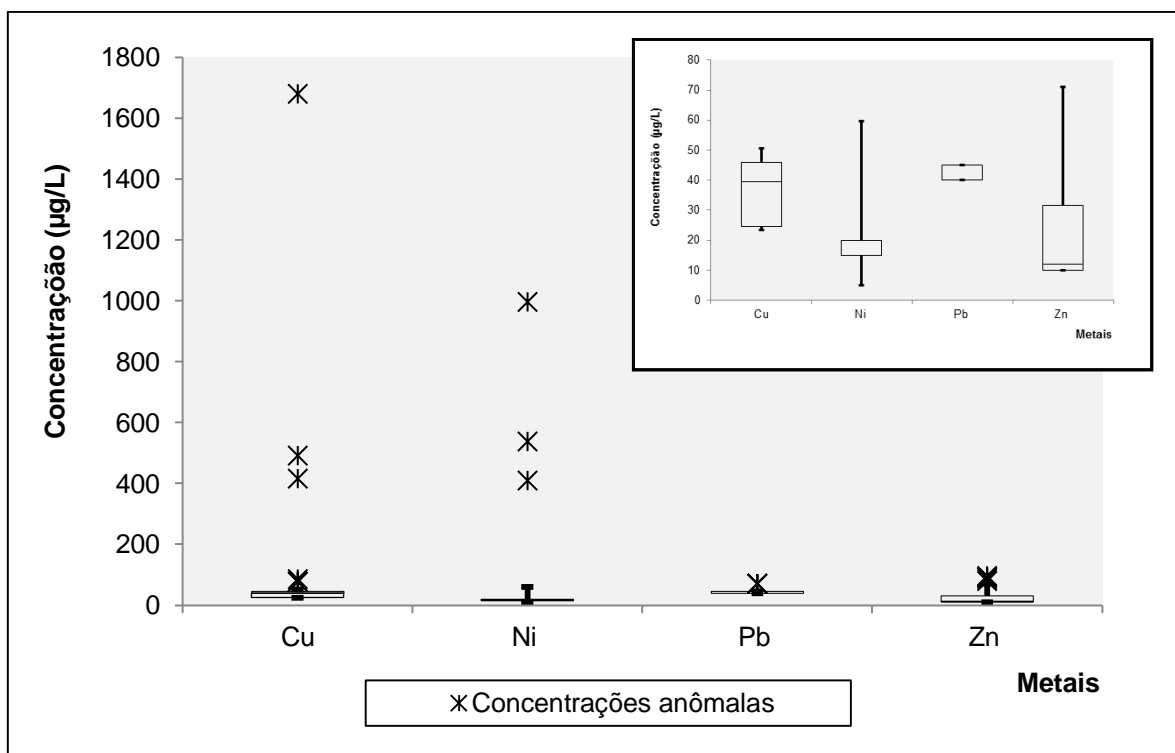


Figura 21 - Concentrações máximas, mínimas, medianas e anômalas obtidas para Cu, Ni, Pb e Zn obtidas nos sedimentos em suspensão

Observa-se que, no detalhe da figura 21, que as concentrações de Ni e Pb não apresentaram dispersões significativas, quando comparadas com as de Cu e Zn, que apresentaram dispersões significativas durante o estudo. Os metais pesados analisados nos sedimentos em suspensão, assim como os sedimentos de fundo, não apresentaram concentrações acima dos limites brasileiros e internacionais vigentes, porém, concentrações anômalas (concentrações acima do limite superior) foram encontradas para todos os metais pesados analisados, apresentando concentrações anômalas, frequentemente para Cu e Ni.

Como mencionado anteriormente, a resolução CONAMA nº 454/12 e as diretrizes internacionais (Canadá) não dispõem de concentrações máximas para os nutrientes analisados neste estudo.

6.5 Análise das características de eventos de precipitação

Os dados de duração do evento (min), vazão máxima, mínima e média (m^3/s), precipitação (mm), intensidade da precipitação (mm/min), volume escoado (m^3) e período de tempo seco antecedente (dia) dos eventos estão na tabela 15.

Tabela 15 - Vazões máximas, mínimas e médias (m^3/s), intensidade da precipitação (mm/min), precipitação, precipitação efetiva(m), volume escoado (m^3) e período tempo seco antecedente (dia) dos eventos na bacia Cancela-Tamandaí

Data do Evento	Duração do evento	$Q_{máx}$ (m^3/s)	$Q_{mín}$ (m^3/s)	$Q_{méd}$ (m^3/s)	P (mm)	$I_{máx}$ (mm/min)	$V_{escoado}$ (m^3)	PTSA* (dia)
14/02/2013	291	5,615	0,081	0,891	78,20	1,60	4.115.929	-
03/03/2013	97	5,053	0,100	0,696	28,76	1,19	148.899	2
08/03/2013	289	0,907	0,096	0,607	24,79	0,95	2.047.271	-
12/03/2013	211	10,150	0,112	3,653	44,06	1,33	10.936.747	-
13/05/2013	70	0,605	0,078	0,335	7,600	0,60	90.681	5
18/07/2013	343	2,608	0,145	0,729	32,20	1,00	6.653.288	3
24/08/2013	192	0,990	0,387	0,721	11,40	0,20	1.525.862	7
21/10/2013	121	7,360	0,053	2,787	40,40	1,60	2.395.257	7
11/11/2013	119	19,073	0,324	5,607	26,00	2,20	5.591.235	1
19/11/2013	153	6,409	0,105	1,525	25,60	1,80	2.007.725	2
26/11/2013	88	5,071	0,219	1,243	13,40	2,40	584.451	3
01/12/2013	142	0,712	0,102	0,285	8,80	0,60	238.840	3
14/01/2014	153	5,079	0,111	0,931	18,31	1,79	1.314.022	2
01/02/2014	13	0,704	0,151	0,229	7,40	1,60	4.964	1
25/02/2014	148	6,322	0,084	1,186	20,00	1,20	1.689.905	1
26/02/2014	76	2,206	0,451	1,065	10,60	0,60	326.519	-
17/03/2014	421	11,792	0,120	3,018	75,34	1,43	31.287.667	-

PTSA* = Período de tempo seco antecedente;

- = não houve período de tempo seco, considerando 7 dias o PTSA máximo registrado

De acordo com a análise a vazão máxima ocorreu no evento do dia 11/11/2013, registrando 26 mm em 119 minutos de evento, apresentando intensidade máxima de 2,20 mm/min e período de tempo seco antecedente de um dia. A vazão mínima observada foi de 0,053 m^3/s , registrada no evento de 21/10/2013, com precipitação de 40,40 mm em período de tempo seco antecedente de sete dias.

Kim et al. (2004); Berreta e Sansalone (2011); Huang et al. (2011); Jung et al. (2013) realizaram estudos para avaliar o escoamento pluvial em áreas urbanas. Kim et al. (2004) monitoraram 25 eventos, distribuídos em seis locais na cidade de Los Angeles. Este estudo apresentou eventos que variaram de 60 a 1.266 min, a precipitação variou de 2,8 mm a 156 mm, as intensidades máximas observadas

variaram de 0,025 a 0,537 mm/min, o volume escoado variou de 8 m³ a 1.420 m³ e a vazão máxima variou de 2 m³ a 1.673 m³.

Berretta e Sansalone (2011) avaliaram 15 ventos na cidade de Gainesville localizada no estado da Florida-EUA. A bacia hidrográfica apresenta predominância de pavimentos impermeáveis, asfaltos, e algumas parcelas com a presença vegetação. A duração dos eventos variou de 6 a 226 min, a precipitação apresentou variações de 1,8 mm a 74 mm, as intensidades máximas registradas variaram de 0,15 mm/min a 2,33 mm/min, o volume escoado variou de 0,308 m³ a 31, 27 m³, consequentemente a vazão máxima variou de 0,00075 m³/s a 0,013 m³/s.

No estudo realizado por Huang et al. (2011) foram monitorados 10 eventos pluviométricos em uma micro bacia urbana, em Xiamen-China. As características hidrológicas variaram de: 65 min a 286 min de duração do evento; 0,029 mm/min a 0,109 mm/min para intensidade máxima e de 2,89 m³ a 79 m³ para o volume escoado durante os eventos monitorados.

Jung et al. (2013) monitoraram dez eventos pluviométricos na cidade de Gwangju-Coreia. A bacia monitorada era composta por 36 % de áreas pavimentadas (impermeáveis) e 64 % de áreas com cobertura vegetal (permeáveis). A duração dos eventos monitorados variou de 108 min a 948 min, a precipitação apresentou variações de 5 mm a 191 mm, as intensidades máximas obtidas variaram de 0,006 mm/min a 0,186 mm/min.

De modo análogo observou-se que assim como no estudo realizado por Kim et al. (2004); Berretta e Sansalone (2011); Huang et al. (2011); Jung et al. (2013) os eventos monitorados na bacia Cancela-Tamandaí também apresentaram grande variabilidade em suas características hidrológicas. As concentrações médias dos poluentes nos eventos analisados estão inseridas na tabela 16, como também a média, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão.

Para o cálculo das concentrações foram coletados pontos iniciais (tempo seco) e finais de coleta no dia mais próximo ao evento (ilustrados nos hidrogramas do Apêndice B). O início e o fim do evento se baseiam em comparação com o tempo seco (MÉTADIER e BERTRAND-KRAJEWSKI, 2012).

Tabela 16 - Concentração média dos eventos, CME, para os parâmetros de qualidade da água, na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí

Evento	PTSA (dia)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100)	Q _{máx} (m ³ /s)
14/02/2013	-	971	256	210	47	140	5,15E+06	1,58E+06	5,615
03/03/2013	2	177	884	338	220	177	3,02E+07	1,80E+05	5,053
08/03/2013	-	1.062	903	159	137	200	1,06E+06	3,07E+05	0,907
12/03/2013	-	6.800	3.714	3.085	263	272	5,03E+05	1,32E+05	10,150
13/05/2013	5	541	262	279	152	244	168647,112	8,12E+04	0,605
18/07/2013	3	841	496	345	98	266	7,93E+05	9,18E+04	2,608
24/08/2013	7	454	347	107	129	382	1,41E+06	7,04E+04	0,990
21/10/2013	7	2.161	1.616	544	259	320	2,14E+07	3,48E+04	7,360
11/11/2013	1	12.333	5.488	6.845	91	208	5,67E+05	1,26E+05	19,073
19/11/2013	2	15.331	774	14.557	207	340	6,51E+05	1,10E+05	6,409
26/11/2013	3	5.584	3.756	1.828	341	519	2,15E+06	3,83E+05	5,071
01/12/2013	3	1.224	1.017	207	180	572	7,39E+05	1,23E+05	0,712
14/01/2014	2	1.138	951	187	45	163	7,14E+06	3,63E+05	5,079
01/02/2014	1	1.575	1.006	569	295	483	1,64E+06	5,90E+04	0,704
25/02/2014	1	1.477	987	490	110	192	1,87E+06	1,70E+05	6,322
26/02/2014	-	221	932	485	153	197	3,83E+06	2,71E+05	2,206
17/03/2014	-	3.295	1.975	1.320	378	392	2,16E+06	9,55E+04	11,792
MÉDIA		3.246	1.492	1.856	183	298	1,85E+06	1,52E+05	5,333
MÁXIMO		15.331	5.488	14.557	378	572	3,02E+07	1,58E+06	19,073
MÍNIMO		177	256	107	45	140	1,69E+05	3,48E+04	0,605
MEDIANA		1.224	951	485	153	266	1,64E+06	1,26E+05	5,071
D. PADRÃO		4.414	1.462	3.677	98	132	8,26E+06	3,61E+05	4,880

- = não houve período de tempo seco, considerando 7 dias o PTSA máximo registrado

A concentração média nos eventos analisados para sólidos totais foi de 3.246 mg/L variando de 177 mg/L (03/03/2013) a 15.331 mg/L (19/11/2013). O evento do dia 19/11/2013 com maior concentração de sólidos não foi o evento de maior precipitação para carrear quantidade elevada de sedimento, porém foi o terceiro evento de maior intensidade de precipitação ($I_{\text{máx}} = 1,80$), devido à força da intensidade, todo material disponível nas superfícies foi carreado juntamente com os sedimentos dos taludes dos rios.

Avaliando o conteúdo orgânico dos eventos, a DBO variou de 378 mg/L a 45 mg/L com mediana de 153 mg/L. A máxima DBO ocorreu no evento do dia 17/03/2014, foi o evento com maior duração (421 min), neste evento a precipitação registrada foi, em magnitude, a segunda maior obtida durante o monitoramento (75,34 mm), obtendo o maior volume escoado de 32.091.652 m³ durante o monitoramento.

A avaliação da CME vem sendo objeto de estudo de vários trabalhos, como nos estudos de Huang et al. (2011); Jung et al. (2013); Chow e Yusop (2014) avaliaram as concentrações médias de poluentes no escoamento urbano.

Huang et al. (2011), estudaram a qualidade do escoamento de uma micro bacia urbana, com predomínio de cobertura vegetal no município de Xiamen-China. As CMEs obtidas no período de monitoramento foram de: 21,51 mg/L para SS; 56,09 mg/L para DQO; 1,46 mg/L para $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$; 0,0057 mg/L para Cu; 0,0021 mg/L para Pb; 0,0899 mg/L para Zn.

Jung et al. (2013) monitoraram um bacia urbana composta áreas pavimentadas e áreas com cobertura vegetal. As CMEs registradas nos eventos variaram de 4,2 mg/L a 54,8 mg/L para DQO; 22,3 mg/L a 138,4 mg/L para SS. Quando às concentrações em tempo seco foram confrontadas com as CMEs observou-se que há redução na concentração de poluentes. Isto se deve ao fato de que a matéria orgânica e os SS, que seriam acumulados nas áreas impermeáveis e posteriormente carregados para o corpo hídrico durante o escoamento superficial, ficaram retidos nas áreas permeáveis.

O contrário foi observado na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí, em que 51% da área total da bacia é impermeável e 17,22% da área apresenta cobertura vegetal. Estas características de uso do solo influenciam diretamente a qualidade do escoamento pluvial, pois, favorecem o acúmulo e deposição de poluentes que posteriormente serão carregados para os corpos hídricos.

Chow e Yusop (2014) avaliaram as CMEs em áreas residenciais e comerciais na cidade de Johor, na Malásia, obtendo 277 mg/L para SS, 134 mg/L para DBO, 347 mg/L para DQO, 0,022 mg/L para NO_2^- , e 1,68 mg/L para NO_3^- .

Assim como nos estudos de Huang et al. (2011); Jung et al. (2013); Chow e Yusop (2014) as CMEs observadas na bacia Cancela-Tamandaí também apresentaram ampla variabilidade entre os eventos monitorados. As amplas distribuições de CMEs dependem das características hidrológicas dos eventos, como o volume da precipitação, intensidade, período antecedente de tempo seco e volume do escoamento (KIM et al., 2004).

A tabela 17 mostra as CMEs bem como, média, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão para nutrientes e metais pesados para a bacia hidrográfica Cancela-

Tamandaí, salienta-se que por questões de custos laboratoriais as análises foram realizadas para eventos a partir de 18/07/2013.

Tabela 17 - Concentração média dos eventos, CME, para nutrientes e metais, na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí.

Evento	PTSA (dia)	Cu (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Q _{máx}
14/02/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03/03/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08/03/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12/03/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13/05/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18/07/2013	3	20	20	32	90	0,28	1,18	0,23	2,56
24/08/2013	7	81	19	66	79	0,01	1,91	0,27	0,96
21/10/2013	7	1687	519	44	22	0,01	2,33	0,11	7,30
11/11/2013	1	44	20	40	11	0,05	1,23	0,09	19,00
19/11/2013	2	44	20	40	42	0,04	0,90	0,02	6,31
26/11/2013	3	26	10	52	14	0,14	0,41	0,22	4,96
01/12/2013	3	46	12	46	10	0,26	0,01	0,04	0,62
14/01/2014	2	35	12	30	20	0,13	0,99	0,15	4,97
01/02/2014	1	40	20	47	10	0,25	1,21	0,11	0,56
25/02/2014	1	45	14	45	10	0,00	1,14	0,11	6,26
26/02/2014	-	67	15	45	10	0,05	1,74	0,02	2,08
17/03/2014	-	33	20	40	10	0,01	0,55	0,04	11,72
MÉDIA		181	58	44	27	0,10	1,13	0,12	5,61
MÁXIMO		1687	519	66	90	0,28	2,33	0,27	19,00
MÍNIMO		20	10	30	10	0,00	0,01	0,02	0,56
MEDIANA		44	19	45	12	0,05	1,16	0,11	4,97
D. PADRÃO		475	145	9	28	0,11	0,65	0,09	5,35

“-“: não foram determinadas

Avaliando as CMEs de metais pesados, observa-se que para Cu e Ni a ocorrência em 21/10/2013, 1.687 mg/L e 519 mg/L, respectivamente. Para o poluente Pb a concentração máxima ocorreu no evento de 24/08/2013. O período de tempo seco antecedente registrado nestes eventos foi de sete dias, favorecendo o acúmulo de material em ruas e na drenagem urbana.

Quanto aos padrões ambientais da resolução CONAMA 357/05 os metais pesados cobre e chumbo ultrapassaram o limite estabelecido para Classe III, 0,013 mg/L e 0,033 mg/L, respectivamente. Em relação aos nutrientes estudados, todos apresentaram concentrações abaixo dos valores limítrofes, porém, vale ressaltar que a concentração mediana de fosfato (0,11 mg/L) está próxima do limite estabelecido na resolução CONAMA nº 357/05 (0,15 mg/L), para as águas de Classe III.

6.5.1 Análise do escoamento superficial

Com os parâmetros de CME e dados hidrológicos de vazões médias, máximas e mínimas (m^3/s), volume escoado (m^3) e período de tempo seco antecedente (dias), dos eventos analisados, pode-se correlacionar os dados com análise de correlação de Pearson (r). Os valores estatísticos estão detalhados na matriz de correlação, representados na tabela 18.

Analisando a matriz de correlação de Pearson (r) observou-se que sólidos totais e sólidos dissolvidos obtiveram correlação positiva ($r=0,96$), como também, sólidos totais e DQO ($r=0,60$), sólidos totais e NO_2^- ($r=0,60$), sólidos totais e NO_3^- ($r=0,78$), sólidos totais e vazão máxima ($r=0,60$), sólidos totais e intensidade máxima ($r=0,61$), sólidos suspensos e vazão máxima ($r=0,78$), sólidos suspensos e vazão média ($r=0,80$), sólidos suspensos e intensidade máxima ($r=0,68$), sólidos dissolvidos e NO_3^- ($r=0,81$), DBO e colif. totais ($r=0,89$), DQO e NO_2^- ($r=0,60$), DQO e NO_3^- ($r=0,68$), Cu e Ni ($r=0,67$), Cu e período de tempo seco antecedente ($r=0,60$), Ni e período de tempo seco antecedente ($r=0,60$), NO_2^- e PO_4^{3-} ($r=0,95$), vazão máxima e vazão média ($r=0,96$) e precipitação e volume escoado, também obtiveram correlação positiva ($r=0,89$).

As correlações de sólidos totais e vazão máxima ($r=0,60$), sólidos suspensos e vazão máxima ($r=0,78$), sólidos suspensos e vazão média ($r=0,80$), precipitação e volume escoado ($r=0,89$) evidenciam que à medida que aumenta a precipitação, aumenta o volume escoado, aumentando a concentração de sedimentos no corpo hídrico.

A correlação forte entre sólidos dissolvidos e NO_3^- ($r=0,81$) já era esperada, pois os sólidos dissolvidos são os principais constituintes responsáveis pelo transporte do poluente. As fortes correlações entre DBO e colif. totais ($r=0,89$), DQO e NO_2^- ($r=0,60$), DQO e NO_3^- ($r=0,68$), NO_2^- e PO_4^{3-} ($r=0,95$) mostraram que o corpo hídrico recebe, durante a passagem da onda de cheia, grande aporte de poluentes. Este fato deve-se ao acúmulo de resíduos sólidos nas vias urbanas, a presença de efluentes domésticos na drenagem urbana e ao lançamento inadequado destes efluentes, que sem o tratamento prévio ocasionam degradação da qualidade da água do Arroio Cancela-Tamandaí.

As correlações dos metais pesados, Cu e período de tempo seco antecedente ($r=0,60$), Ni e período de tempo seco antecedente ($r=0,60$), ressaltam a ocorrência de acumulação de poluentes nas ruas e na drenagem urbana, que posteriormente durante os eventos são carregados para os corpos d'água.

Tabela 18 - Correlação de Pearson (r) para os parâmetros hidrológicos e concentração média dos eventos, CME, na bacia Cancela-Tamandaí

Correlação	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	CT (NMP/100mL)	E. C (NMP/100mL)	Cu (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{min} (m ³ /s)	Q _{méd} (m ³ /s)	P (mm)	I _{máx} (mm/min)	V _{esc} (m ³)	PTSA (dia)	
ST (mg/L)	1																					
SS (mg/L)	-0,12	1																				
SD (mg/L)	0,96	0,05	1																			
DBO (mg/L)	0,55	-0,43	0,44	1																		
DQO (mg/L)	0,60	-0,20	0,50	0,19	1																	
CT (NMP/100mL)	0,43	-0,18	0,32	0,89	0,00	1																
E.C (NMP/100mL)	0,40	0,14	0,52	-0,15	0,18	-0,25	1															
Cu (µg/L)	0,02	0,03	-0,02	0,41	0,28	0,42	-0,24	1														
Ni (µg/L)	-0,35	0,07	-0,33	-0,09	-0,03	0,04	-0,01	0,67	1													
Pb (µg/L)	0,05	-0,25	0,10	0,23	0,13	-0,11	0,10	0,12	-0,17	1												
Zn (µg/L)	-0,06	-0,07	-0,16	-0,30	0,32	-0,25	-0,28	-0,12	-0,17	-0,10	1											
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,60	-0,09	0,56	0,13	0,60	0,01	0,46	0,06	-0,04	-0,22	-0,06	1										
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,78	0,13	0,81	0,14	0,68	0,10	0,47	0,16	0,00	-0,05	0,22	0,52	1									
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,40	-0,13	0,35	0,07	0,42	-0,04	0,33	0,01	-0,07	-0,23	-0,12	0,95	0,24	1								
Q _{max} (m ³ /s)	0,60	0,78	0,40	0,02	-0,35	0,05	-0,06	0,09	0,11	-0,11	-0,31	-0,47	-0,01	-0,27	1							
Q _{min} (m ³ /s)	-0,19	0,03	-0,20	-0,22	-0,24	-0,38	0,07	-0,36	-0,37	0,41	-0,10	-0,20	0,30	0,09	-0,10	1						
Q _{méd} (m ³ /s)	0,56	0,80	0,36	0,05	-0,30	0,17	-0,17	0,24	0,26	-0,03	-0,27	-0,47	0,16	-0,26	0,96	-0,07	1					
P (mm)	0,14	0,15	0,09	0,44	-0,05	0,24	-0,30	0,26	0,28	-0,29	0,01	-0,30	-0,03	-0,21	0,53	-0,52	0,51	1				
I _{máx} (mm/min)	0,61	0,68	0,43	0,33	0,05	0,15	0,30	0,10	0,13	-0,18	-0,33	0,04	-0,22	0,05	0,54	-0,37	0,50	0,24	1			
V _{esc} (m ³)	0,01	0,10	-0,04	0,42	0,04	-0,11	-0,25	-0,09	-0,08	-0,15	0,03	-0,24	-0,19	-0,15	0,43	-0,26	0,37	0,89	0,03	1		
PTSA (dia)	-0,17	-0,18	-0,15	-0,02	0,25	0,52	-0,30	0,60	0,60	0,30	0,52	-0,06	0,45	0,56	-0,27	-0,31	-0,11	-0,06	-0,14	-0,22	1	

6.5.2 Carga difusa do escoamento superficial

As tabelas 19 e 20 apresentam os dados de massa poluente transportada em cada evento monitorado. O evento do dia 11/11/2013 teve a maior massa transportada de ST e SS, evento este que apresentou a máxima vazão observada ao longo do período de monitoramento, com elevada intensidade (2,20 mm/min), o que favoreceu o transporte dos ST e SS.

Tabela 19 - Massa poluente acumulada, transportada durante os eventos analisados na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí

Evento	PTSA (dia)	ST (g)	SS (g)	SD (g)	DBO (g)	DQO (g)	CT (NMP)	<i>E. coli</i> (NMP)	Q _{máx} (m ³ /s)	P (mm)
14/02/13	-	1,52E+07	8,66E+06	7,12E+06	1,59E+06	4,74E+06	1,74E+11	5,36E+10	5,615	78,20
03/03/13	2	1,50E+07	7,51E+07	2,87E+07	1,87E+07	1,50E+07	2,57E+12	1,53E+10	5,053	28,76
08/03/13	-	8,77E+07	7,46E+07	1,31E+07	1,13E+07	1,65E+07	8,72E+10	2,54E+10	0,907	24,79
12/03/13	-	2,45E+09	1,34E+09	1,11E+09	9,47E+07	9,79E+07	1,81E+11	4,75E+10	10,150	44,06
13/05/13	5	6,29E+08	3,05E+08	3,24E+08	1,77E+08	2,84E+08	1,96E+11	9,45E+10	0,605	7,600
18/07/13	3	8,20E+07	4,84E+07	3,37E+07	9,59E+06	2,59E+07	7,74E+10	8,96E+09	2,608	32,20
24/08/13	7	8,45E+08	6,47E+08	1,99E+08	2,40E+08	7,11E+08	2,62E+12	1,31E+11	0,990	11,40
21/10/13	7	7,73E+08	5,79E+08	1,95E+08	9,28E+07	1,15E+08	7,65E+12	1,24E+10	7,360	40,40
11/11/13	1	1,04E+10	4,62E+09	5,77E+09	8,00E+07	1,78E+08	4,84E+11	1,13E+11	19,073	26,00
19/11/13	2	6,82E+09	3,45E+08	6,48E+09	9,20E+07	1,51E+08	2,89E+11	4,90E+10	6,409	25,60
26/11/13	3	1,16E+08	7,83E+07	3,81E+07	7,11E+06	1,08E+07	4,47E+10	8,00E+09	5,071	13,40
01/12/13	3	3,57E+08	2,97E+08	6,03E+07	5,26E+07	1,67E+08	2,15E+11	3,57E+10	0,712	8,80
14/01/14	2	1,74E+07	1,46E+07	2,87E+06	6,89E+05	2,50E+06	1,09E+11	5,55E+09	5,079	18,31
01/02/14	1	3,08E+08	1,97E+08	1,11E+08	5,78E+07	9,45E+07	3,21E+11	1,16E+10	0,562	7,40
25/02/14	1	9,86E+08	6,59E+08	3,27E+08	7,32E+07	1,28E+08	1,25E+12	1,13E+11	6,322	20,00
26/02/14	-	1,80E+07	7,62E+07	3,97E+07	1,25E+07	1,61E+07	3,14E+11	2,22E+10	2,206	10,60
17/03/14	-	5,56E+08	3,33E+08	2,23E+08	6,46E+07	6,75E+07	3,68E+11	1,72E+10	11,792	75,34
MÉDIA		1,44E+09	5,70E+08	8,80E+08	6,39E+07	1,23E+08	3,46E+11	2,87E+10	5,272	27,80
MÁXIMO		1,04E+10	4,62E+09	6,48E+09	2,40E+08	7,11E+08	7,65E+12	1,31E+11	19,002	78,20
MÍNIMO		1,50E+07	8,66E+06	2,87E+06	6,89E+05	2,50E+06	4,47E+10	5,55E+09	0,562	7,40
MEDIANA		3,57E+08	2,97E+08	1,11E+08	5,78E+07	9,45E+07	2,89E+11	2,54E+10	4,971	24,79
D. PADRÃO		2,83E+09	1,10E+09	1,99E+09	6,53E+07	1,71E+08	1,89E+12	4,20E+10	4,881	21,47

DBO, DQO, e *E. coli* apresentaram a maior massa transportada em 24/08/2013. Este evento se caracterizou por apresentar um PTSA de 7 dias, contribuindo com o acúmulo de carga orgânica. A menor massa transportada de ST

ocorreu no evento de 03/03/2013, a menor massa transportada de SS ocorreu no evento do dia 14/02/2013 e SD DBO, DQO, *E. coli* ocorreu no evento do dia 14/01/2014.

Os eventos apresentaram grande variabilidade de massas transportadas. Em relação aos sólidos houve grande variação da quantidade transportada durante os eventos.

Para metais as maiores massas transportada ocorreram nos eventos de 18/07/2013 para Zn, 24/08/2013 para Pb e 21/10/2013 para Cu e Ni, coincidindo com os maiores períodos de tempo antecedentes aos eventos, favorecendo o acúmulo de poluentes nas vias e na drenagem urbana.

Tabela 20 - Massa poluente acumulada para metais e nutrientes, transportada durante os eventos analisados na bacia hidrográfica Cancela-Tamandá

Evento	PTSA (dia)	Metais				Nutrientes			Qmáx (m ³ /s)	P (mm)
		Cobre (g)	Níquel (g)	Chumbo (g)	Zinco (g)	Nitrato (g)	Nitrato (g)	Fosfato (g)		
14/02/13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03/03/13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08/03/13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12/03/13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13/05/13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18/07/13	3	1,95E+06	4,49E+05	8,32E+05	8,82E+06	2,71E+0	1,16E+05	2,24E+04	2,608	32,20
24/08/13	7	1,51E+08	3,46E+07	1,23E+08	1,47E+08	1,11E+0	3,56E+06	5,07E+05	0,990	11,40
21/10/13	7	6,04E+08	1,86E+08	1,58E+07	7,80E+06	3,20E+0	8,35E+05	3,97E+04	7,360	40,40
11/11/13	1	3,71E+07	1,68E+07	3,36E+07	9,14E+06	4,16E+0	1,04E+06	7,21E+04	19,073	26,00
19/11/13	2	1,96E+07	8,90E+06	1,78E+07	1,87E+07	1,59E+0	4,00E+05	1,10E+04	6,409	25,60
26/11/13	3	5,45E+05	2,05E+05	1,08E+06	2,86E+05	2,91E+0	8,50E+03	4,61E+03	5,071	13,40
01/12/13	3	1,35E+07	3,59E+06	1,33E+07	2,95E+06	7,45E+0	2,43E+03	1,16E+04	0,712	8,80
14/01/14	2	5,29E+05	1,78E+05	4,59E+05	3,06E+05	1,93E+0	1,52E+04	2,32E+03	5,079	18,31
01/02/14	1	7,81E+06	3,83E+06	9,18E+06	2,04E+06	4,90E+0	2,36E+05	2,15E+04	0,562	7,40
25/02/14	1	2,99E+07	9,35E+06	3,00E+07	6,68E+06	2,98E+0	7,61E+05	7,14E+04	6,322	20,00
26/02/14	-	5,51E+06	1,23E+06	3,68E+06	8,18E+05	3,73E+0	1,43E+05	1,62E+03	2,206	10,60
17/03/14	-	5,61E+06	3,45E+06	6,92E+06	1,73E+06	2,26E+0	9,29E+04	6,44E+03	11,792	75,34
MÉDIA		7,31E+07	2,24E+07	2,13E+07	1,72E+07	1,97E+0	6,00E+05	6,43E+04	5,682	24,12
MÁXIMO		6,04E+08	1,86E+08	1,23E+08	1,47E+08	7,45E+0	3,56E+06	5,07E+05	19,073	75,34
MÍNIMO		5,29E+05	1,78E+05	4,59E+05	2,86E+05	1,93E+0	2,43E+03	1,62E+03	0,562	7,40
MEDIANA		1,06E+07	3,71E+06	1,12E+07	4,81E+06	7,43E+0	1,89E+05	1,65E+04	5,075	19,16
D. PADRÃO		1,72E+08	5,24E+07	3,40E+07	4,12E+07	2,37E+0	9,97E+05	1,42E+05	5,356	19,03

“-“: não foram determinadas

Outros importantes indicativos de degradação da qualidade do corpo hídrico são as cargas difusas. Na tabela 21 são expressos os valores para a carga difusa determinada na bacia de estudo em função da área e do número de habitantes da bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí.

Tabela 21 - Carga difusa total transportada pelo escoamento superficial na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí.

Parâmetros	Função da área da bacia (kg/ha/ano)	Função do número de habitantes (Kg/hab/ano)
ST	72.713	1.373.582
SS	28.812	544.260
SD	44.458	840
DBO	3.225	61
DQO	6.197	117
Coliformes Totais*	5,03E+07	9,51E+05
<i>Escherichia coli</i> *	2,27E+06	4,29E+04
Cobre	13.174	92
Níquel	4.031	28
Chumbo	3.848	27
Zinco	3.099	22
Nitrito	1,31	0,02
Nitrato	40,07	0,76
Fosfato	4,29	0,08

*NMP/ha/ano

A figura 22 ilustra a carga difusa (kg/ha/ano) dos parâmetros de qualidade da água ST, SS, SD, DBO, DQO, CT e *E. coli* na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí. A carga difusa orgânica foi de 3.225 Kg/ha/ano, a carga difusa para *Escherichia coli* foi de 2,27E+06 organismos/ha/ano.

A figura 23 ilustra a carga difusa, em (kg/ha/ano), em relação aos metais pesados e aos nutrientes. Sendo que, a maior carga difusa, em relação aos metais pesados, foi a de cobre (13.174 Kg/ha/ano) e nutrientes a de nitrato (40,07 Kg/ha/ano). A relação da carga difusa em função da área da bacia para metais pesados foi de Cu>Ni>Pb>Zn e para nutrientes de NO₃⁻> PO₄³⁻> NO₂⁻. Tais cargas difusas ilustram o grande aporte de poluentes recebidos pela bacia Cancela-Tamandaí, poluentes estes oriundos de atividades antrópicas que ocasionam a degradação do arroio.

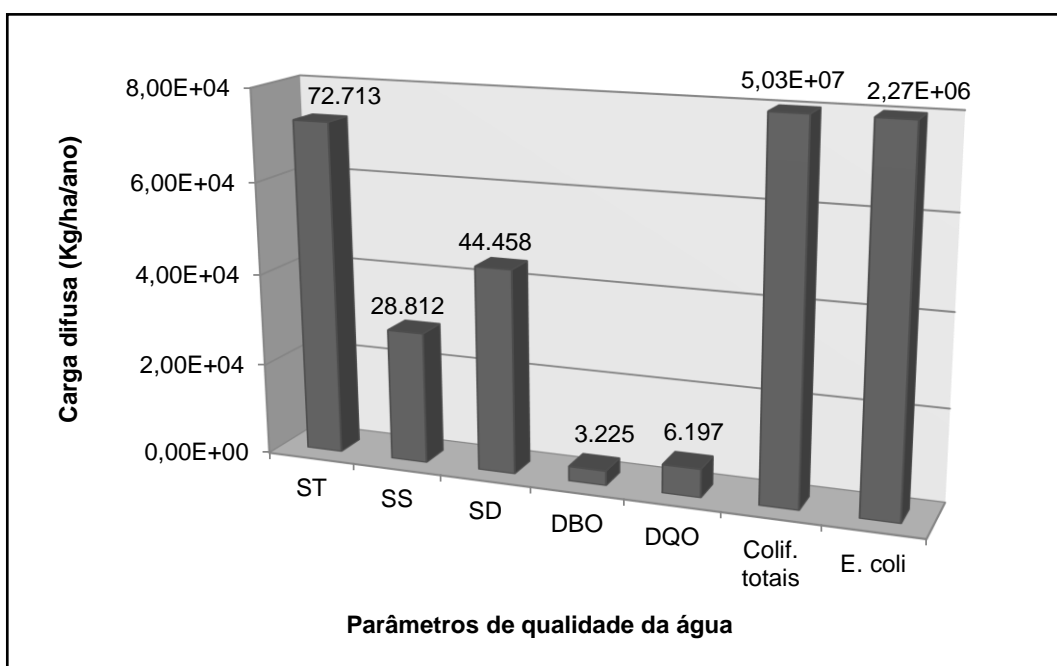


Figura 22 - Carga difusa, em Kg/ha/ano, de ST, SS, SD, DBO, DQO, CT e *E. coli* na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí

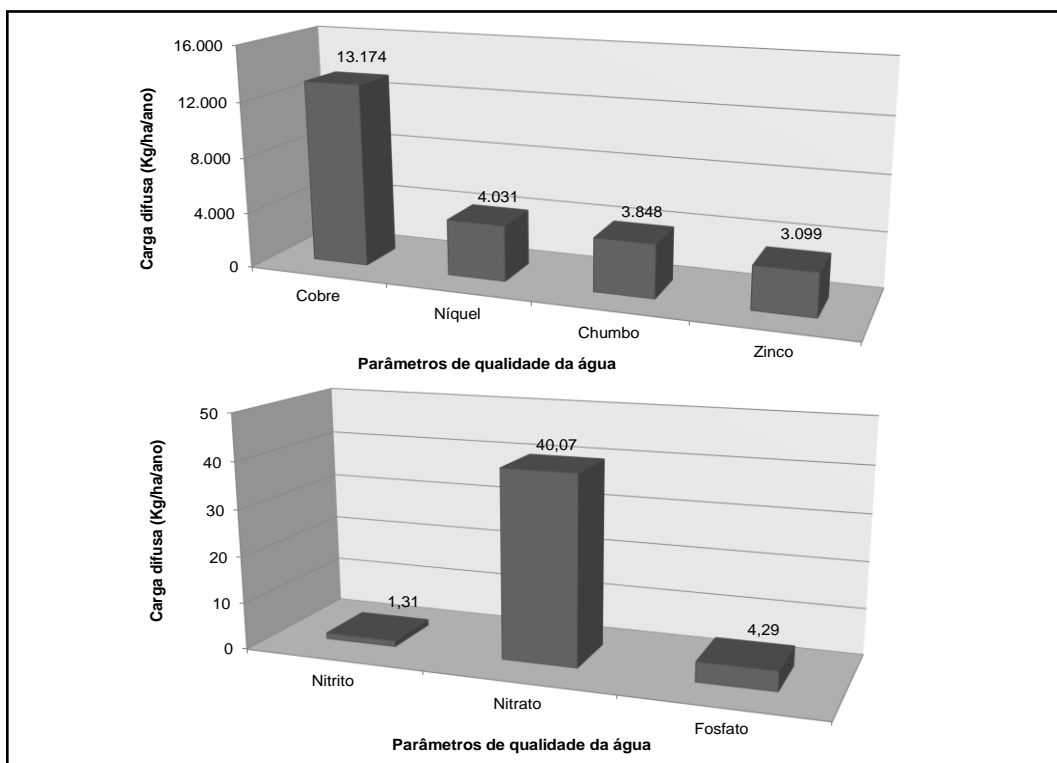


Figura 23 - Carga difusa, em Kg/ha/ano, de cobre, níquel, chumbo, zinco, nitrito, nitrato e fosfato na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí

Na figura 24 ilustra-se a carga difusa (kg/hab/ano) dos parâmetros de qualidade da água ST, SS, SD, DBO, DQO, CT e *E. coli* na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí. Em relação ao número de habitantes a carga difusa orgânica foi de 61 Kg/hab/ano, a carga difusa para *Escherichia coli* foi de 4,29E+04 organismos/hab/ano.

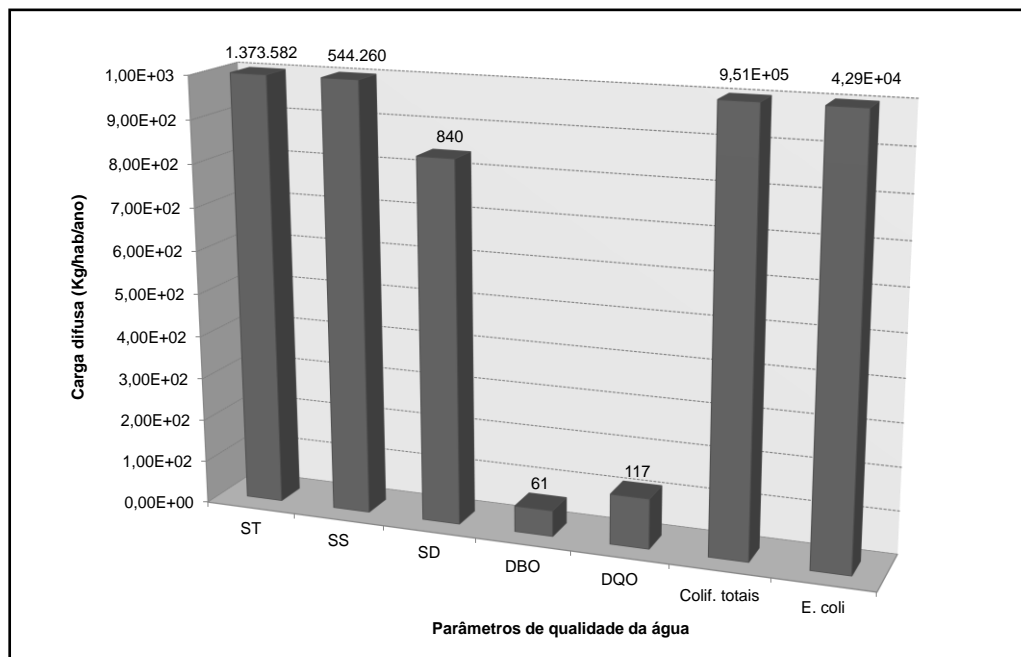


Figura 24 - Carga difusa, em Kg/hab/ano, de ST, SS, SD, DBO, DQO, CT e *E. coli* na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí

A figura 25 ilustra a carga difusa em função do número de habitantes para os metais pesados e nutrientes, a maior carga difusa foi de cobre (92 Kg/hab/ano) e nitrato (0,76 Kg/hab/ano), respectivamente. A relação da carga difusa em função do número de habitantes na bacia segue a mesma relação obtida para a carga difusa em relação à área da bacia hidrográfica, ou seja, para metais pesados foi de $Cu > Ni > Pb > Zn$ e para nutrientes de $NO_3^- > PO_4^{3-} > NO_2^-$.

Com base no exposto, tem-se que a contribuição per capita de poluentes na bacia é alta. Relacionando as concentrações dos poluentes com as cargas difusas em relação ao número de habitantes na bacia, observa-se que o corpo hídrico não

apresenta o poder de autodepuração, ou seja, o corpo d'água não tem condições de assimilar os poluentes produzidos na bacia.

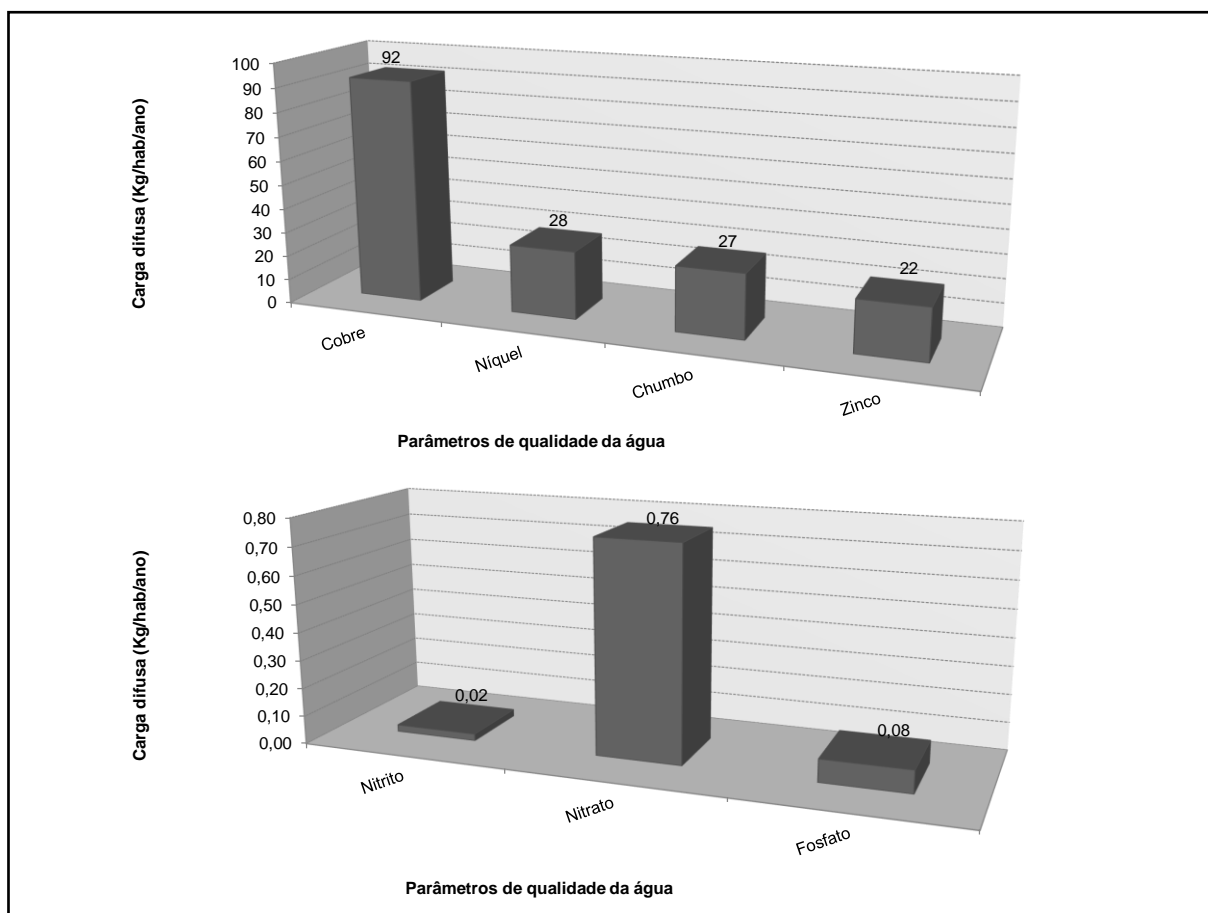


Figura 25 - Carga difusa, em Kg/hab/ano, de cobre, níquel, chumbo, zinco, nitrito, nitrato e fosfato na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí

6.2.3 Estimativa da carga de lavagem

Assim como em suas características hidrológicas, os eventos de precipitação monitorados na bacia Cancela-Tamandaí apresentaram variações na concentração de poluentes, sendo os poluentes carreados durante as chuvas. Esta variação pode ser representada por meio de polutogramas.

Os hidrogramas analisados, que representam a variação de precipitação (mm) e vazão (m^3/s) dos eventos, estão ilustrados no Apêndice B (Figuras 1 a 16). Nos hidrogramas foram inseridos os pontos de coleta pontuais (pontos adotados) e por meio do amostrador ANA (pontos coletados), como ilustra a figura 26.

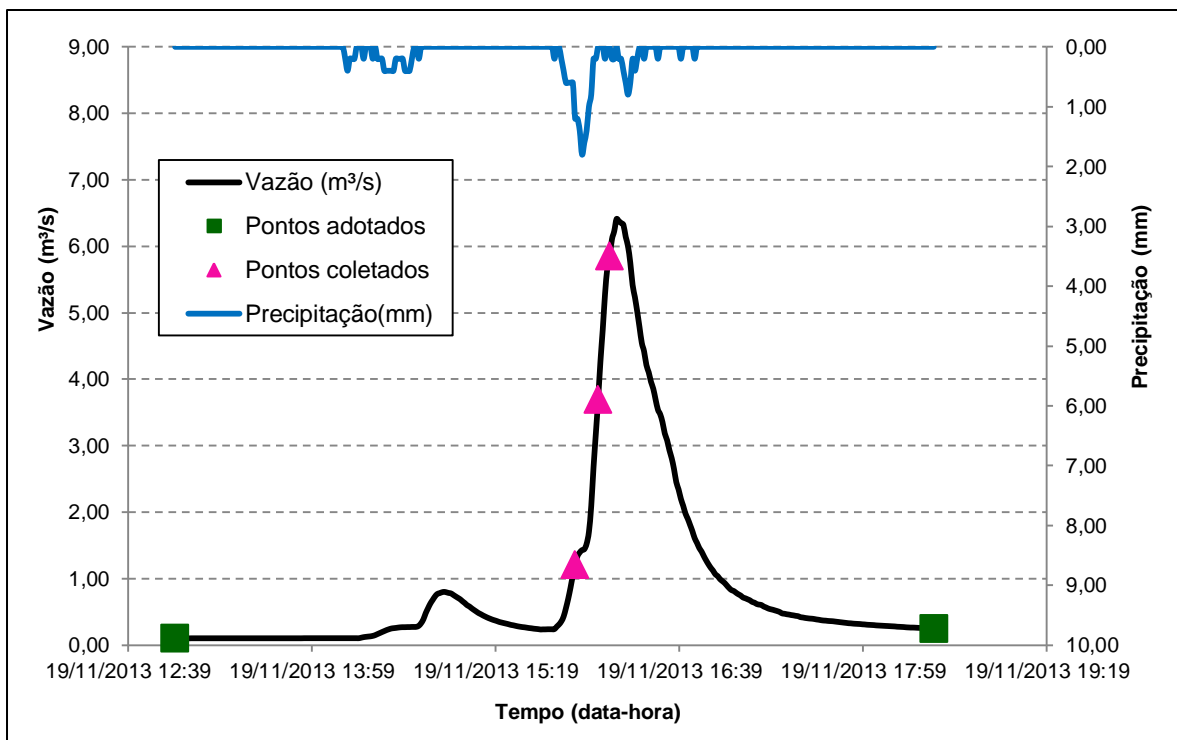


Figura 26 - Hidrograma do evento, registrado em 19/11/2013, com pontos adotados e coletados

O polutograma representa a variação da vazão com a concentração dos parâmetros de qualidade, de cada evento chuvoso, com isso foi possível verificar a variação dos poluentes no decorrer dos eventos monitorados, inseridos no Apêndice C (Figuras 1 a 16).

Um fato relevante detectado, embora já conhecido e verificado em outros estudos (Brites e Gastaldini (2007); Luo et al. (2009); Jung et al. (2013); Chow e Yusop, (2014), foi que o pico do polutograma, em alguns parâmetros ocorreu adiantado em relação ao pico do hidrograma do escoamento superficial, como ilustrada a figura 25.

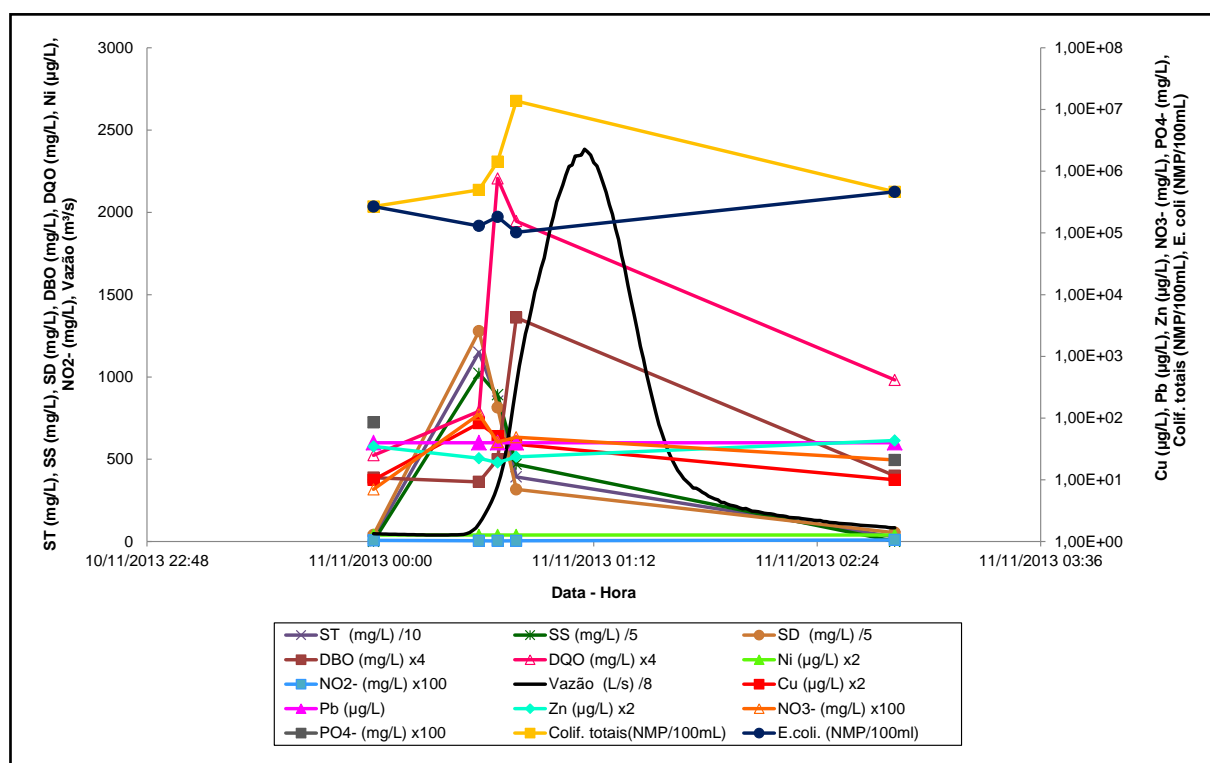


Figura 27 - Polutograma do evento – dia 11/11/2013

Observa-se a que houve a remoção inicial de todo material acumulado no período entre as chuvas, produziu um pico na concentração de poluentes no início do escoamento superficial, este foi o fenômeno de carga de lavagem.

A bacia de estudo apresentou variações entre os parâmetros e eventos, demonstrando a variabilidade na ocorrência e intensidade do fenômeno de carga de lavagem. Esta constatação pode ser, seguramente, evidenciada nos polutogramas para alguns parâmetros de qualidade da água analisados. A carga de lavagem também pôde ser estimada por meio das curvas M(V). De acordo com Gupta e Saul (1996) o fenômeno da carga de lavagem ocorre quando as curvas M(V) estão acima do bissetor, ou seja, $> 45^\circ$.

Nas figuras 28 a 41 apresentam-se as curvas M(V) referentes aos eventos registrados na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí para os parâmetros analisados.

As curvas M(V) acima do bissetor na maioria dos eventos indicam que a carga poluente de ST não foi distribuída uniformemente ao logo do volume escoado nos eventos de 14/02/13, 18/07/13, 24/08/13, 26/11/13, 14/01/14, e 17/03/14, o

evento de 03/03/13 sofreu o efeito de diluição. Os demais eventos apresentaram o transporte de poluentes constantes durante o escoamento, ilustrados na figura 28.

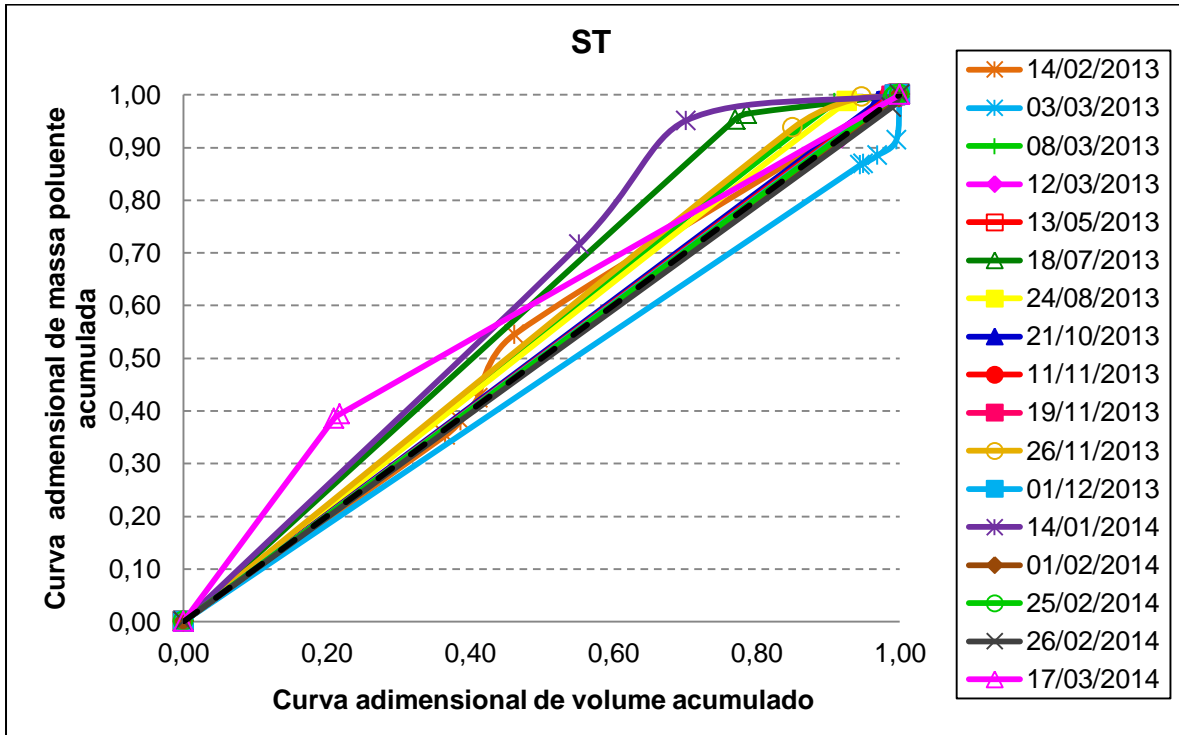


Figura 28 - Curvas M(V) do parâmetro ST dos eventos analisados

Na figura 29 observam-se as curvas M(V) acima do bissetor na maioria dos eventos, indicando que a carga poluente de SS não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado, os demais eventos apresentaram, na linha do bissetor, o transporte de poluentes constantes ao longo do escoamento.

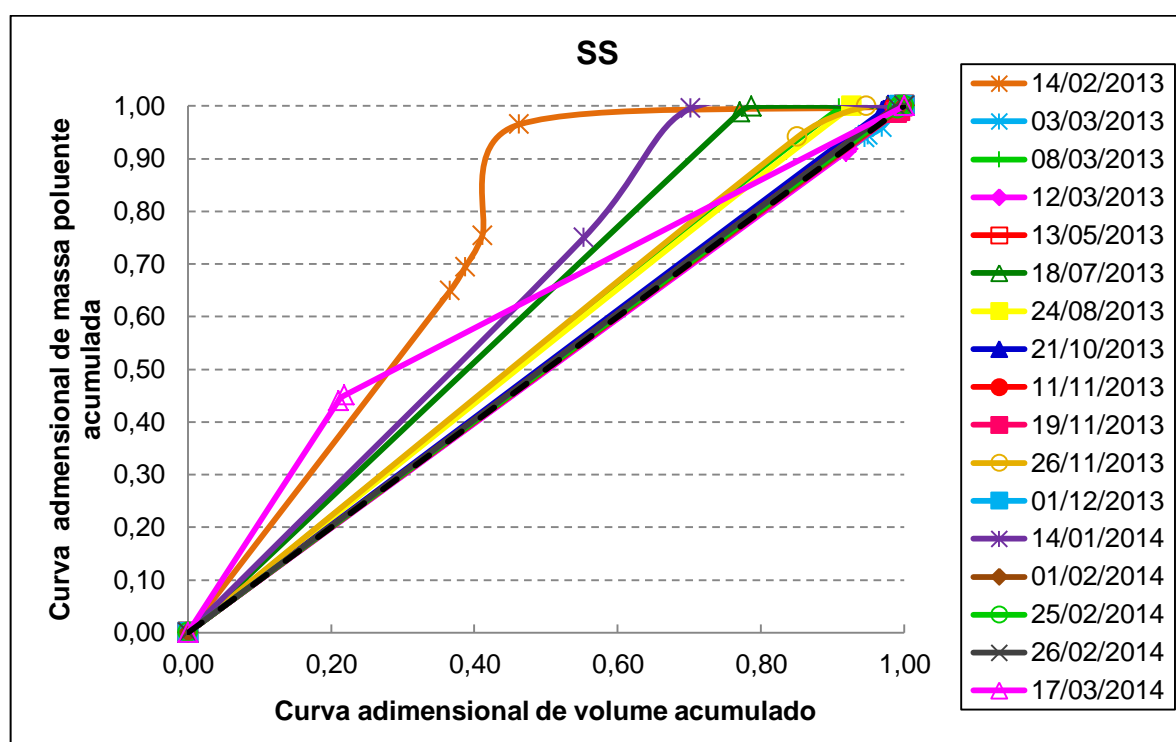


Figura 29 - Curvas M(V) do parâmetro sólidos suspensos dos eventos analisados

Observam-se na figura 30 as curvas M(V) acima do bissetor nos eventos de 18/07/13, 24/08/13, 26/11/13 e 17/03/14, indicando que a carga poluente de SD não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado. O fator diluição, abaixo do bissetor, afetou o evento de 14/02/13, sendo que os demais eventos apresentaram o transporte de poluentes constantes ao longo do escoamento.

Observam-se as curvas M(V) abaixo do bissetor nos eventos de 8/3/13, 18/07/13, 26/11/13, 14/01/14 e 01/02/14, indicando que a carga poluente de DBO sofreu o efeito de diluição da carga orgânica. Nos eventos de 14/02/13 e 24/08/13, as curvas M(V) acima do bissetor indicam que a carga poluente não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado, para os demais eventos o transporte de poluentes foi constante ao longo do escoamento, como mostra a figura 31.

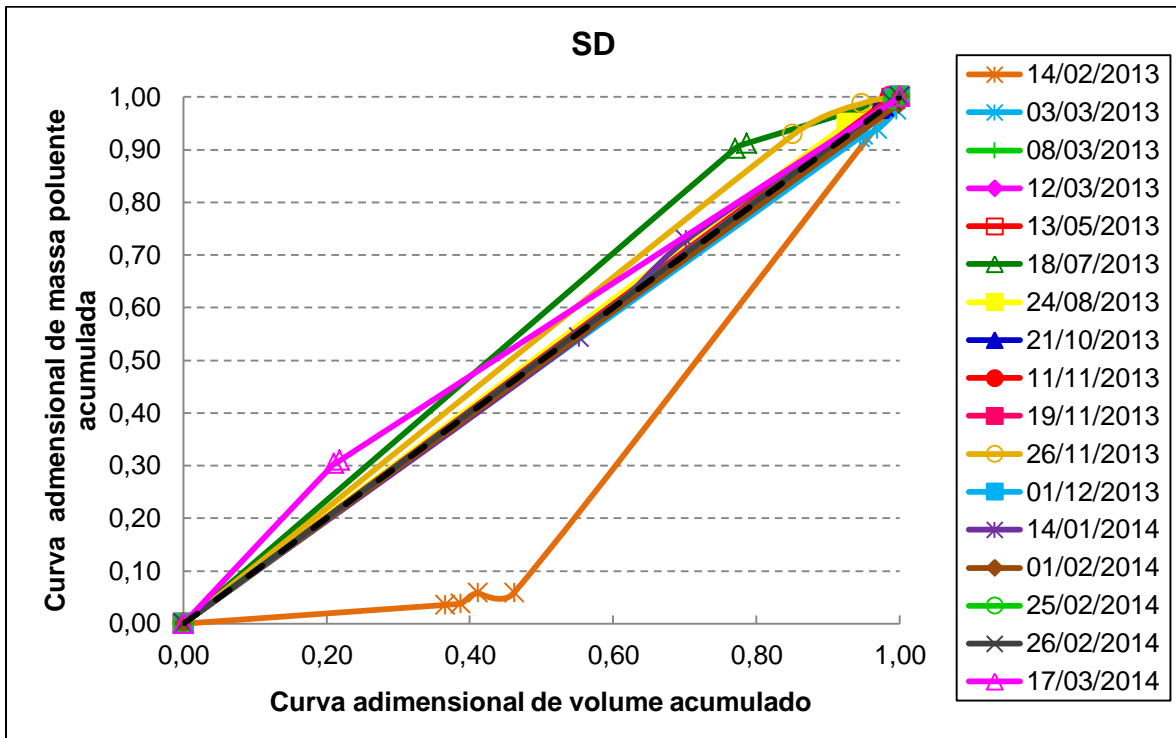


Figura 30 - Curvas M(V) do parâmetro sólidos dissolvidos dos eventos analisados

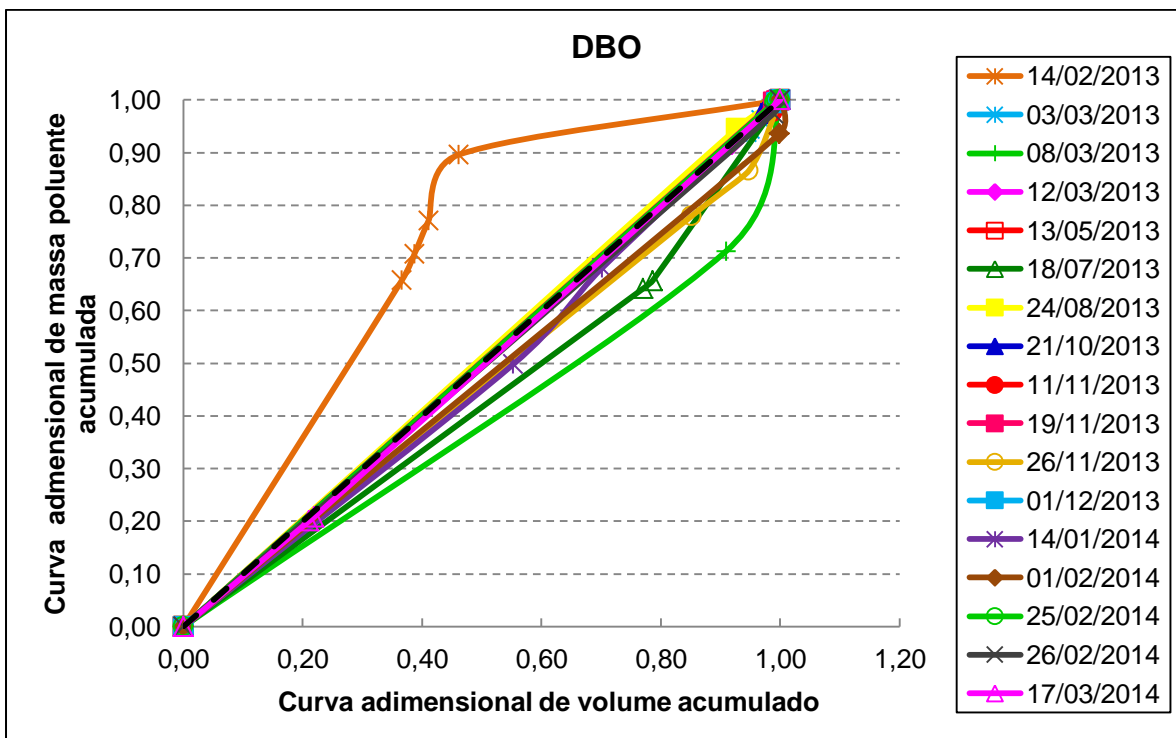


Figura 31 - Curvas M(V) do parâmetro DBO dos eventos analisados

Nos eventos de 12/03/13 e 24/08/13 observam-se as curvas M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente de DQO não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado. Em 14/02/13, 03/3/13, 08/3/13, 18/7/13 e 01/2/14 ocorreram às diluições da carga de poluente transportada. Nos demais eventos o transporte de poluentes foi constante ao longo do escoamento, como ilustra a figura 32.

Observam-se as curvas M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente de CT não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado nos eventos de 24/08/13, 14/01/14 e 17/03/14. Os eventos de 14/02/13, 08/3/13, 12/3/13, 18/7/13, 21/10/13, 26/11/13 e 11/11/13 sofreram efeito da diluição da carga de CT. Para os demais eventos o transporte de poluentes foi constante ao longo do escoamento, como mostra a figura 33.

O poluente *E.coli* mostra-se altamente suscetível ao efeito de diluição, a maioria das curvas M(V) estão abaixo do bissetor. Somente em 17/03/2014 a curva M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente de *E.coli* não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado, ilustrado na figura 34. Isto indica que a fonte de poluição por *E.coli* é o lançamento inadequado de efluente doméstico, sem tratamento adequado, no copo hídrico e na ocorrência de chuvas o poluente é diluído.

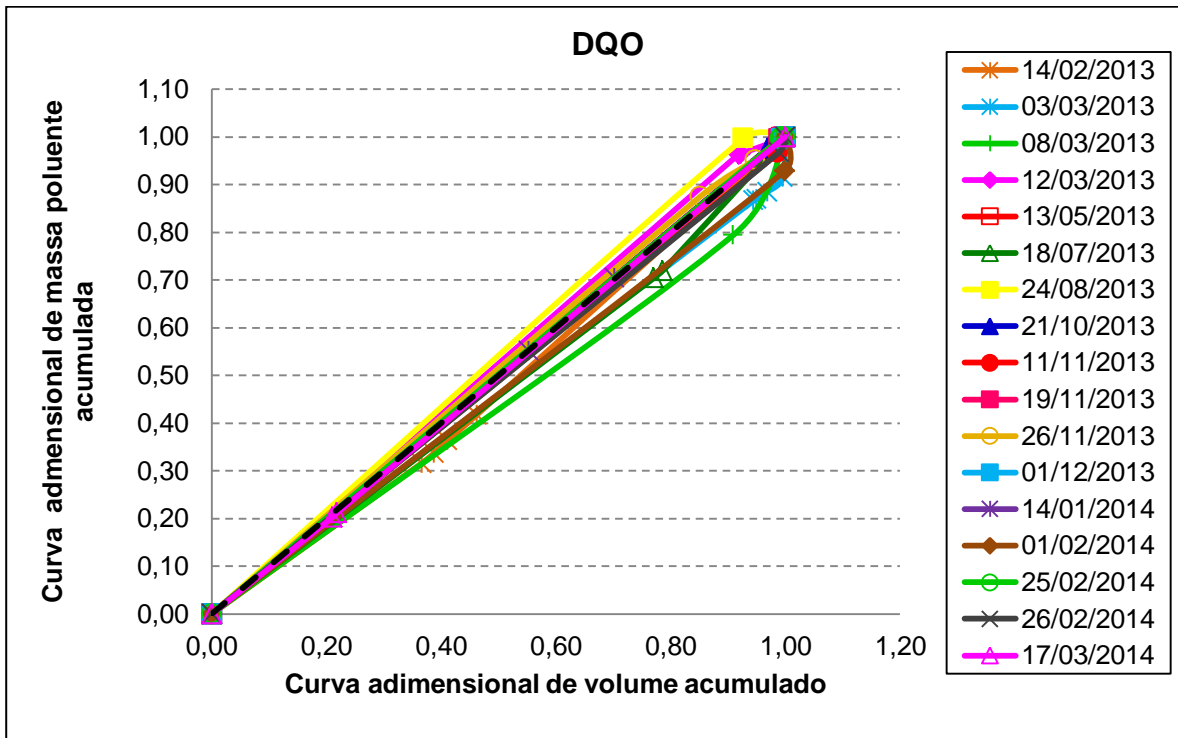


Figura 32 - Curvas M(V) parâmetro DQO dos eventos analisados

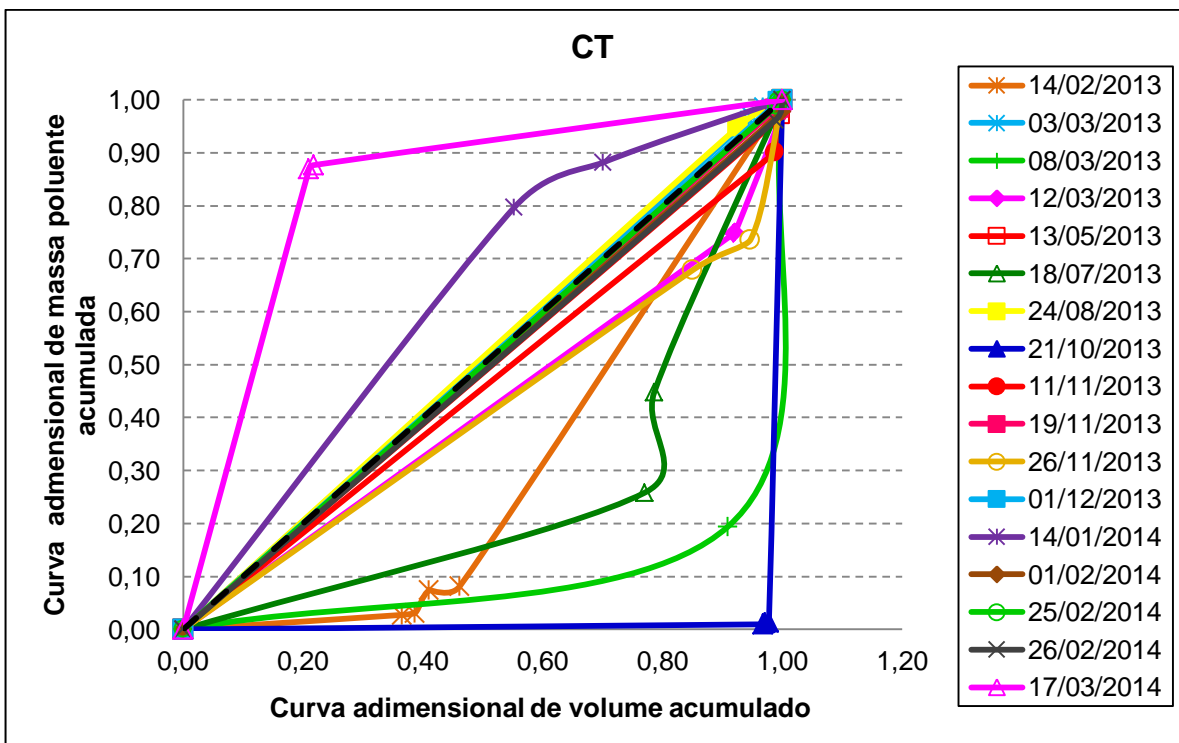


Figura 33 - Curvas M(V) do parâmetro coliformes totais dos eventos analisados

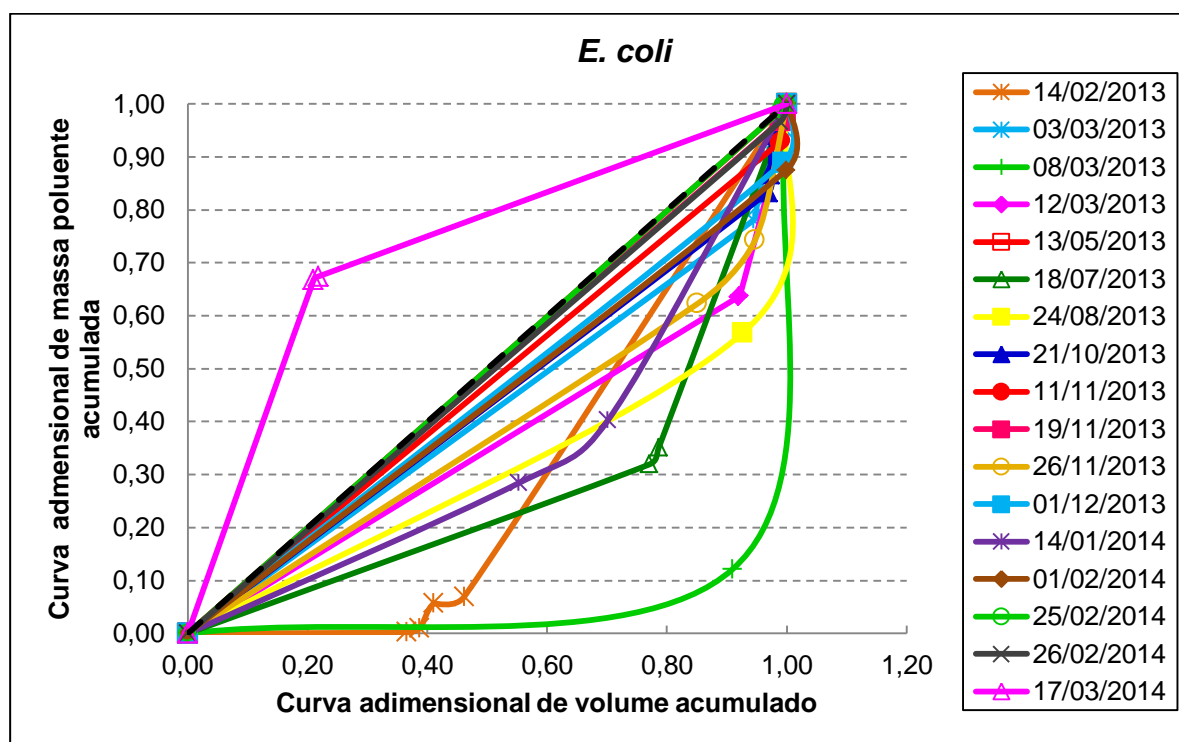


Figura 34 - Curvas M(V) do parâmetro *E. coli* dos eventos analisados

Observam-se as curvas M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente Cu não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado nos eventos de 18/07/13, 24/08/13, 14/01/14 e 17/03/14. O efeito de diluição não afetou este parâmetro, sendo que nos demais eventos monitorados o transporte dos poluentes foi constante ao longo do escoamento, como ilustra a figura 35. O que evidência o acúmulo e o transporte do poluente das vias urbanas até o corpo d'água.

Verificam-se curvas M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente de Ni não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado nos eventos de 24/08/13 e 14/01/14. O evento de 17/3/14 sofreu o efeito da diluição da carga de Ni, para os demais eventos o transporte de poluentes foi constante ao longo do escoamento, como mostra a figura 36.

Nos eventos de 24/08/13 e 21/10/13 observou-se curvas M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente de Pb não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado. Em 18/7/13, 26/11/13 e 01/2/14 a diluição afetou a carga

de poluente transportada. Nos demais eventos o transporte de poluentes foi constante ao longo do escoamento, como ilustra a figura 37.

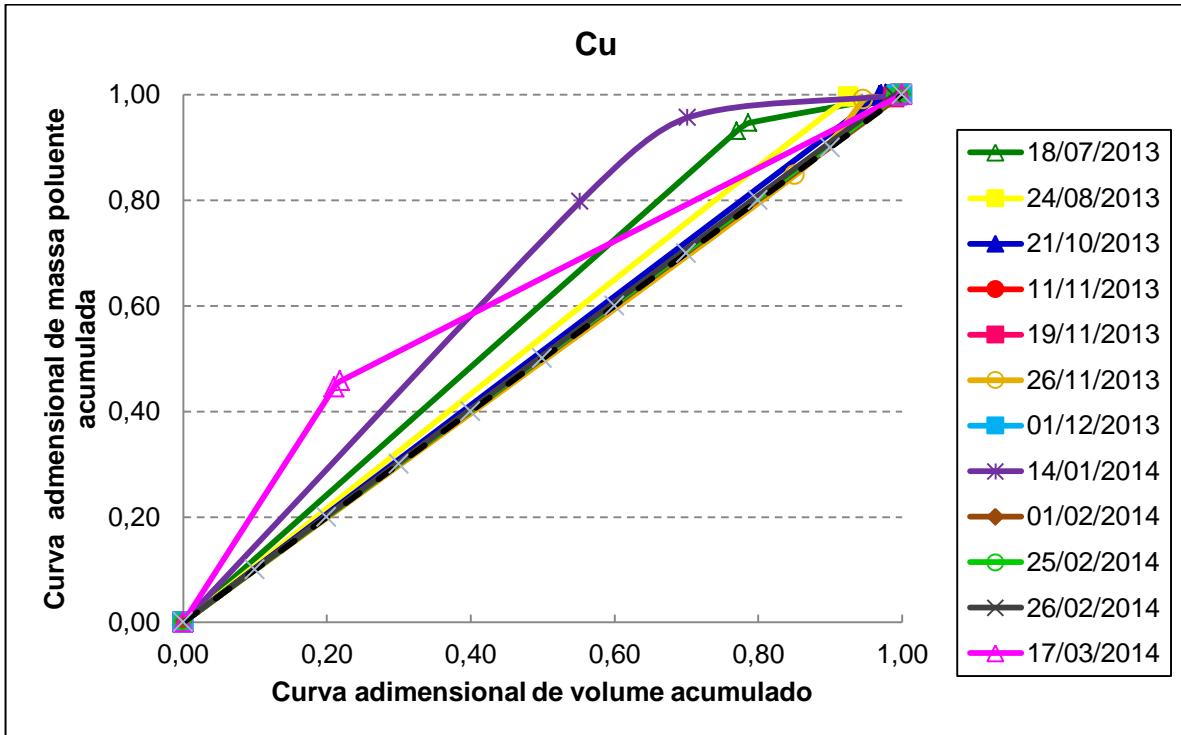


Figura 35 - Curvas M(V) do parâmetro Cobre dos eventos analisados

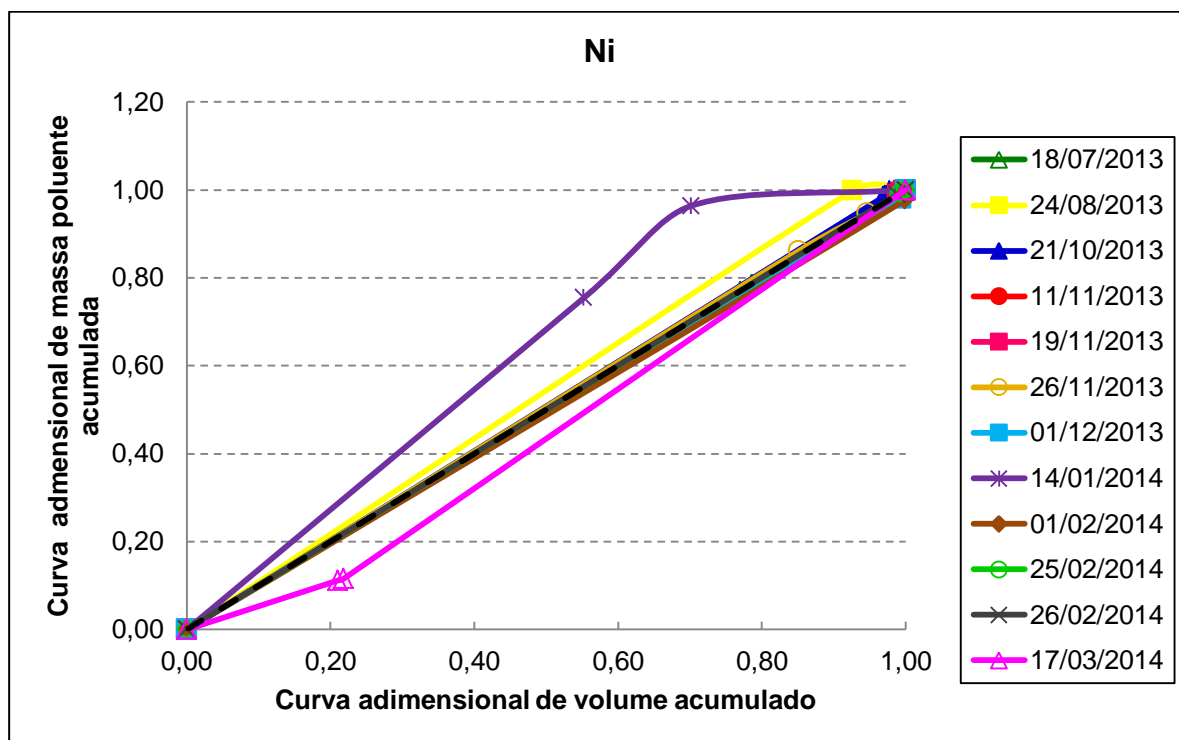


Figura 36 - Curvas M(V) do parâmetro Níquel dos eventos analisados

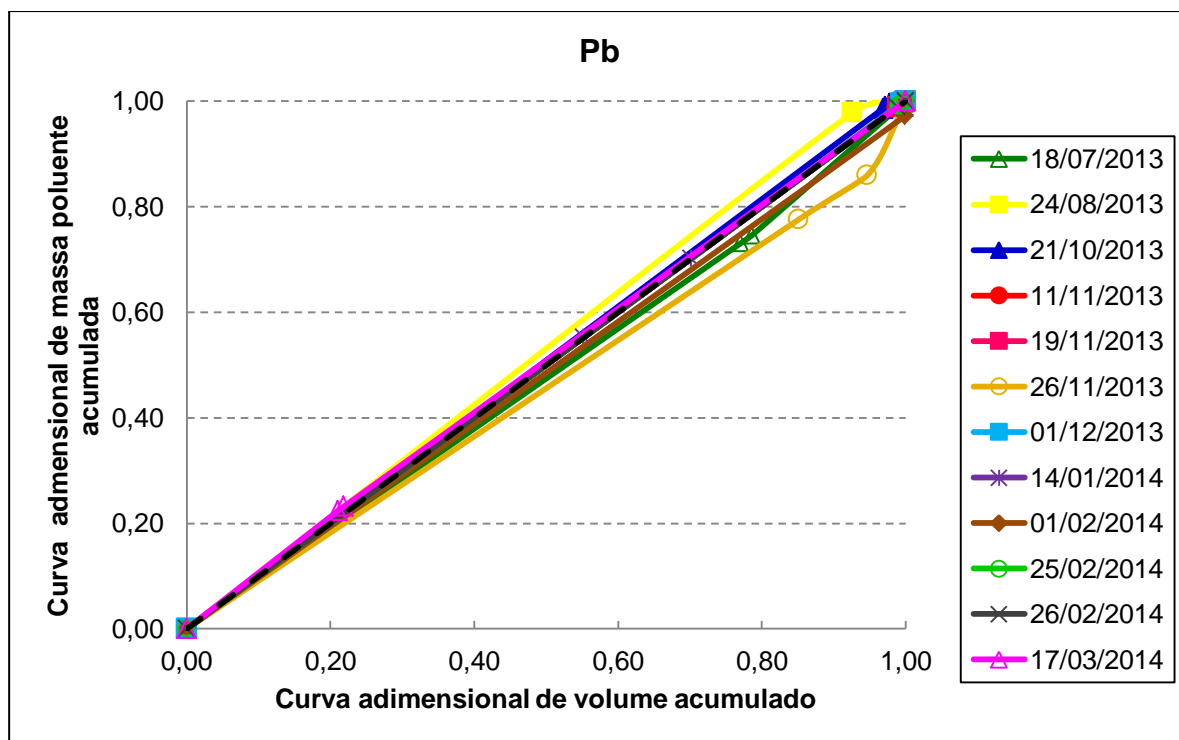


Figura 37 - Curvas M(V) do parâmetro Chumbo dos eventos analisados

As curvas M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente de Zn não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado Zn nos eventos de 24/08/13, 21/10/13 e 17/03/14, como mostra a figura 38, sendo estes os mesmos eventos em que foram observadas curvas M(V) acima do bissetor, exceto 13/03/14, para Pb. Do mesmo modo, o efeito da diluição interferiu nas cargas do poluente dos mesmos eventos que foram observados para o Pb, ou seja, em 18/7/13, 26/11/13 e 01/2/14. Diante do exposto, tem-se um indicativo de que a fonte de poluição destes metais seja a mesma. Para os demais eventos o transporte de poluentes foi constante ao longo do escoamento.

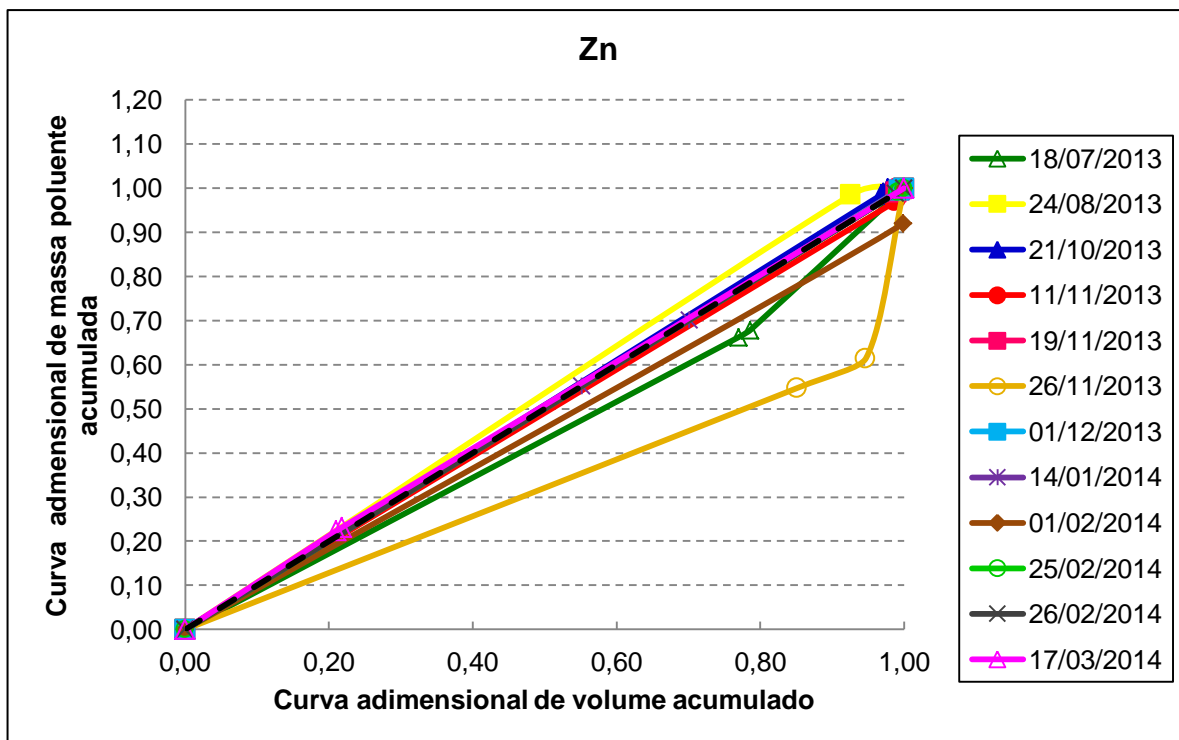


Figura 38 - Curvas M(V) do parâmetro Zinco dos eventos analisados

Observam-se as curvas M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente de nitrito não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado apenas nos eventos de 18/07/13 e 17/03/14. Constata-se que este poluente sofre grande influência do efeito da diluição, curvas M(V) abaixo do bissetor, isto indica que assim como para *E. coli* a fonte de poluição é o lançamento inadequado de efluente doméstico sem tratamento no copo hídrico e com a ocorrência de chuvas o

poluente já diluído vai de encontro ao arroio, tendo sua concentração reduzida. Para os demais eventos, curvas M(V) junto ao bissetor, observa-se que o transporte de poluentes foi constante ao longo do escoamento, como mostra a figura 39.

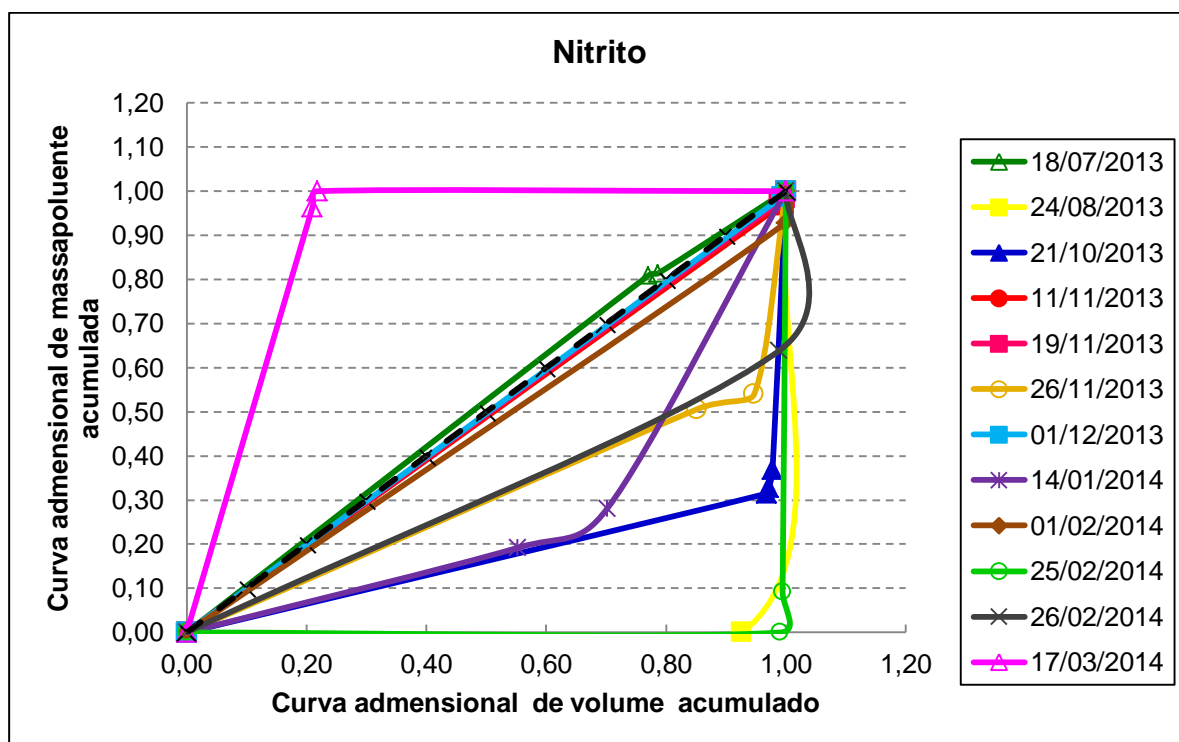


Figura 39 - Curvas M(V) do parâmetro nitrito dos eventos analisados

Nos eventos de 18/07/13, 24/08/13, 14/01/14 observam-se as curvas M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente de nitrato não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado. Os eventos com curvas M(V) abaixo do bissetor foram afetados pela diluição da carga de poluente transportada. Nos demais eventos o transporte de poluentes foi constante ao longo do escoamento, como ilustra a figura 40.

Observam-se as curvas M(V) acima do bissetor, indicando que a carga poluente de fosfato não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado apenas em 14/01/14 e 17/03/14, observa-se que este poluente tem grande suscetibilidade a diluição, maiorias das curvas M(V) abaixo do bissetor. Nos demais

eventos, curvas junto ao bissetor, o transporte de poluentes foi constante ao longo do escoamento, como mostra a figura 41.

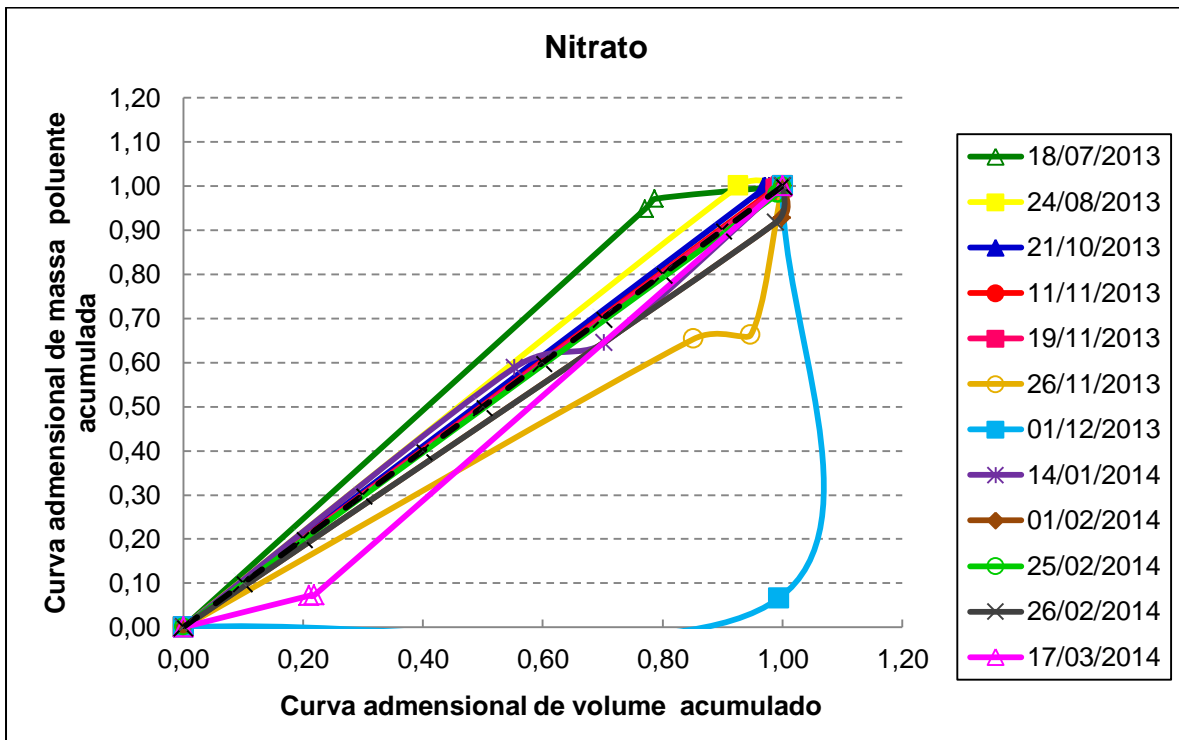


Figura 40 - Curvas M(V) do parâmetro nitrato dos eventos analisados

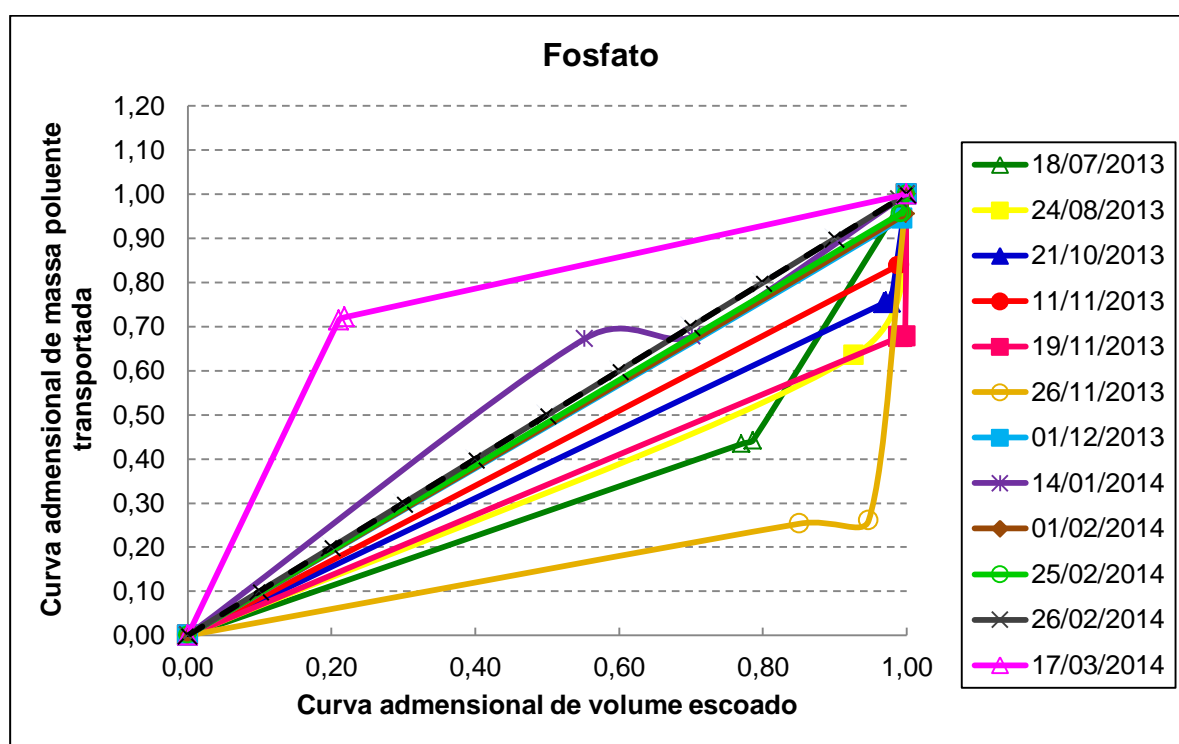


Figura 41 - Curvas M(V) do parâmetro fosfato dos eventos analisados

Huang et al. (2011); Jung et al. (2013) avaliaram a ocorrência do fenômeno de carga de lavagem. Huang et al. (2011) observaram que a magnitude do efeito de carga de lavagem diferiram entre os poluentes e entre os eventos, as cargas de lavagem mais expressivas foram observadas nos eventos que apresentaram maior tempo de duração e maior volume escoado. No que diz respeito aos poluentes, SS foi mais suscetível à ocorrência da carga de lavagem. Ocorreram diferentes efeitos de carga de lavagem para SS e DQO, ocorrendo carga de lavagem em alguns eventos para SS, porém, não ocorrendo para DQO e vice-versa. Verificou-se que, ainda, há incertezas quanto à influência da duração do evento no fenômeno de carga de lavagem, dentre os eventos com longo período de duração nem sempre ocorreu o fenômeno de carga de lavagem.

Situação semelhante ocorreu nos eventos monitorados na bacia Cancela-Tamandaí. A carga de lavagem apresentou variações entre os eventos e parâmetros, ocorrendo para alguns e não para outros, sofrendo influência das características de cada evento. Os parâmetros coliformes totais, *E. coli*, sólidos totais, sólidos suspensos, e cobre mostraram-se mais suscetíveis ao fenômeno.

Jung et al. (2013) observaram que em eventos de pouca precipitação, menor intensidade e volume escoado menos expressivo não apresentam uma carga de lavagem significativa, ou seja, o fenômeno de carga de lavagem é influenciado pelas características hidrológicas do evento.

Os eventos de 13/05/2013, 24/08/2013, 01/12/2013, 26/02/2014, monitorados na bacia Cancela-Tamandaí, se enquadram no observado por Jung et al. (2013). O fenômeno de carga de lavagem nestes eventos não foi expressivo quando comparado com as cargas de lavagem de outros eventos monitorados.

Nas figuras 42 a 55 apresentam-se o resultado da diferença entre as curvas adimensionais de massa poluente acumulativa e do volume escoado acumulativo através do tempo acumulativo do evento (quando maiores que 0,2 indicam uma significativa carga de lavagem do parâmetro no evento), para todos os parâmetros analisados, ilustrando também a distribuição possível da ocorrência do fenômeno ao longo da duração do evento.

As figuras 42 a 44 ilustram o resultado da diferença entre as curvas adimensionais de massa poluente acumulativa e do volume escoado acumulativo através do tempo acumulativo do evento para o grupo dos sólidos, sendo ST, SS e SD. Não foram observadas cargas de lavagem significativas para ST e SD, nos eventos de 14/02/13, 14/01/14 e 17/03/14 ocorreu carga de lavagem expressiva SS.

A figura 45 ilustra o resultado da diferença entre as curvas adimensionais de massa poluente acumulativa e do volume escoado acumulativo através do tempo acumulativo do evento para a DBO. Observa-se carga de lavagem significativa para este poluente somente no evento de 14/02/13.

A diferença entre as curvas adimensionais de massa poluente acumulativa e do volume escoado acumulativo através do tempo acumulativo do evento para a DQO é mostrada na figura 46. Constata-se que não ocorreram cargas de lavagem expressivas para este parâmetro.

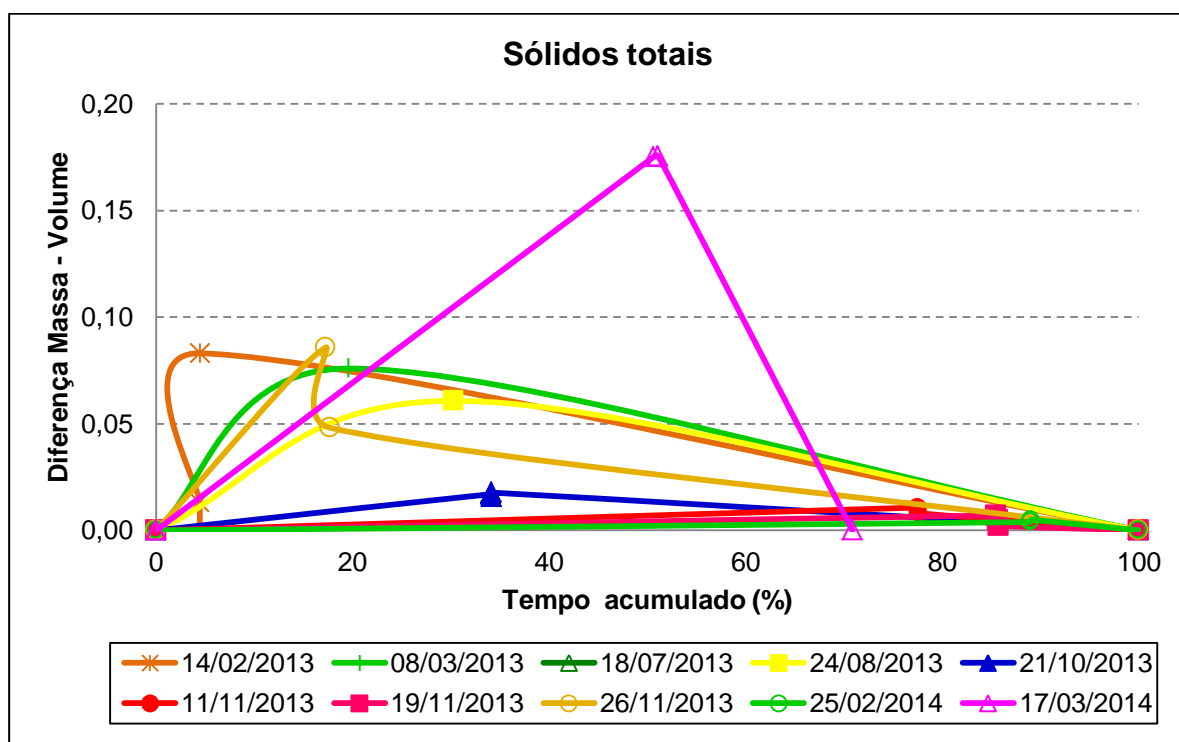


Figura 42 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

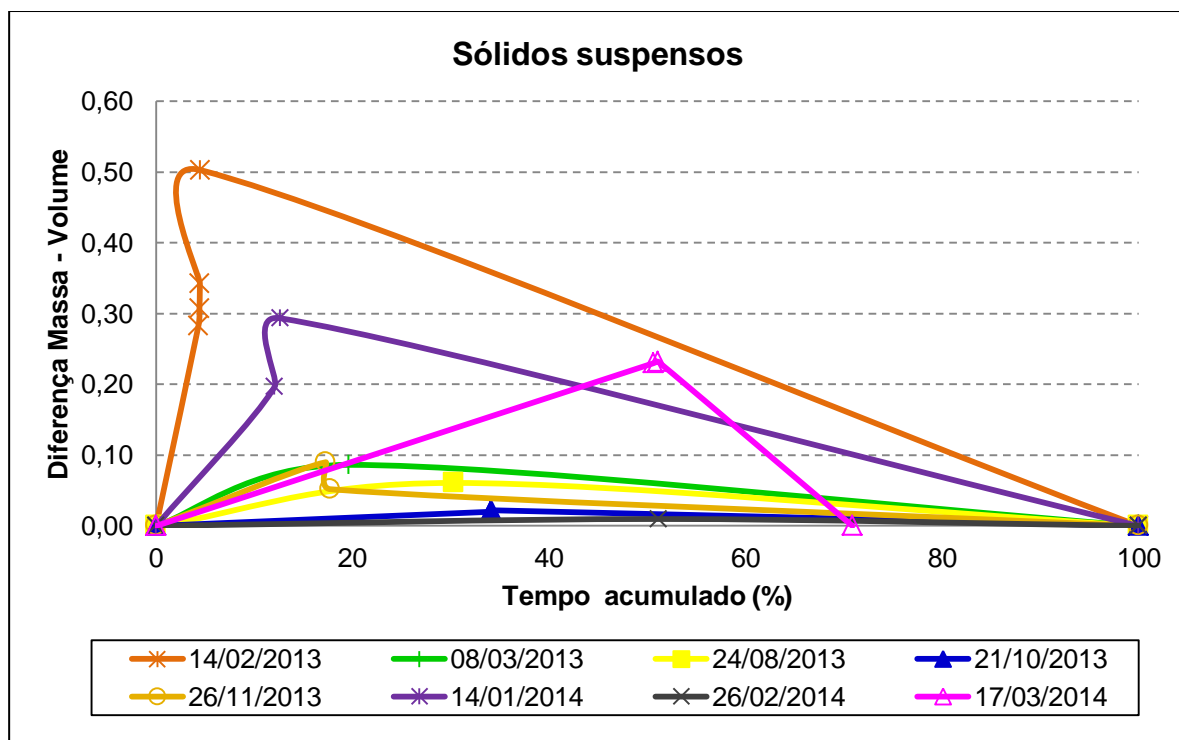


Figura 43 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

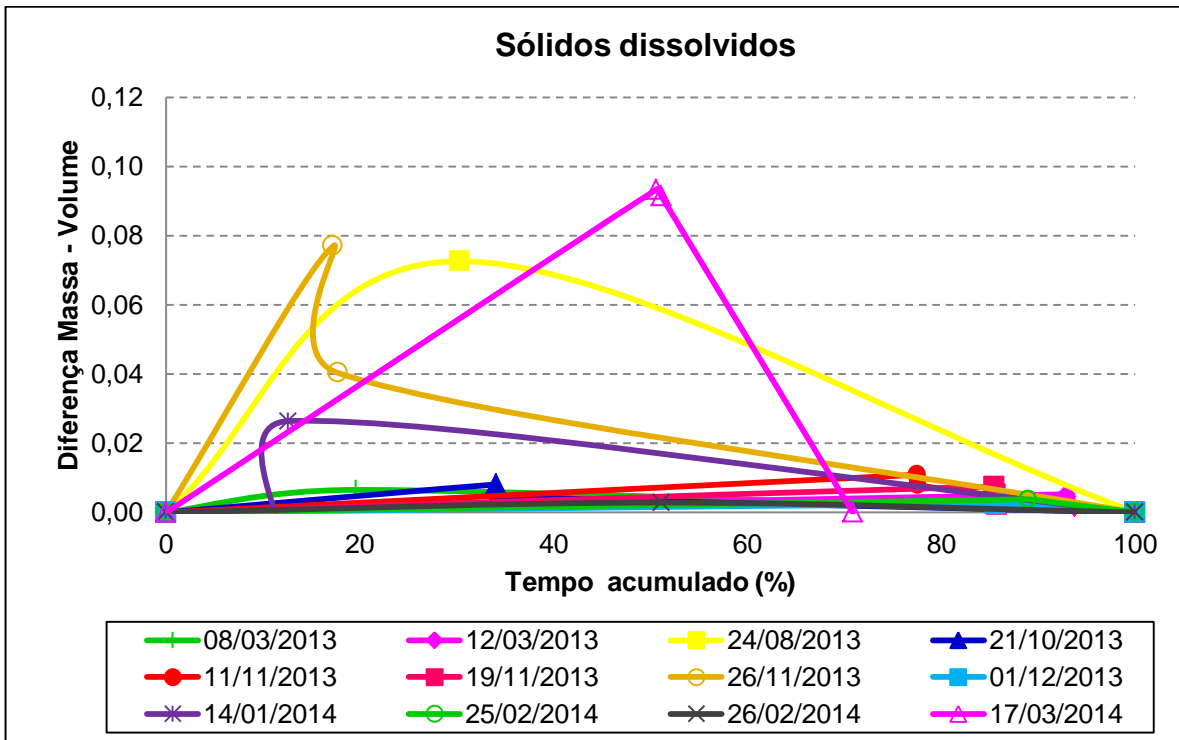


Figura 44 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

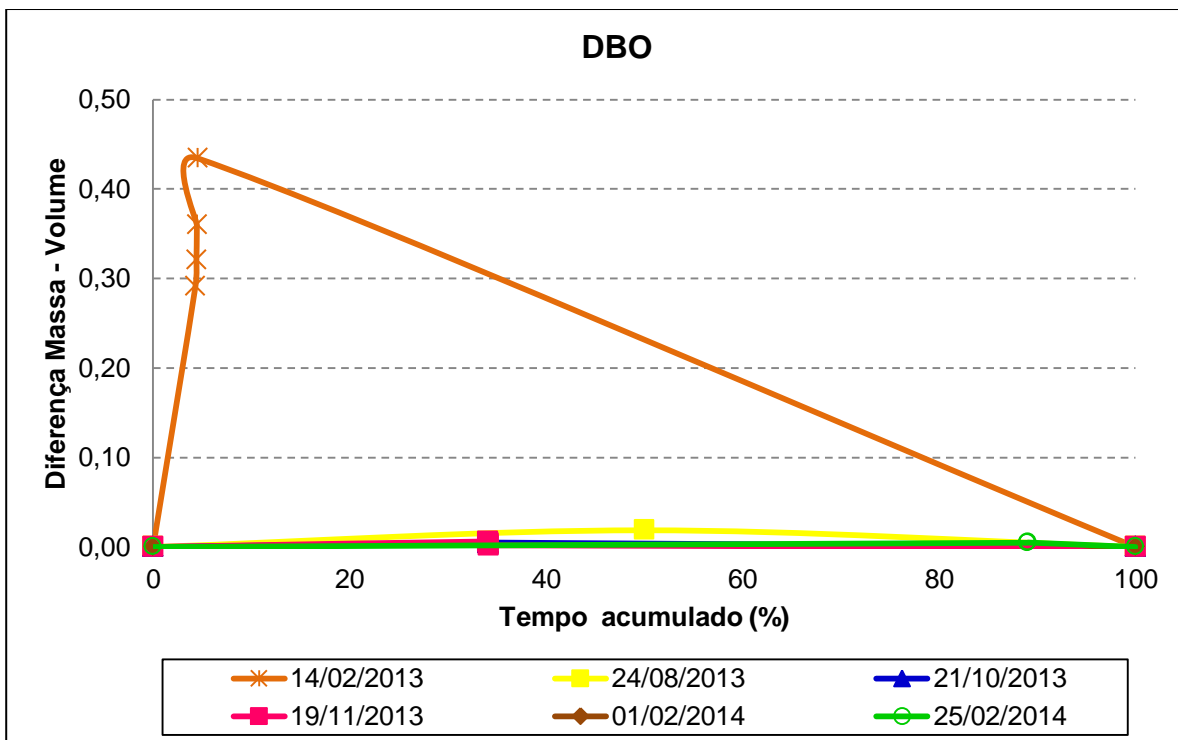


Figura 45 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

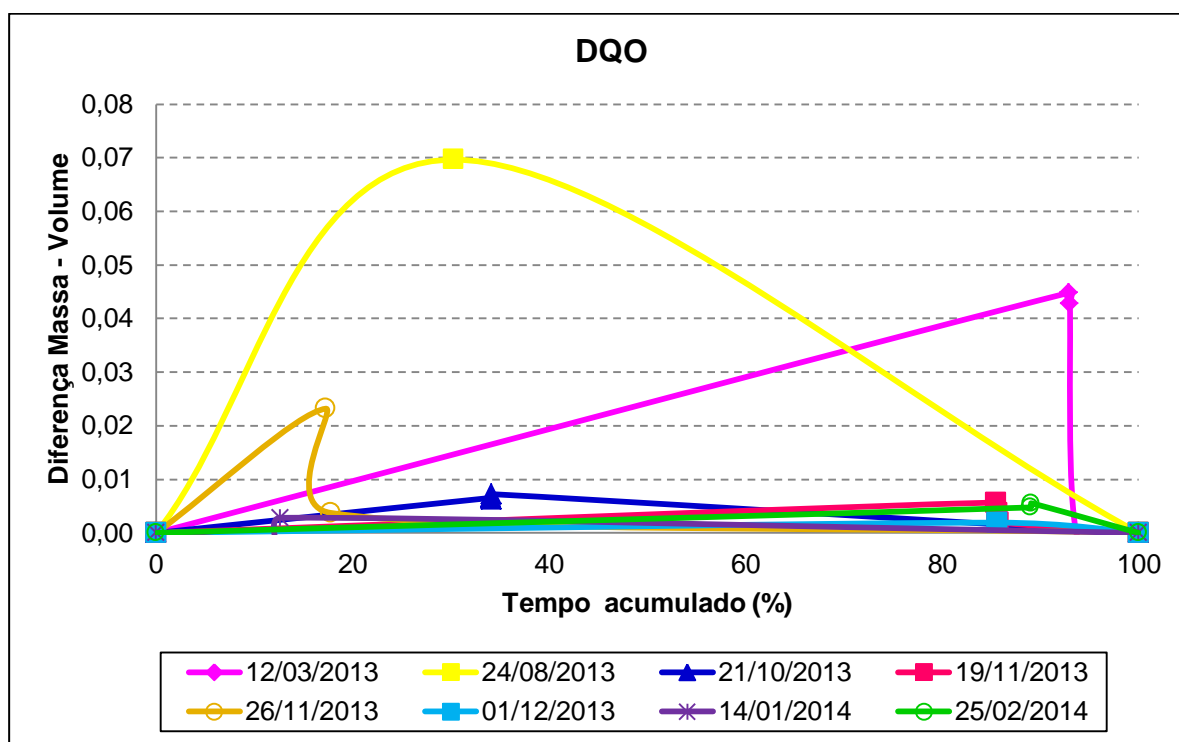


Figura 46 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

Nas figuras 47 e 48 ilustram-se o resultado da diferença entre as curvas adimensionais de massa poluente acumulativa e do volume escoado acumulativo através do tempo acumulativo do evento para CT e *E. coli*. Observa-se carga de lavagem significativa nos eventos de 14/01/14 e 17/03/14 para CT e somente em 17/03/14 para *E. coli*.

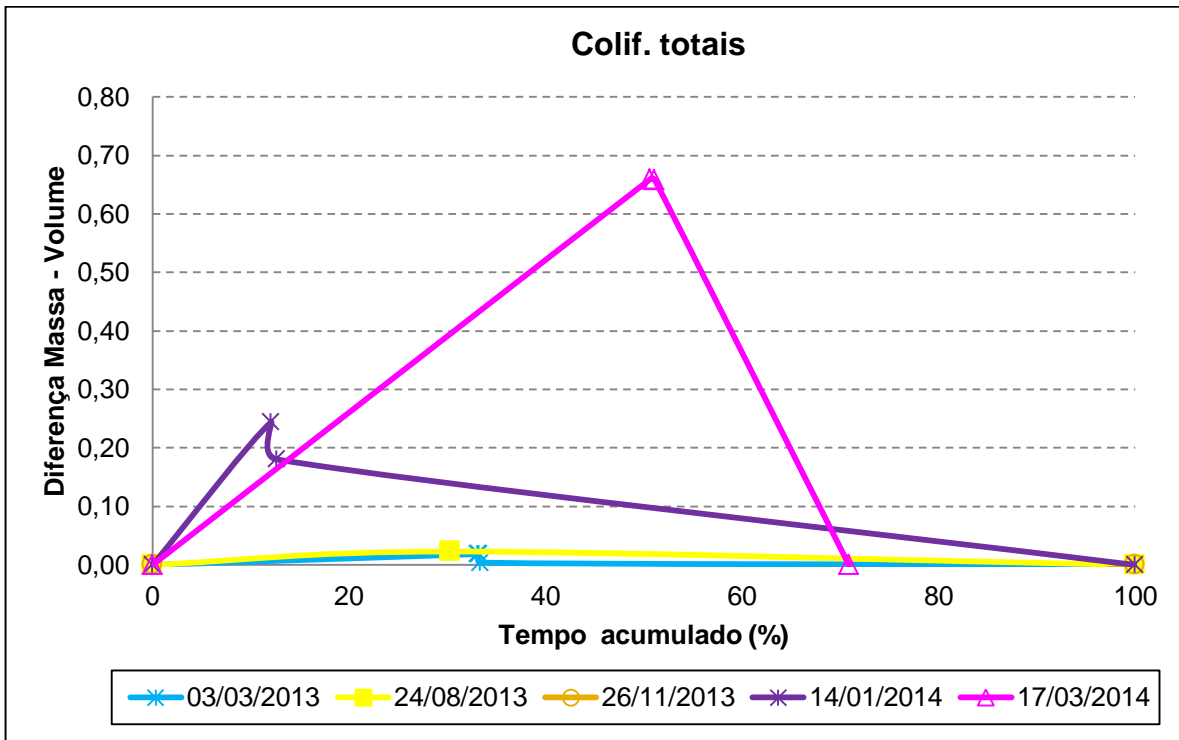


Figura 47 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

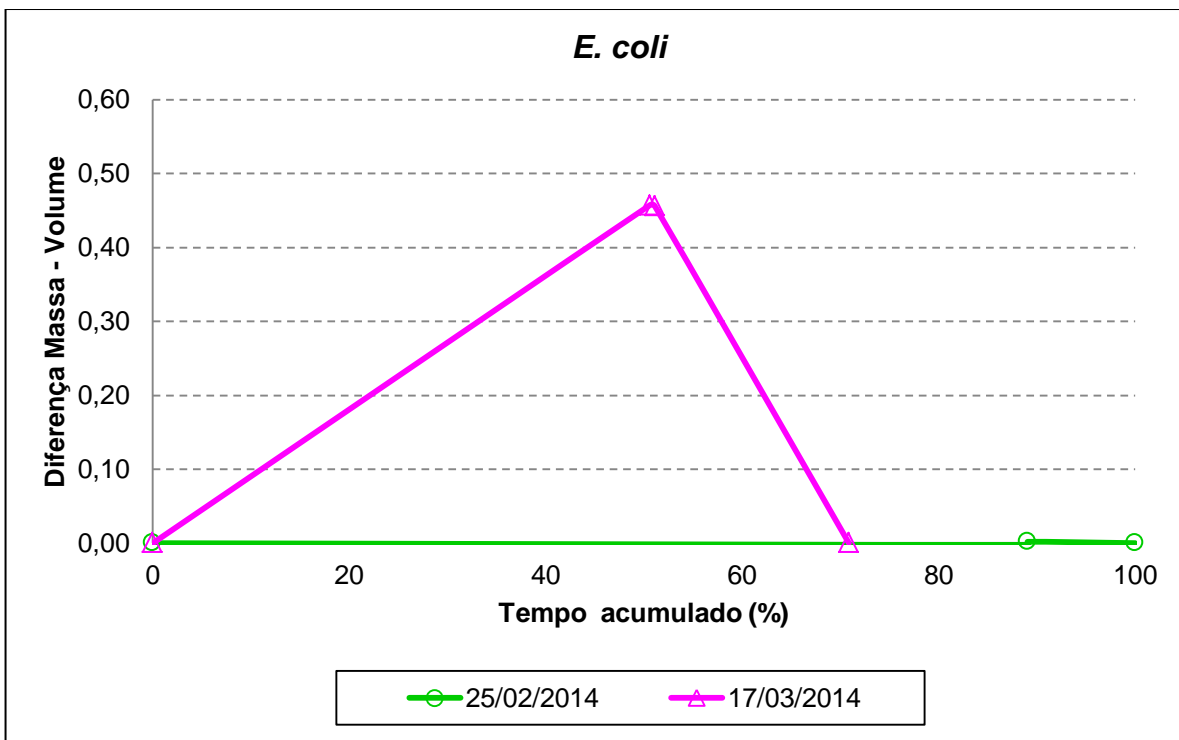


Figura 48 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

As figuras 49 a 52 ilustram o resultado da diferença entre as curvas adimensionais de massa poluente acumulativa e do volume escoado acumulativo através do tempo acumulativo do evento para os metais pesados. Observa-se carga de lavagem significativa para Cu nos eventos de 14/01/14 e 17/03/14, em 14/01/14 para Ni. Não ocorreram cargas de lavagem expressivas para Zn e Pb nos eventos monitorados.

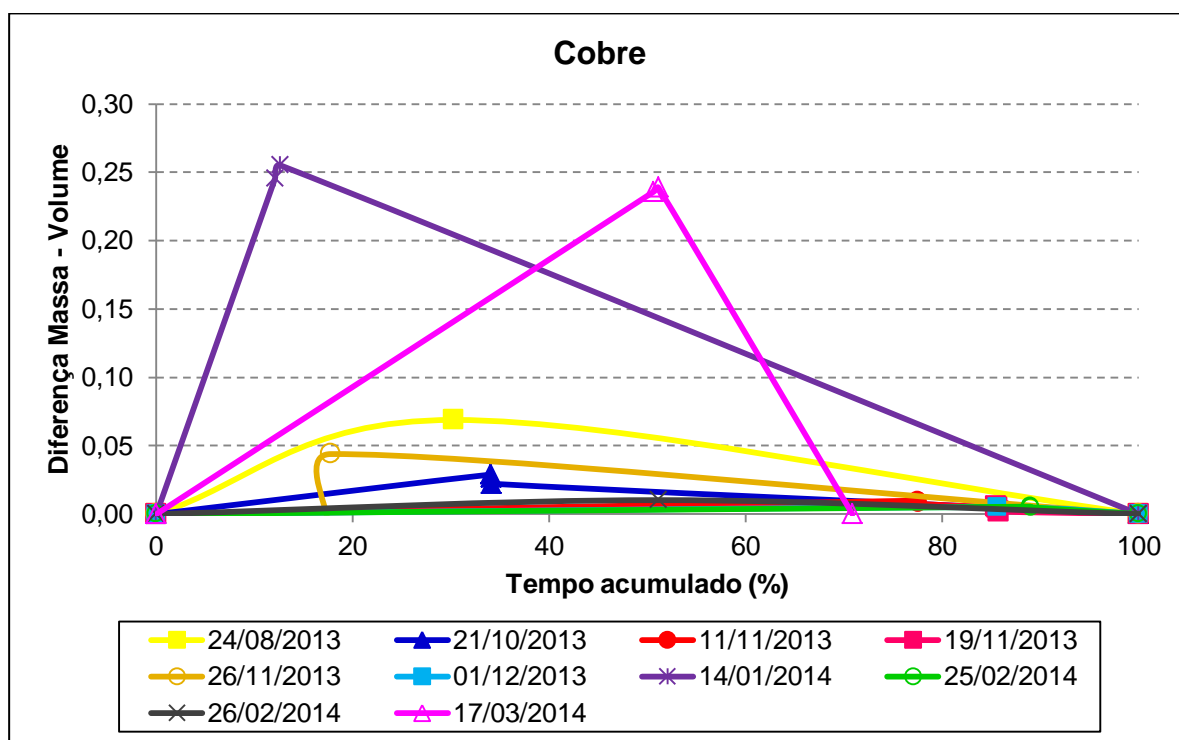


Figura 49 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

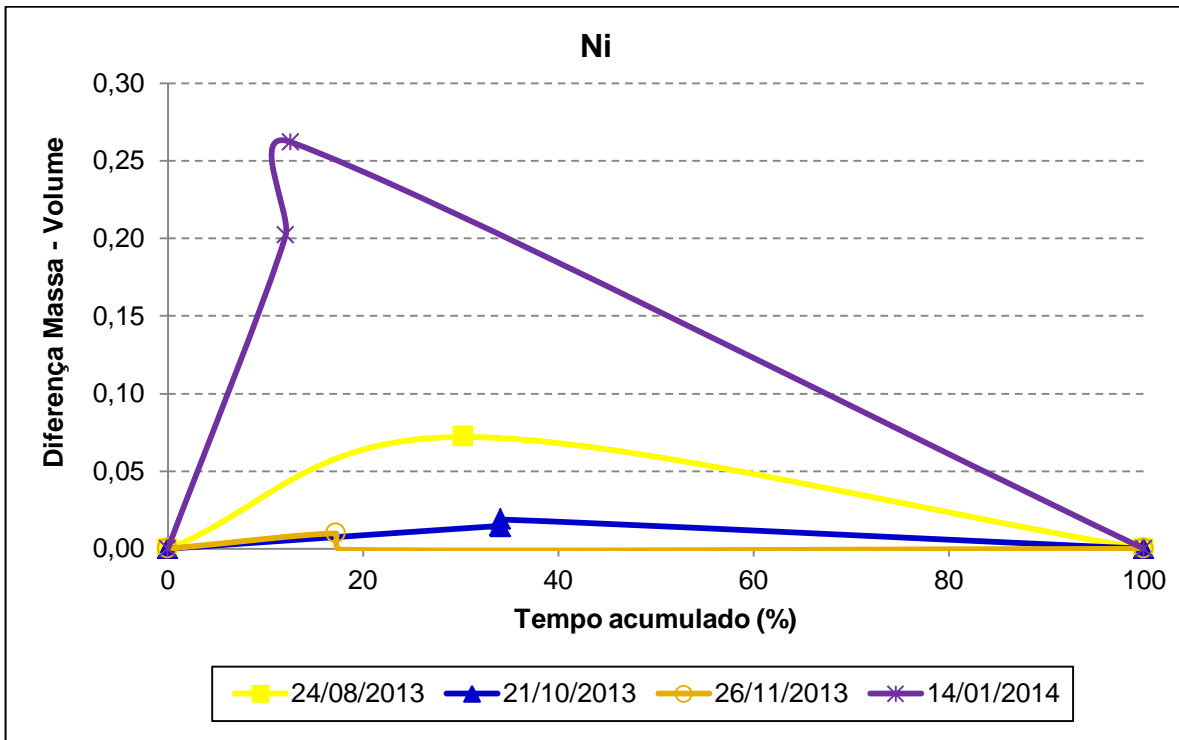


Figura 50 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

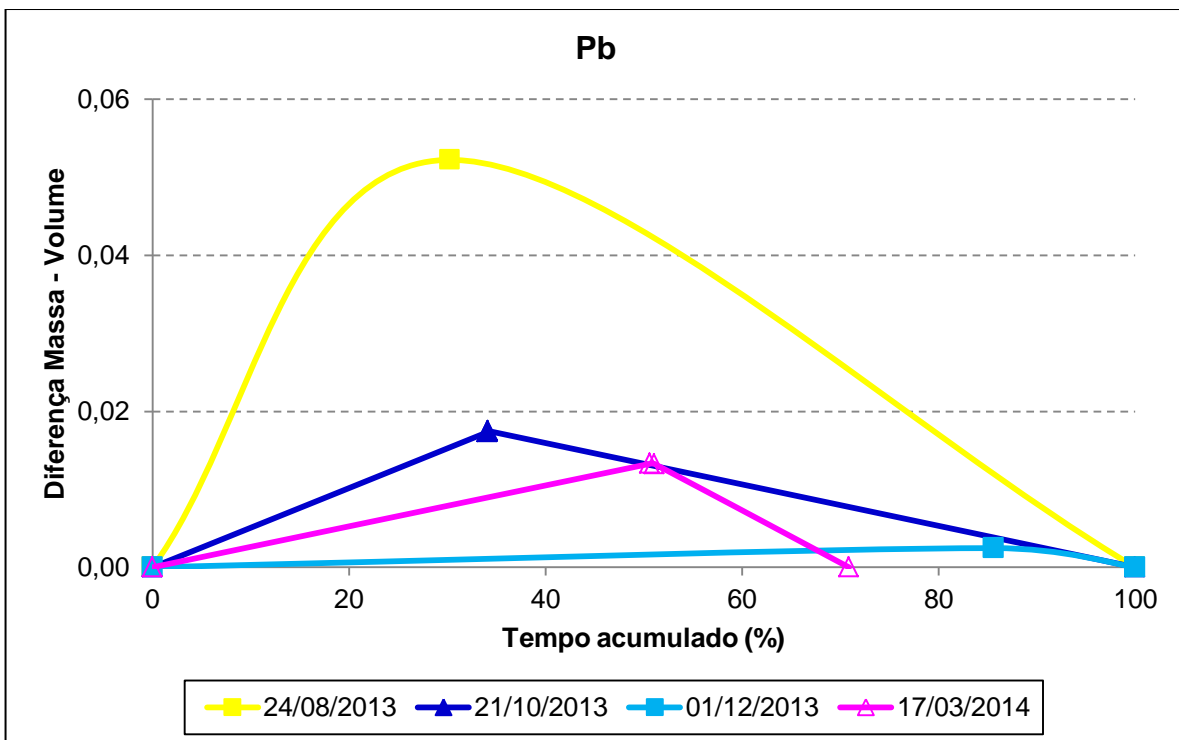


Figura 51 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

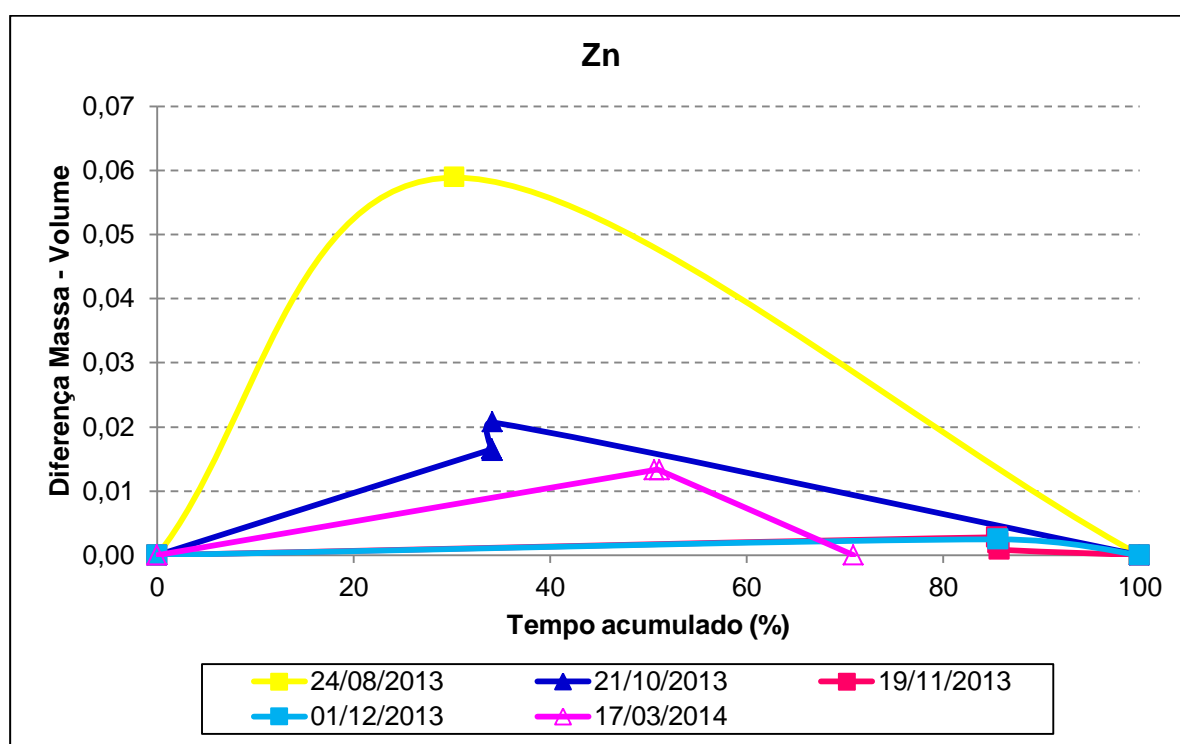


Figura 52 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

O resultado da diferença entre as curvas adimensionais de massa poluente acumulativa e do volume escoado acumulativo através do tempo acumulativo do evento para os nutrientes é ilustrado nas figuras 53 a 55. Observa-se carga de lavagem expressiva de nitrito e fosfato somente no evento de 17/03/14, para nitrato não foram observadas cargas de lavagem significativas, no entanto, constatou-se que as cargas de lavagens menos expressivas foram maiores em relação às de nitrito.

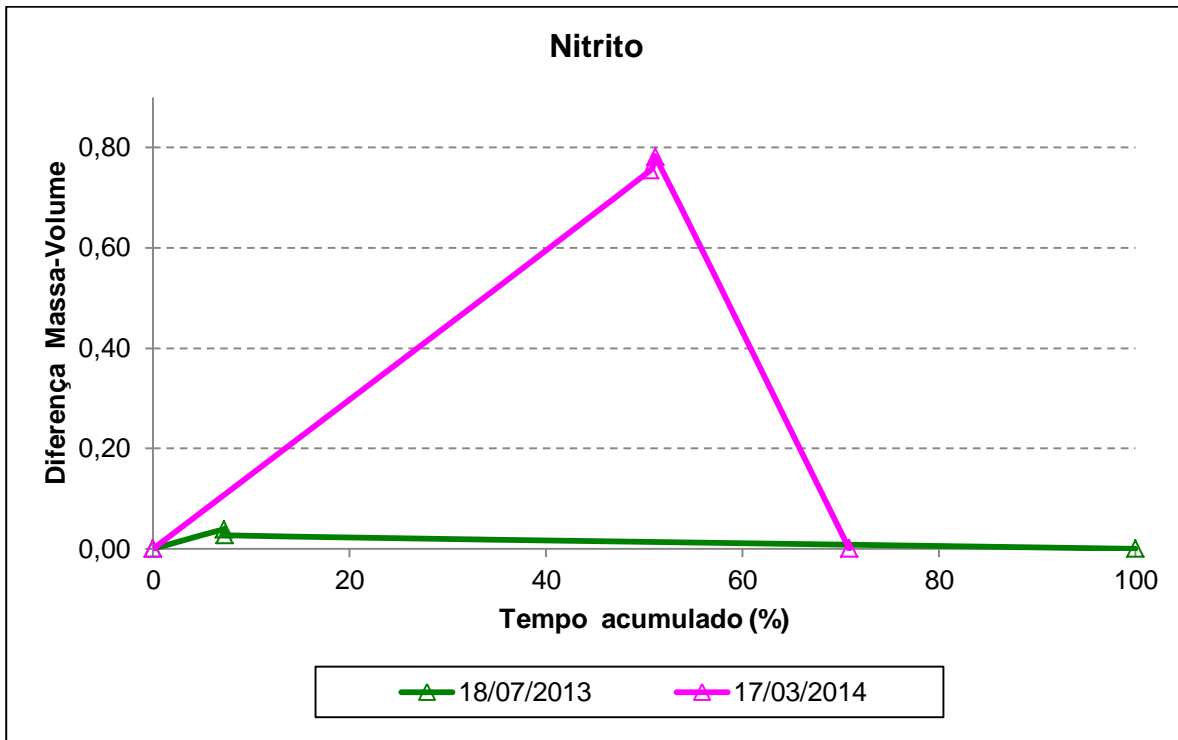


Figura 53 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

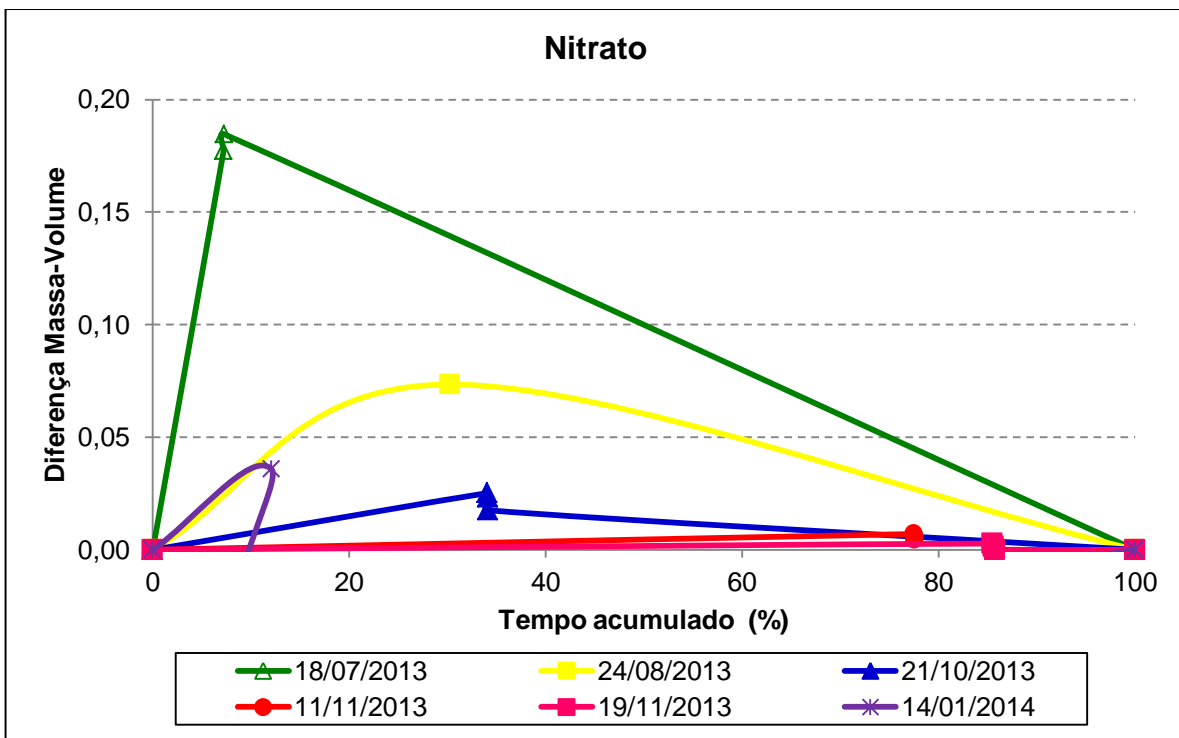


Figura 54 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

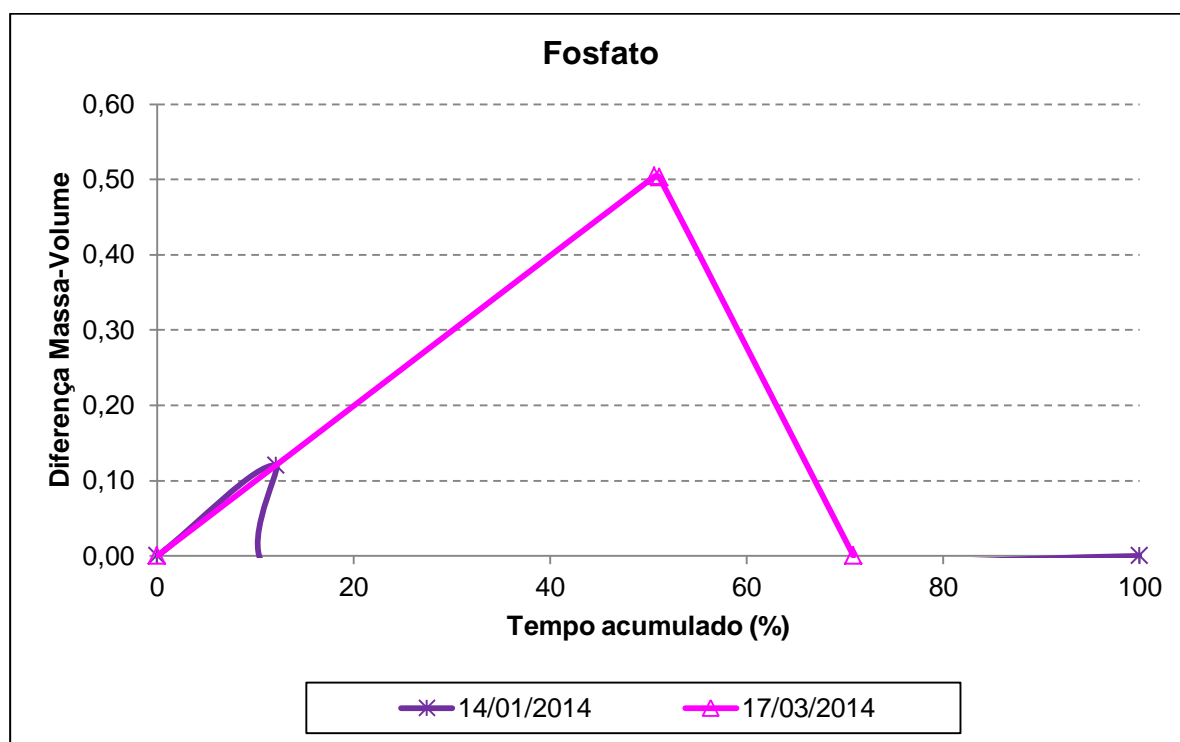


Figura 55 - Curvas Máxima Divergência para os eventos monitorados

Observou-se que os eventos com semelhantes características sazonais apresentaram distribuição análoga no tempo, justificado pelos padrões das precipitações durante as estações climáticas.

Reforça-se que o efeito da carga de lavagem apresenta variações entre os eventos e parâmetros, ocorrendo para alguns e não para outros, sendo influenciada pelas características de cada evento e pelo período de tempo seco antecedente.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente estudo avaliaram-se as cargas de poluentes nas águas superficiais e nos sedimentos veiculados pela rede de drenagem urbana, no Arroio Cancela-Tamandaí localizado no município de Santa Maria-RS.

A qualidade da água foi analisada por meio de coletas em períodos de tempo seco e úmido, possibilitando a obtenção da carga poluente do escoamento superficial e a correlação com as variáveis hidrológicas dos períodos analisados. As análises físico-químicas, microbiológicas, metais e de nutrientes foram indicativas de qualidade da água no arroio.

Considerando o uso e ocupação do solo, as análises mostram que o arroio Cancela-Tamandaí sofre interferência de maneira acentuada e negativa na qualidade da água, com intensa degradação do arroio, ultrapassando os limites estabelecidos pela Classe IV segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

A concentração média dos poluentes nos eventos mostrou tendência a aumentar com a precipitação e com a intensidade de precipitação. O período seco antecedente apresentou correlação significativa com os metais pesados cobre e níquel.

Em relação à análise estatística com correlações significativas fortes entre OD e nitrato ($r=0,85$), DBO e DQO ($r=0,78$), *E. coli* e turbidez ($r=0,63$) o coeficiente de Pearson superior a $r=0,60$ ilustram a degradação da qualidade da água no Arroio Cancela-Tamandaí.

A carga difusa obtida na bacia Cancela-Tamandaí para sólidos suspensos totais foi de 28.812 kg/ha/ano, para DBO de 3.225 kg/ha/ano e para coliformes totais de 5,03E+07 organismos/ha/ano.

As curvas M(V), juntamente as curvas de máxima divergência evidenciaram a variabilidade da carga de lavagem e as diferenças entre os eventos e parâmetros. A diferença na carga poluente deveu-se ao processo de degradação elevada devido às atividades antrópicas, como urbanização, e lançamento inadequado de efluente doméstico no corpo hídrico.

A qualidade dos sedimentos foi avaliada por meio de coletas em tempo seco, possibilitando comparações entre as concentrações obtidas e as diretrizes nacionais

e internacionais. Os parâmetros analisados na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí apresentaram ampla variabilidade nas concentrações obtidas.

As concentrações de metais pesados biodisponíveis nos sedimentos de fundo e as concentrações de metais pesados nos sedimentos em suspensão apresentaram-se abaixo do limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 454/2012 e pelas diretrizes de sedimentos do Instituto do meio Ambiente do Canadá.

A composição granulométrica do material de leito do arroio Cancela-Tamandaí é arenosa, com predomínio de areia grossa e areia média.

Este trabalho contribuiu para compreensão da qualidade da água e dos sedimentos em uma bacia urbana, bem como, na ocorrência da carga de lavagem e cargas poluidoras difusas.

Recomenda-se o seguimento do trabalho com uso de organismos bioindicadores da qualidade da água e dos sedimentos, para a avaliação da toxicidade e bioacumulação causada por metais pesados. Sugere-se também a avaliação da concentração total de metais pesados nos sedimentos de fundo, na fração $<63\mu\text{m}$, comparando as concentrações obtidas em cada metodologia utilizada.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, v. 1, p. 299-351, 2000.

ADACHI, K.; TAINOSHO, Y. Single Particle Characterization of Size-fractionated Road Sediments. **Applied Geochemistry**. v.20. n.5. p.849-859, 2005.

ALTIN A.; FILIZ, Z.; ISCEN, C. F. Assessment of seasonal variations of surface water quality characteristics for Porsuk Stream. *Environ. Monit. Assess.*, v. 158, p.51–65, 2009.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. Brasília, 2012.

ANTUNES, M.; ANTUNES, M. T.; FERNANDES, A. N.; CRESPO, J. S.; GIOVANELA, M. Nutrient contents in bottom sediment samples from a southern Brazilian microbasin. **Environ. Earth Sci.**, v.69, p.959–968, 2013.

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20a ed., Public Health Association Inc., New York, 1998.

ARIAS, M. E.; BROWN, M. T.; SANSALONE, J. J. S. Characterization of storm water - suspended sediments and phosphorus in an urban catchment in Florida. *Journal of Environmental Engineering*, v.139, p.277-288, 2013.

ATHANASIOS, N. P., MOHAMED, E., GEORGE, K., SHWET, P., JOHN, E. Sediment transport modeling review-current and future developments. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.1, p.1-14, 2008.

BACK, A. J. Medidas de medição de vazão com molinete hidrométrico e coleta de sedimentos em suspensão. Boletim Técnico nº130. EPAGRI, Florianópolis-Santa Catarina, 2006.

BAJJALI, W. Water Quality Assessment of Newton Creek and Its Effect on Hog Island Inlet of Lake Superior. **Water Qual Expo Health**, v. 4, p.123–135, 2012.

BARTRAM, J.; BALANCE, R. **Water Quality Monitoring- A practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes**. United Nations Environment Programme and the World Health Organization-UNEP/WHO, 1996.

BECK, H. J.; BIRCH, G. F. Metals, nutrients and total suspended solids discharged during different flow conditions in highly urbanised catchments. **Environ. Monit. Assess.** v.184, p.637–653, 2012.

BELING, F.A. **Análise do desempenho do modelo SWMM5 acoplado ao calibrador pest na bacia do arroio Cancela/RS**. 2013. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

BERRETTA, C.; SANSALONE J. Speciation and Transport of Phosphorus in Source Area Rainfall–Runoff. **Water Air Soil Pollut.** v. 222, p. 351–365, 2011.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; CHEBBO, G. & SAGET, A. Distribution of Pollutant Mass vs. Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon. **Water Resource.** v. 32, n. 8, p. 2341-2356, 1998.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 19 mar. 2014.

BREGUNCE, D. T.; JORDAN, E. N.; DZIEDZIC, M.; MARANHO, L. T.; CUBAS, S. A. Avaliação da Qualidade da Água do Ribeirão dos Müller, Curitiba-PR. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.1, n.3, p. 39-47, 2011.

BRITES, A.P.Z.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da Carga Poluente no Sistema de Drenagem de Duas Bacias Hidrográficas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, V.12, n.4, Out/Dez, p. 211-221, 2007.

CAMPANHA, M. B.; MOREIRA, A. B.; BISINOTI, M. C. Metal fluxes at the sediment–water interface in rivers in the Turvo/Grande drainage basin, São Paulo State, Brazil. **J. Soils Sediments**, v.12, p. 1508–1516, 2012.

CARRERAS, N. M.; KREIN, A.; GALLART, F.; IFFLY, J. F.; HISSLER, C.; PFISTER, L.; HOFFMANN, L. OWENS, P. N. The Influence of Sediment Sources and hydrologic

Events on the Nutrient and Metal Content of Fine-Grained Sediments (Attert River Basin, Luxembourg). **Water Air Soil Pollut.**, v. 223, p.5685–5705, 2012.

CARVALHO, N.O. **Guia de praticas sedimentométricas**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de estudos e informações hidrológicas, 154 p. 2000.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**, 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro, Interciência, 599 p. 2008.

CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. **Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Protocol for the derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life** (CCME EPC-98E). 35 p, 1999.

CDC, Center for Disease Control and Prevention. **Second National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals**. Atlanta, Georgia: NCEH Pub. n. 02-0716. p.251, 2003.

CHARLESWORTH, S. M.; EVERETT, M.; MCCARTHY, R.; ORDÓÑEZ, A.; MIGUEL, E. 2003. A Comparative Study of Heavy Metal Concentration and Distribution in Deposited Street Dusts in a Large and a Small Urban Area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. **Environment International**. v.29, p.563-573, 2003.

CHARLESWORTH, S. M.; ORMEROD, L. M.; LEES, J. A. Tracing Sediment within Urban Catchments using Heavy Metal, Mineral Magnetic and Radionuclide Signatures. In: Foster, I. D. L. (Ed.). **Tracers in Geomorphology**. England: John Wiley & Sons Ltd. 560p., 2000.

CHAUM, C.C. **Avaliação da poluição difusa de esgoto doméstico veiculado à bacia hidrográfica urbana**. 2008. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CHIBA, W. A. C; PASSERINI, M. D.; BAILO, J. A. F.; TORRES, J. C.; TUNDISI, J. G. Seasonal study of contamination by metal in water and sediment in a sub-basin in the Southeast of Brazil. **Braz. J. Biol.**, v. 71, n. 4, p. 833-843, 2011.

CHOW, M. F.; YUSOP, Z. Sizing first flush pollutant loading of stormwater runoff in tropical urban catchments. **Environ. Earth Sci.**, mai., 2014.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais

para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 454, de 1º de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Ministério do Meio Ambiente. 2012.

CRESPO, P. P. **Estatística fácil**. São Paulo: Saraiva, 2005.

CUNHA, D. G. F.; DODDS W. K.; CALIJURI, M. C. Defining Nutrient and Biochemical Oxygen Demand Baselines for Tropical Rivers and Streams in São Paulo State (Brazil): A Comparison Between Reference and Impacted Sites. **Environmental Management**, v. 48, p. 945–956, 2011.

DAGAN, R., DUBEY, B., BITTON, G., TOWNSEND, T. Aquatic toxicity of leachates generated from electronic devices. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 53, p. 168–173, 2007.

DARRIE, G. Commercial Extraction Technology and Process Waste Disposal in the Manufacture of Chromium Chemicals from Ore. **Environmental Geochemistry and Health**. v.23. p.187-193, 2001.

DELETIC, A. Modelling of Water and Sediment Transport over Grassed Areas. **Journal of Hydrology**. v.248. p.168-182, 2001.

DELETIC, A. The first flush load of urban surface runoff [J]. **Water Research**, v.32: p.2462–2470, 1998.

DELETIC, A.; ORR, D. W. Pollution buildup on road surfaces. **Journal of Environmental Engineering- ASCE**. v. 131, n. 1, p. 391-396, 2005.

DOTTO C. B. S. **Acumulação e balanço de sedimentos em superfícies asfálticas em área urbana de Santa Maria - RS**. 2006. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

DROLC, A.; KONCAN, J. Z.; TISLER T. Evaluation of Point and Diffuse Sources of Nutrients in a River Basin on Base of Monitoring Data. **Environ. Monit. Assess.**, v.129, p. 461–470, 2007.

EGOTAWATTA P.; GOONETILLEKE, A. Characteristics of pollutants built-up on residential road surface. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROSCIENCE AND ENGINEERING, 7, 2006. **Anais** Philadelphia-USA, Natural Center for Computational Hydroscience and Engineering, 2006.

ENVIRONMENTAL CANADA. **Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life**. Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables. <<http://www.ec.gc.ca>>, atualizado em 2002.

FLORENCE, P. L.; PAULRAJ, A.; RAMACHANDRAMOORTHY, T. Water quality index and correlation study for the assessment of water quality and its parameters of Yercaud Taluk, Salem District, Tamil Nadu, India. **Chemical Science Transactions**, v.1, n.1, p. 139-149, 2012.

FÖRSTNER, U.; SALOMONS, W.; STIGLIANI, W. M. **Biogedynamics of pollutants in soils and sediments**, Springer: Berlin, 1995, cap. 11.

FOSTIER, A.H; FALÓ TICO, M. B.; E. FERRAZ, S. B.; TOMAZELLI, A. C.; SALOMÃO, M. S. M. B.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Impact of anthropogenic activity on the Hg concentrations in the Piracicaba river basin (São Paulo state, Brazil). **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 381, p. 381–402, 2005.

GASTALDINI, M. C. C.; SILVA, A. R. V. Pollutant Distribution on Urban Surfaces A Case Study in Southern Brazil. **Journal of Environmental Engineering** (New York, N.Y.), v. 139, p. 269-273, 2013.

GE, Y.; MURRAY, P.; HENDERSHOT, W. H. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. **Environmental Pollution**, n.107, p.137-144, 2000.

GOLDING, S. **A Survey of Zinc Concentrations in Industrial Stormwater Runoff**. Waterbody: n.WA-09-1015, Springbrook (Mill) Creek. 2006.

GROMAIRE, M. C.; GARNAUD, S.; SAAD, M.; CHEBO, G. Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers. **Water Researches**, v.35, n.2, p.521-533, 2001.

GUPTA, K., & Saul, A. J. Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows. **Water Research**, v.30, p. 1244-1252, 1996.

HATHAWAY, J. M.; TUCKER R. S.; SPOONER, J. M.; HUNT, W. F. A Traditional Analysis of the First Flush Effect for Nutrients in Stormwater Runoff from Two Small Urban Catchments. **Water Air Soil Pollut.**, v. 223, p. 5903–5915, 2012.

HUANG, J.; DU, P.; AO, C.; LEI, M.; ZHAO, D.; HO M.; WANG, Z. Characterization of surface runoff from a subtropics urban catchment. **Journal of Environmental Sciences**, v. 19, p. 148-152, 2007.

HUANG, J.; TU, Z.; DU, P.; LI, Q.; LIN, J. Analysis of rainfall runoff characteristics from a subtropical urban lawn catchment in South-east China. **Front. Environ. Sci. Engin. China**. v. 6, n.4, p.531-539. 2011

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do Censo Demográfico**. 2010. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_rio_grande_do_sul.pdf>.

JAFFÉ, R.; GARDINALI, P. R.; CAI, Y.; SUDBURRY, A.; FERNANDEZ, A.; Hay, B. J. Organic Compounds and Trace Metals of Anthropogenic Origin in Sediments from Montego Bay, Jamaica: Assessment of Sources and Distribution Pathways. **Environmental Pollution**. v.123. p.291-299, 2003.

JAVED, M.; USMANI, N. **Impact of Heavy Metal Toxicity on Hematology and Glycogen Status of Fish: A Review**. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences. 2014

JUNG, J-W.; PARK, H-N.; YOON, K-S.; CHOI, D-H.; - LIM, B.-J. Event Mean Concentrations (EMCs) and First Flush Characteristics of Runoff from a Public Park in Korea. **Journal Korean Soc. Appl. Biol. Chem.** V.56, p.597–604, 2013.

KIM, G.; YUR, J.; KIM, J. Diffuse pollution loading from urban stormwater runoff in Daejeon city, Korea. **Journal of Environmental Management**, v.85, p. 09-16, 2007.

Kim, LH; Kayhanian, M.; Stenstrom, M. K. Event mean concentration and loading of litter from highways during storms. **Sci. Total Environ.**, v.330, p.101–13, 2004.

KIM, S. W.; PARK, J. S.; KIM, D.; OH, J. M. Runoff characteristics of non-point pollutants caused by different land uses and a spatial overlay analysis with spatial distribution of industrial cluster: a case study of the Lake Sihwa watershed. **Environ. Earth Sci.**, v.71, p. 483–496, 2014.

KUINCHTNER, A.; Buriol, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências Exatas, Santa Maria-RS, v.2, n.1, p.171-182, 2001.

LEE, J. Y.; KIM, H.; KIM, Y.; HAN, M. Y. Characteristics of the event mean concentration (EMC) from rainfall runoff on an urban highway. **Environmental Pollution**, v.159, p. 884-888, 2011.

LERNER, D.; RICHARDS, D.; SAUL, A.; SCHELLART, A.; SNAITH, H. Can the big society reduce diffuse urban pollution? Proceedings of Water & Environment .CIWEM's Annual Conference, Big Society: Future Environment. London, UK: Chartered Institution of Water and Environmental Management, 2011.

LI, D. X., WANG, X. K., WANG, D. C. Effect of velocity gradient on the turbulent intensity of suspended particles (in Chinese). **International Journal of Sediment Research**, v.6, p.30–35, 2000.

LI, L.; SHAN, B.; YIN, C. Stormwater runoff pollution loads from an urban catchment with rainy climate in China. **Front. Environ. Sci. Eng.**, v. 6, p. 672–677, 2012b.

LI, W.; SHEN, Z.; TIAN, T.; LIU, R.; QIU, J. Temporal variation of heavy metal pollution in urban stormwater runoff. **Front. Environ. Sci. Eng.**, v. 6, p. 692–700, 2012a.

LICHT, O. A. B. **Prospecção Geoquímica-Princípios, Técnicas e Métodos**, CPRM: Rio de Janeiro, 1998.

LINCOLN, J. D.; OGUNSEITAN, O. A.; SHAPIRO, A. A., SAPHORES, J. D. M. Leaching assessments of hazardous materials in cellular telephones. **Environmental Science and Technology**, v. 41, n.7, p. 2572–2578, 2007.

LUCA, R., NATHALIE, C., ROLF, F. Sediment contamination assessment in urban areas based on total suspended solids. **Water Research**, v.47, n.1, p.339–350, 2013.

LUO, H.; LUO, L.; HUANG, G.; LIU, P.; LI, J.; HU, S.; WANG, F.; XU, R.; HUANG, X. Total pollution effect of urban surface runoff. **Journal of Environmental Sciences**, v.21, n.9, p.1186-1193, 2009.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. 1 Ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1990.

MADRID, L., DÍAZ-BARRIENTOS, E., MADRID, F. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. **Chemosphere**. v.49, n.10, p.1301–1308, 2002.

MARTÍNEZ L. L. G.; POLETO C. Lead distribution by urban sediments on impermeable areas of Porto Alegre - RS, Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering (JUÉE)**, v.4, n.1, p.1-8, 2010.

MARTÍNEZ, L. L. G.; POLETO, C. Assessment of diffuse pollution associated with metals in urban sediments using the geoaccumulation index (Igeo). **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 7, p. 1251-1257. 2014.

MARTINS, F.B, Zoneamento Ambiental da Sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria-RS - (Estudo de caso). **Cerne**, Lavras, v.11, p.315-322, julh/set, 2005.

MÉTADIER, M.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J. -L. The use of long-term on-line turbidity measurements for the calculation of urban stormwater pollutant concentrations, loads, pollutographs and intra-event fluxes. **Water Research**, . 46, n. 20, p.6836-6856, 2012.

MIYAZAWA, M. **Estado da Arte: Metais Pesados no Solo e na Planta** – Projeto Interdisciplinar para a Definição de Critérios Sanitários Agronômicos e Ambientais para Implantação da reciclagem Agrícola do Lodo de Esgoto, Instituto Ambiental do Paraná, Brasil, 1996.

NABELKOVA, J.; KOMINKOVA, D. Trace Metals in the Bed Sediment of Small Urban Streams. **The Open Environmental & Biological Monitoring Journal**, v.5, p.48-55, 2012.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A (Coords.). **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NASCIMENTO, A.N. **Estimativa da carga de lavagem transportada pelo rio Itibaia, SP**. 2001. 222p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Área Recursos Hídricos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 36-48, 2005.

OBERMANN, M.; ROSENWINKEL, K.; TOURNOUD, M. Investigation of first flushes in a medium-sized mediterranean catchment. **Journal of Hydrology**, v. 373, n.3-4, p. 405–415, 2009.

OKI, V. K. **Impactos da colheita de Pinus taeda sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias**. 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

POLETO, C. et al. Urban sediment particle size and pollutants in Southern Brazil. **Journal of Soils and Sediments**, v.9, n. 4, p.317-327, 2009a.

POLETO, C. **Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano**. 2007. 159p Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

POLETO, C.; CASTILHO, Z.C. Impacto por poluição difusa de sedimentos em bacias urbanas. In: POLETO, C. (Org.) **Ambiente e Sedimentos**. Porto Alegre: Ed. ABRH, 2008, p.193-227.

POLETO, C.; CHARLESWORTH, S.; LAURENTI, A. Urban aquatic sediments. In: POLETO C.; CHARLESWORTH, S. (Ed.). **Sedimentology of aqueous systems**. Londres: Wiley and Blackwell, p.181-240, 2010.

POLETO, C.; MERTEN, G. H. Estudos de Zn e Ni em sedimentos fluviais em suspensão e o risco potencial aos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13, n.3, jul/set, p.147-154, 2008a.

POLETO, C.; MERTEN, G.H. Urban Street Pollutants. **Revista Pesquisas em Geociências**, UFRGS, Porto Alegre-RS, v.35, n.2, set, p.3-8, 2008b.

POLETO, C.; MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. The identification of sediment sources in a small urban watershed in southern Brazil: An application of sediment fingerprinting. **Environmental Technology**, v.30, n. 11, p. 1145–1153, 2009b.

ROBAINA, L.E. et al. Análise dos ambientes urbanos de risco do município de Santa Maria – RS. **Ciência & Natura**, v.23, p.139-152, 2001.

RUSSELL, M. A.; WALLING, D. E.; HODGKINSON, R. A. 2001. Suspended Sediment Sources in Two Small Lowland Agricultural Catchments in the UK. **Journal of Hydrology**. v.252. n.1-4, p.1-24. 2001

SANTOS, D. R.; SILVA, L. S.; KAMINSKI, J.; CERETTA, C. A.; SANTOS, M. A. S. Poluentes Orgânicos e Inorgânicos. In: Poletto, C.; Merten, G. H. (Orgs.). **Qualidade dos Sedimentos**. Porto Alegre: ABRH, p.397, 2006.

SKORDAS, K., KELEPERTZIS, E., KOSMIDIS, D., PANAGIOTAKI, P., VAFIDIS, D. Assessment of nutrients and heavy metals in the surface sediments of the artificially lake water reservoir Karla, Thessaly, Greece. **Environ. Earth Sci.**, 2014.

SCHRIKS, M.;HERINGA, M. B.; VAN DER KOOI, M. M.; DE VOOGT, P.; VAN WEZEL, A. P. Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality. **Water Research**, v.44, n.2, p.461-476, 2010.

TAYLOR, K. G; OWENS,P.N. Sediments in urban river basins: a review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. **Journal of Soils and Sediments**, v.9, n. 4, p.281-303, 2009.

TAYLOR, K. Urban Environments. In: Perry, C.; Taylor, K. (Eds.). **Environmental Sedimentology**. UK: Blackwell Publishing Ltd. p. 441, 2007.

TERAZONO, A., MURAKAMI, S., Abe, N., INANC, B., MORIGUCHI, Y., SAKAI, S., et al. Current status and research on Ewaste issues in Asia. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v.8, n.1, p. 1–12, 2006.

TUCCI, C. E. M. Impactos da urbanização. In: TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: Ed. ABRH/RHAMA, p.104-121, 2007.

TUCCI, C. E. M. Inundações e Drenagem Urbana. In: **Inundações Urbanas na América do Sul**. Tucci, C. E. M.; Bertoni, J. C. (orgs.). Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos-ABRH, 2003.

UMEZAWA, P.K. Previsão de deplúvio (washload) em rios de áreas elevadas. 1979. 217 p. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada). Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.
UNESCO/WHO. **Water Quality Assessment: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. U.K.: UNESCO / UNEP. 1998.

U.S.EPA, United States Environmental Protection Agency. **Procedure for the derivation of Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks (ESBs) for the protection of benthic organisms: metal mixtures (cadmium, cooper, lead, nickel, silver and zinc)**. Office of Research and Development. (EPA-600-R-02-011), 121 p. Washington, D.C., 2005.

UWE-UNIVERSITY OF THE WEST OF ENGLAND. **Pearson's Correlation Coefficient, (r)**. Bristol, Reino Unido, 2012. Disponível em: <<http://hsc.uwe.ac.uk/dataanalysis/quantInfAssPear.asp>>. Acesso em: 02 jun 2014.

VAN METRE, P.C.; MAHLER, B.J. The contribution of particles washed from rooftops to contaminant loading to urban streams. **Chemosphere**, v.52, n.10, p.1727-1741, 2003.

VAZE, J.; CHIEW, F. H. S. Nutrient loads associated with different sediments sizes in urban stormwater and surface pollutants. **Journal of Environmental Engineering-ASCE**, v. 130, n. 4, p. 391-396, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2005.

WANG, Z.; YAN, C.; PAN, Q.; YAN, Y. Concentrations of some heavy metals in water, suspended solids, and biota species from Maluan Bay, China and their environmental significance. **Environ. Monit. Assess.**, v.175, p.239–249, 2011.

WONG, M. H., WU, S. C., DENG, W. J., YU, X. Z., LUO, Q., LEUNG, A. O.W., et al. Export of toxic chemicals-A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling. **Environmental Pollution**, v. 149, n.2, p.131–140, 2007.

ZHANG, G.; PAM, Z.; HOU, X.; WANG, X.; LI, X. Distribution and bioaccumulation of heavy metals in food web of Nansi Lake, China. **Environ. Earth Sci.**, 2014.

ZHANG, Q.; WANG, X.; HOU, P.; WAN, W.; REN, Y.; OUYANG, Z.; YANG, L. The temporal changes in road stormwater runoff quality and the implications to first flush control in Chongqing, China. **Environ. Monit. Assess.**, v. 185, n.12, p. 9763–9775, 2013.

ZHU, H-W.; WANG, D-Z.; CHENG, P-da.; Dynamic release process of pollutants during suspended sediment transport in aquatic system. **Applied Mathematics and Mechanics**, ago 2014.

APÊNDICE A – Divisão da bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí em setores censitários

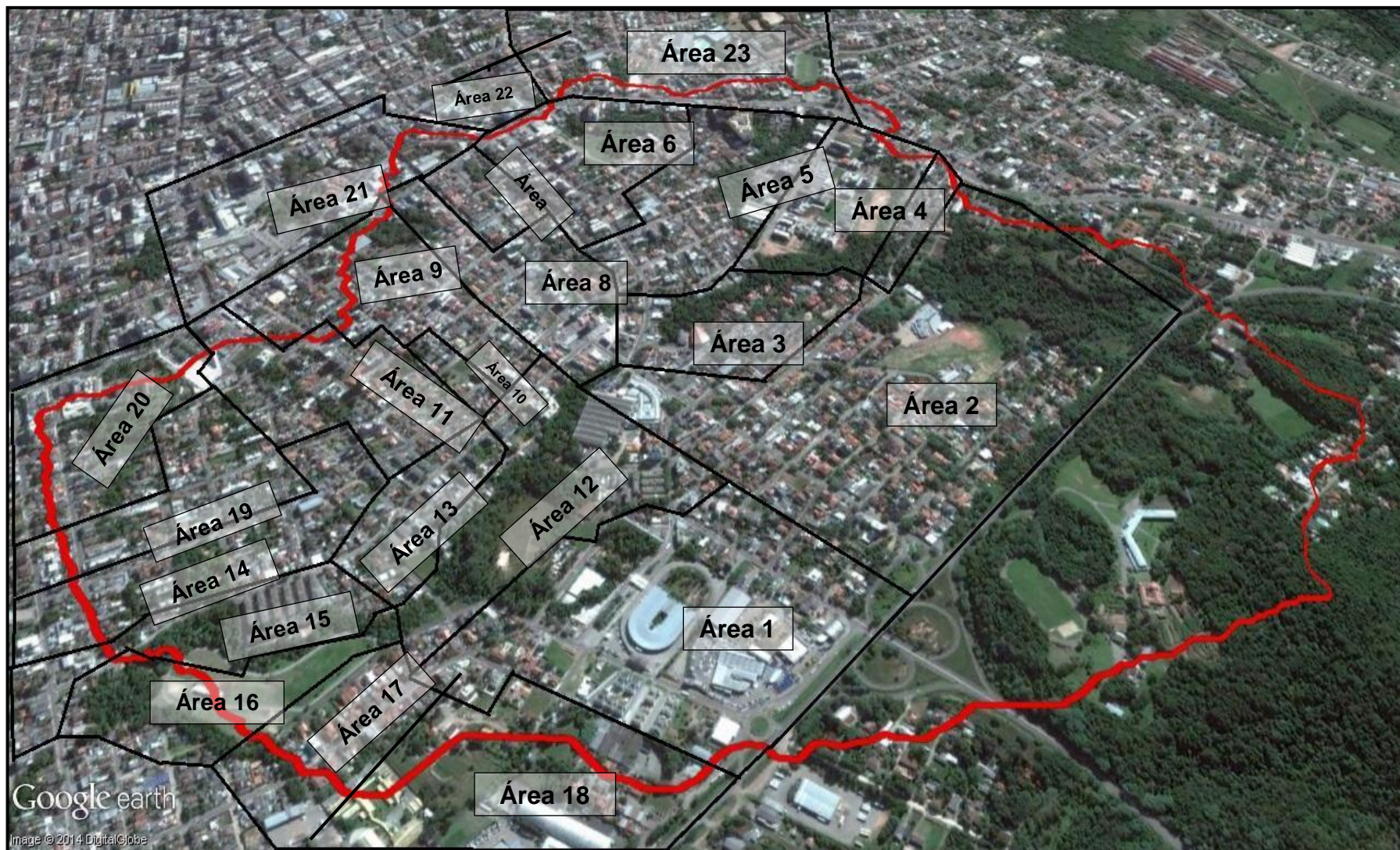


Figura A. 1 - Setores censitários de acordo com dados do IBGE (2010)

Tabela A. 1 - Discriminação do número de habitantes, população contribuinte e domicílios na bacia hidrográfica Cancela-Tamandaí, com base nos dados do Censo demográfico do ano de 2010.

Habitantes	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15	Área 16	Área 17	Área 18	Área 19	Área 20	Área 21	Área 22	Área 23	TOTAL
Residentes	504	1026	618	318	683	667	366	858	956	278	683	713	381	900	712	0	126	548	727	765	1035	891	538	14293
Homens	246	444	281	126	325	291	166	392	436	134	311	331	178	412	304	0	58	246	318	304	412	420	253	6388
Mulheres	258	582	337	192	358	376	200	466	520	144	372	382	203	488	408	0	68	302	409	461	623	471	288	7908
Domicílios	217	350	255	137	332	317	190	382	389	122	283	381	160	357	306	0	43	239	278	302	509	460	222	6231
Domicílios ocupados	188	314	234	119	287	268	146	336	344	107	249	298	146	330	287	0	41	215	250	247	407	387	195	5395
População contribuinte	14293																							
Domicílios	6231																							

APÊNDICE B – Hidrogramas, pontos adotados e coletados nos eventos
da bacia Cancela-Tamandaí

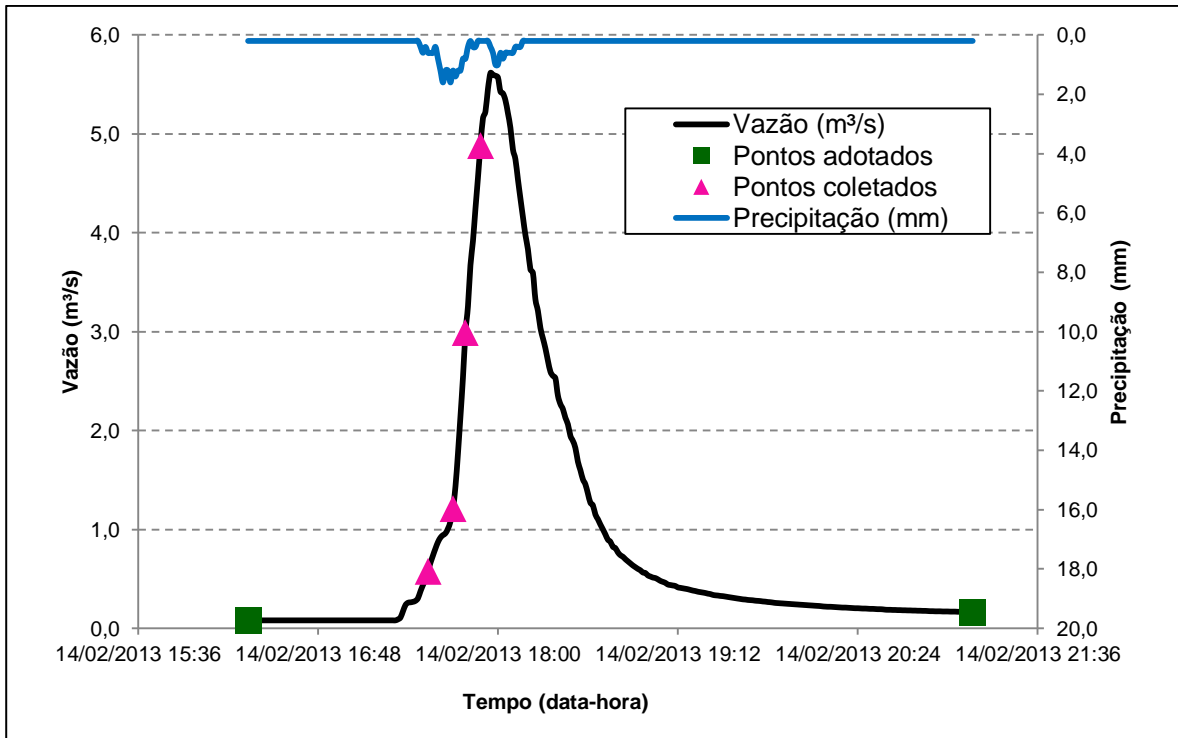


Figura B. 1 - Hidrograma do evento – dia 14/02/2013

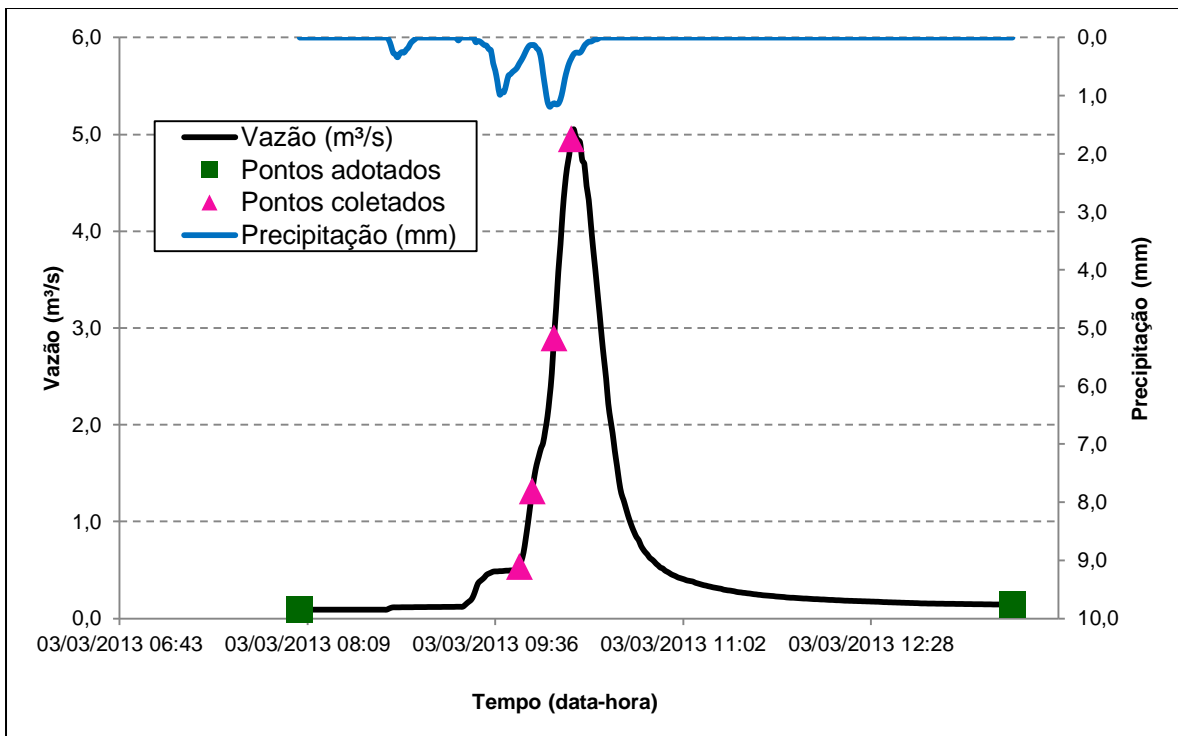


Figura B. 2 - Hidrograma do evento – dia 03/03/2013

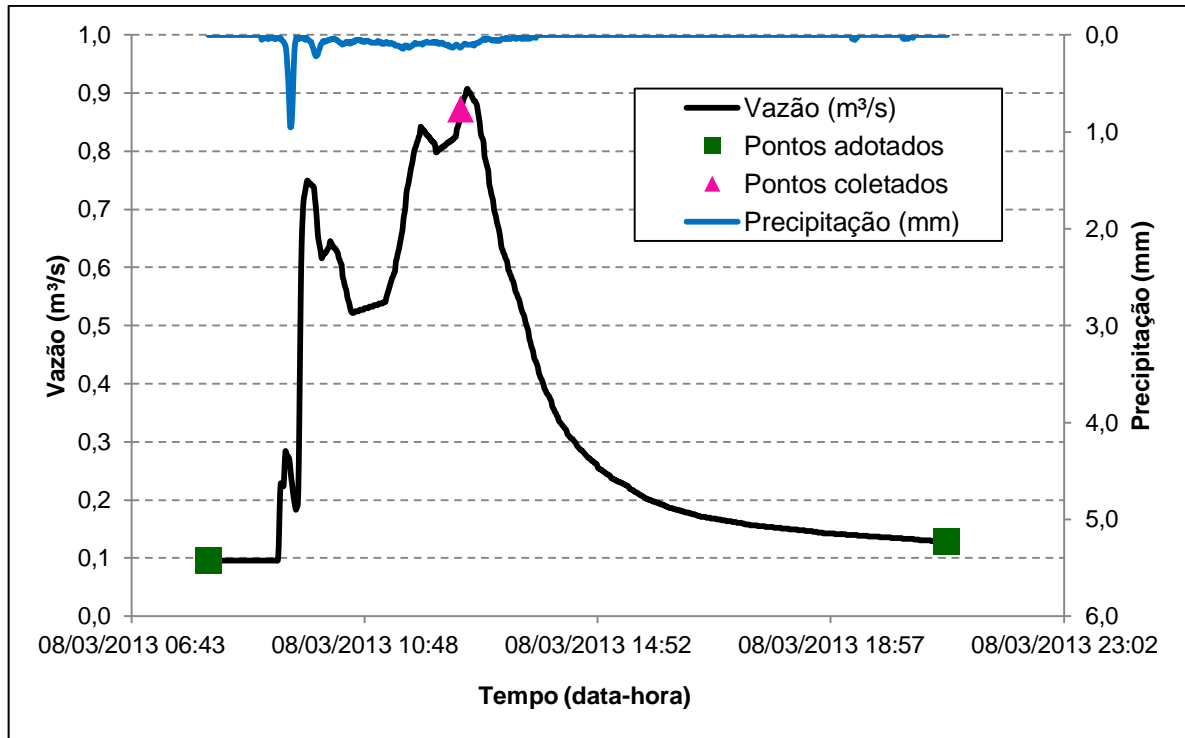


Figura B. 3 - Hidrograma do evento – dia 08/03/2013

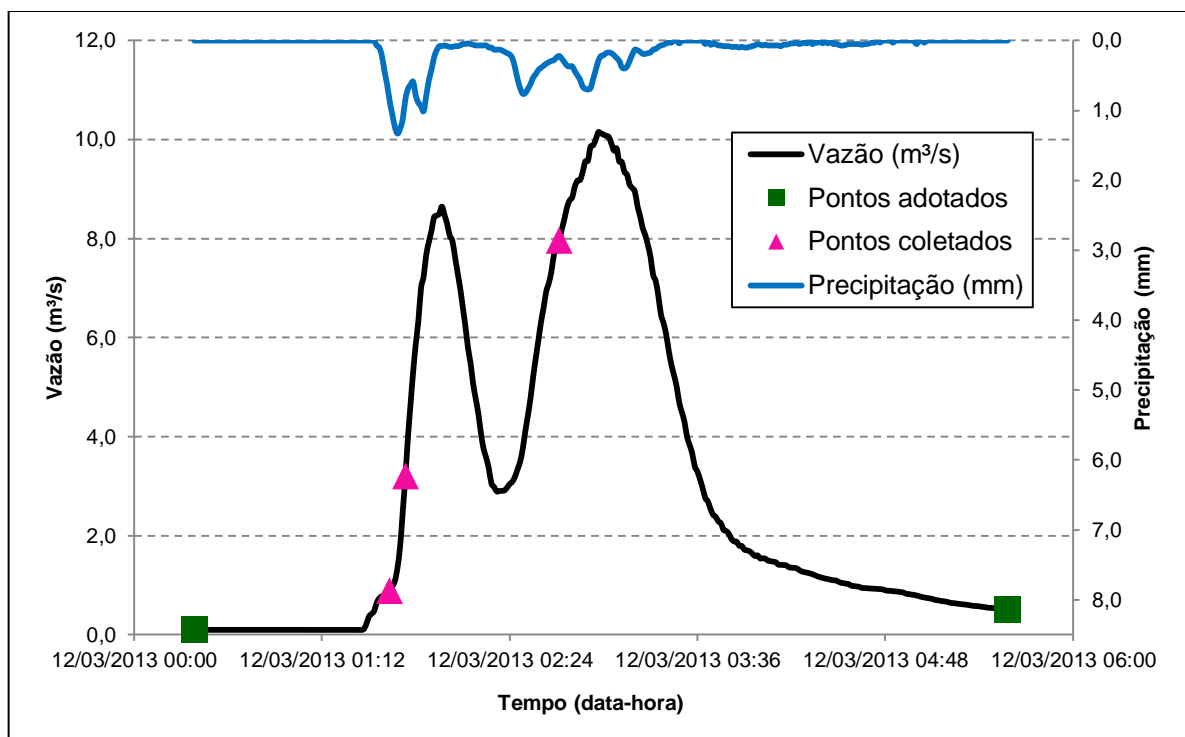


Figura B. 4 - Hidrograma do evento – dia 12/03/2013

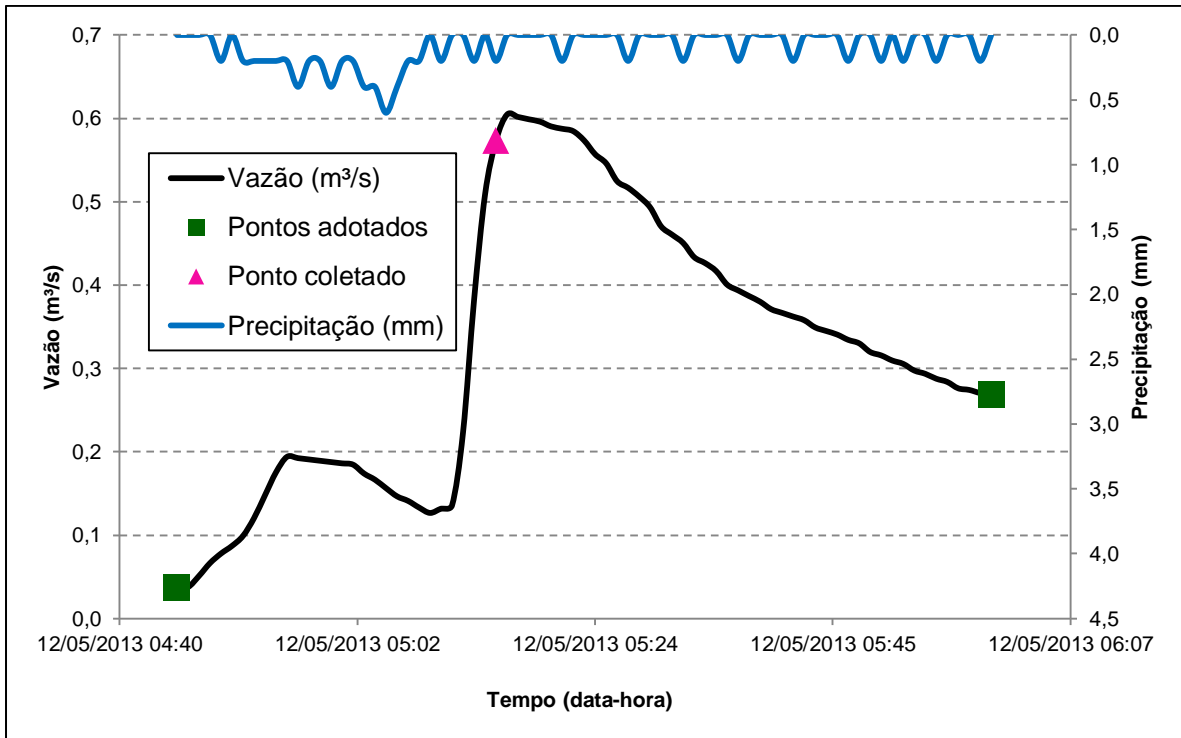


Figura B. 5 - Hidrograma do evento – dia 12/05/2013

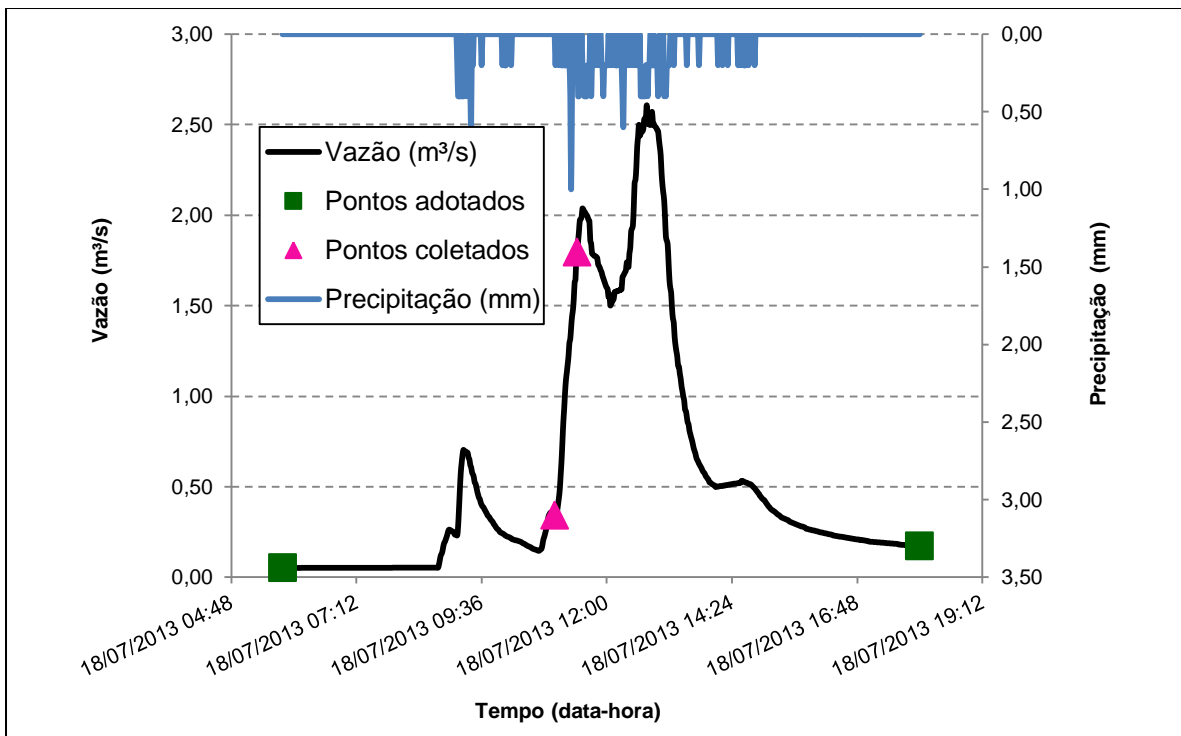


Figura B. 6 - Hidrograma do evento – dia 18/07/2013

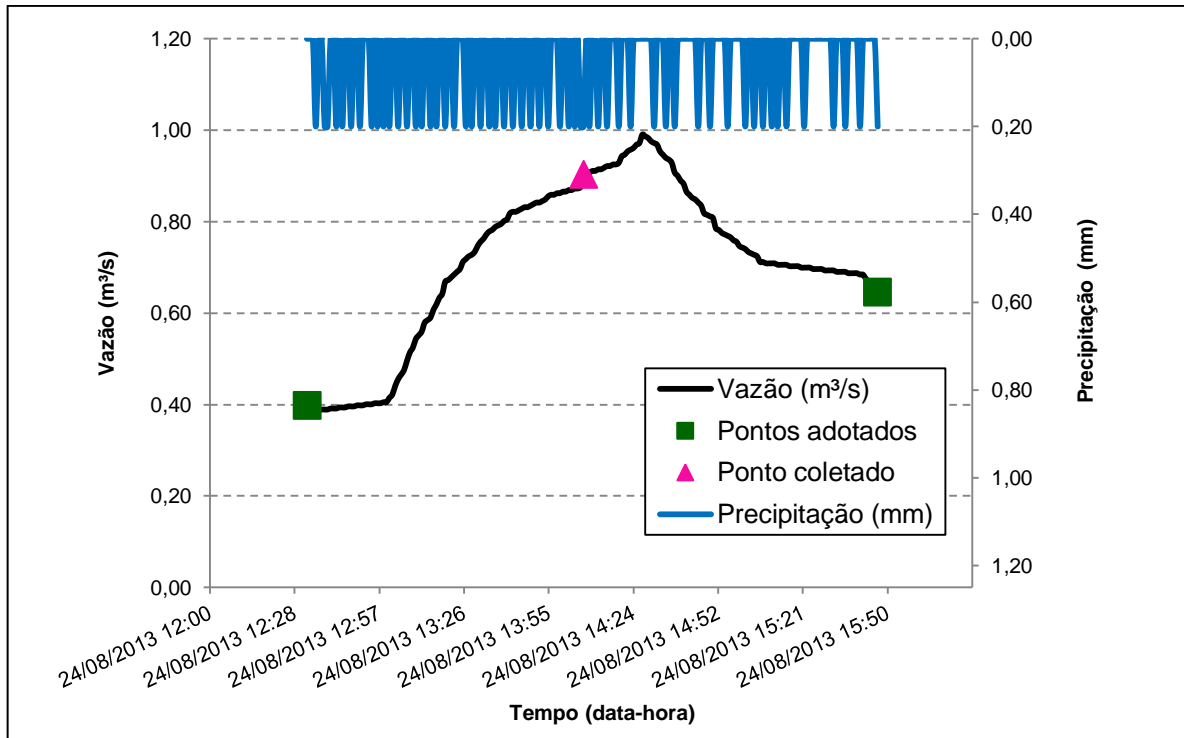


Figura B. 7 - Hidrograma do evento – dia 24/08/2013

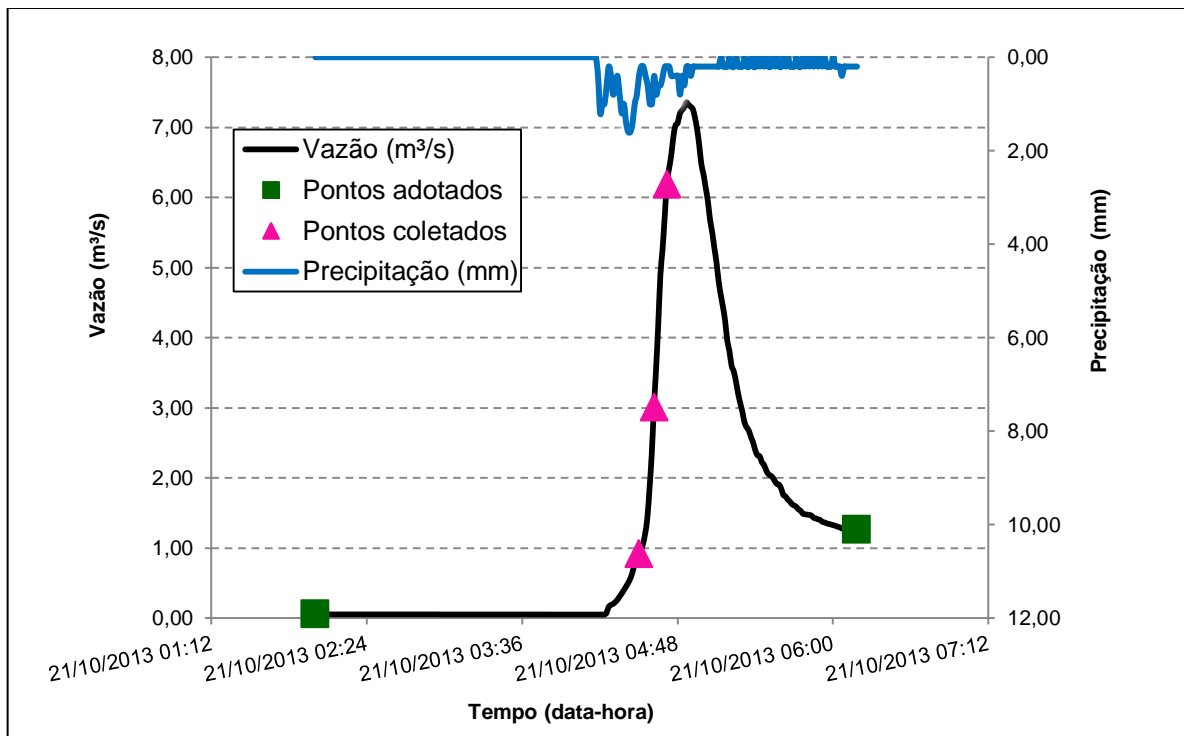


Figura B. 8 - Hidrograma do evento – dia 21/10/2013

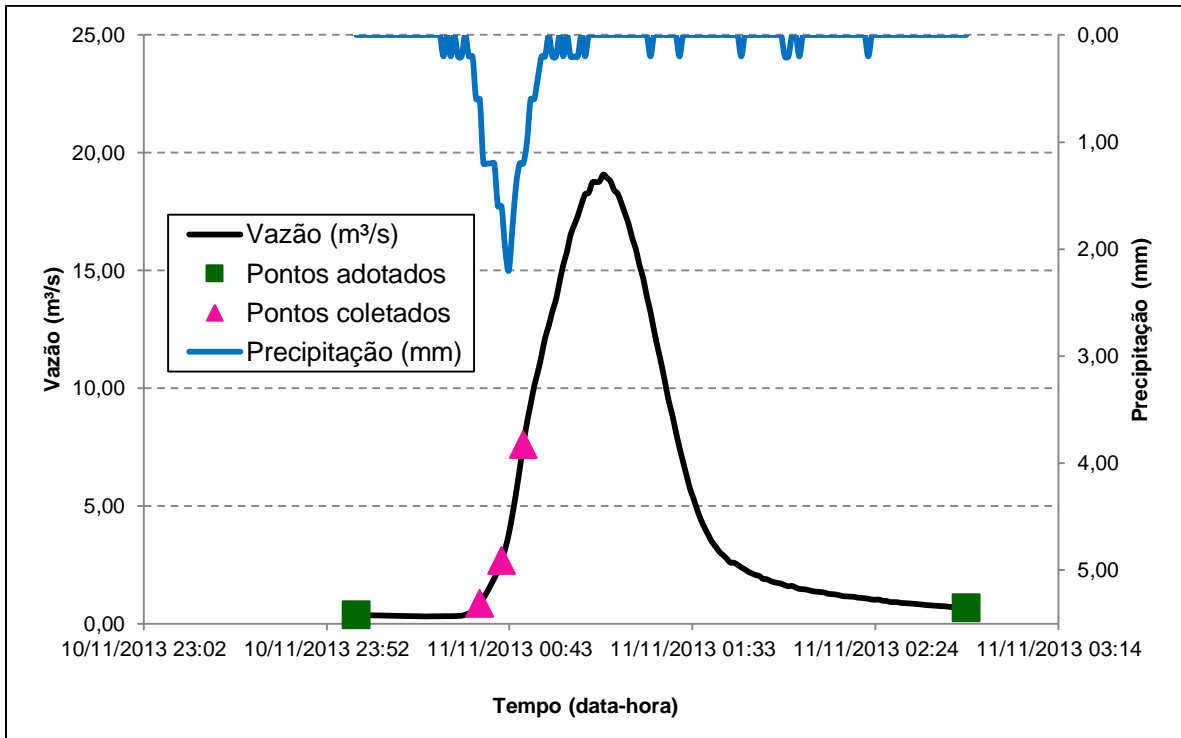


Figura B. 9 - Hidrograma do evento – dia 11/11/2013

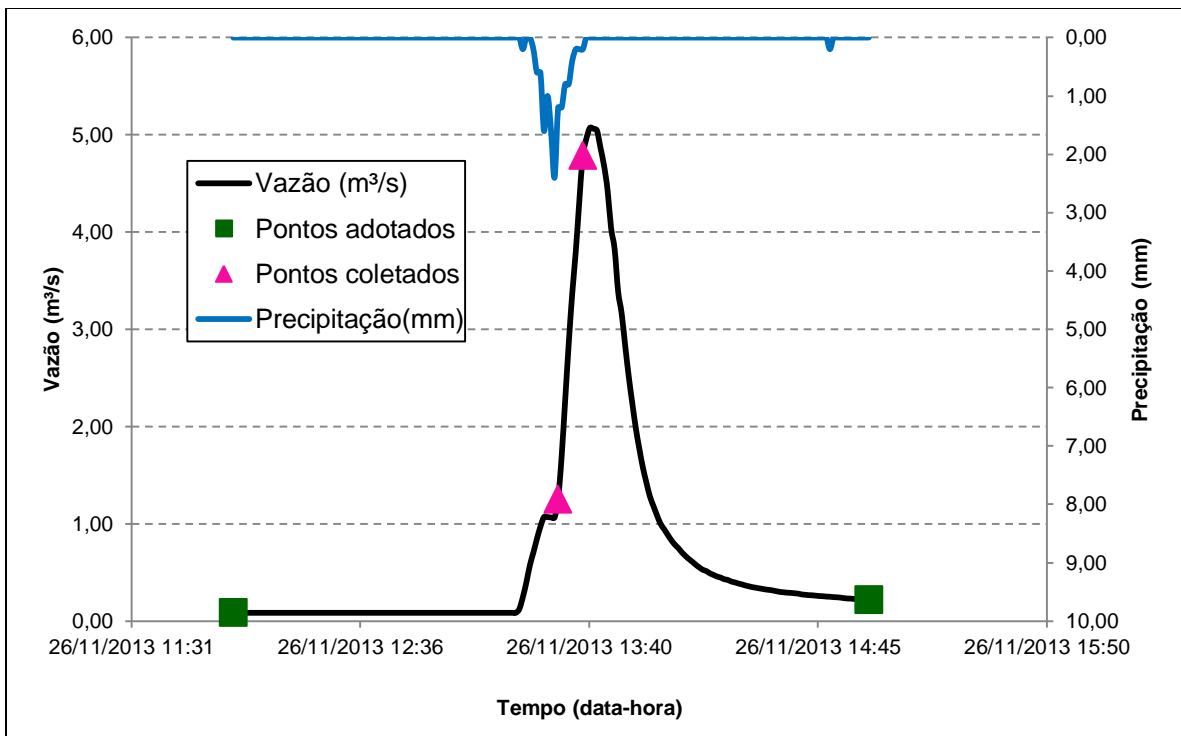


Figura B. 10 - Hidrograma do evento – dia 26/11/2013

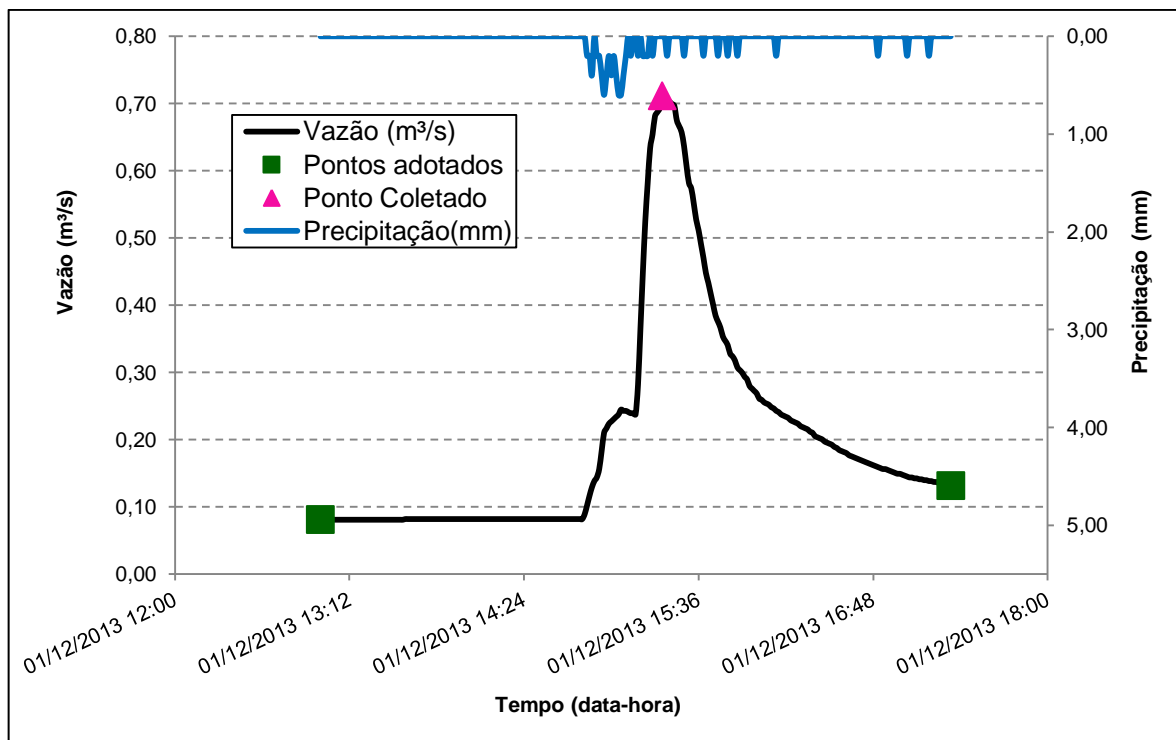


Figura B. 11 - Hidrograma do evento – dia 01/12/2013

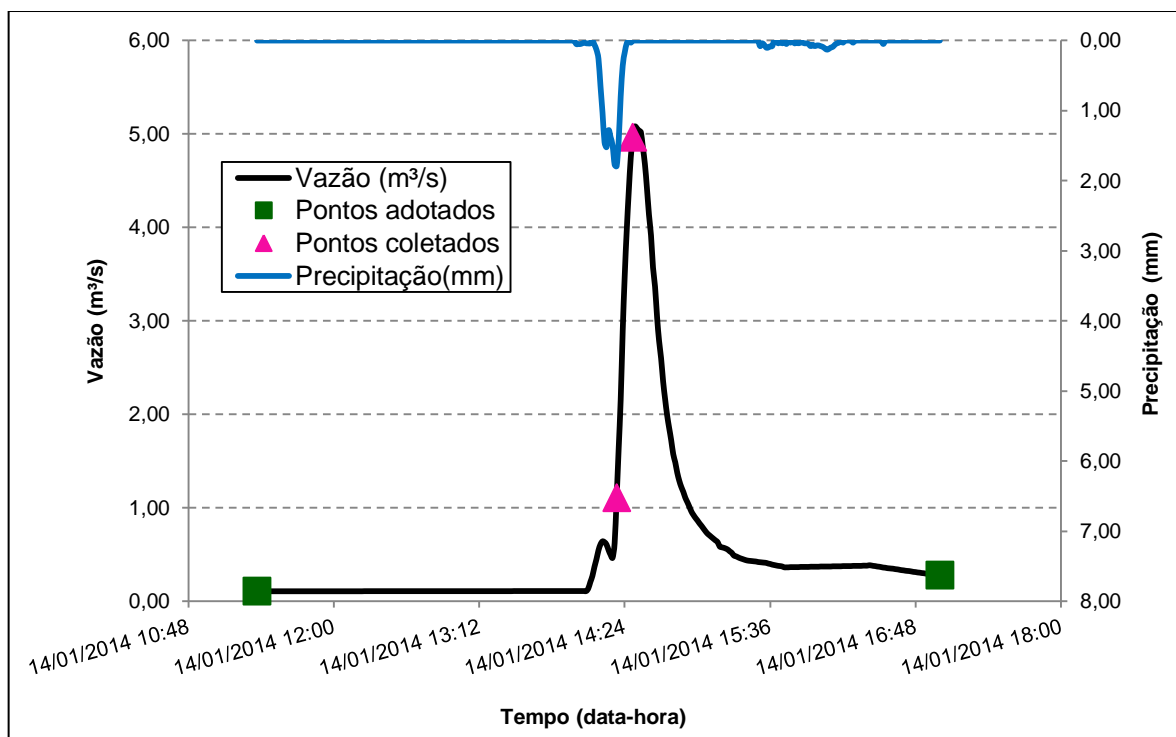


Figura B. 12 - Hidrograma do evento – dia 14/01/2014

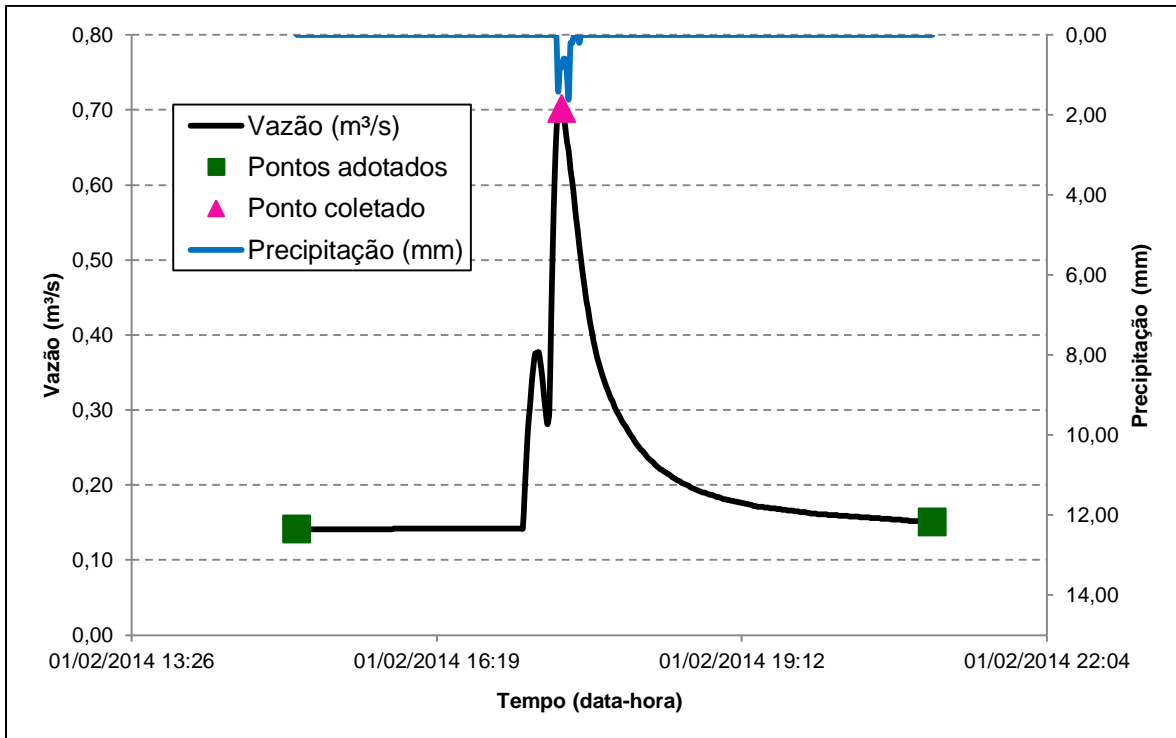


Figura B. 13 - Hidrograma do evento – dia 01/02/2014

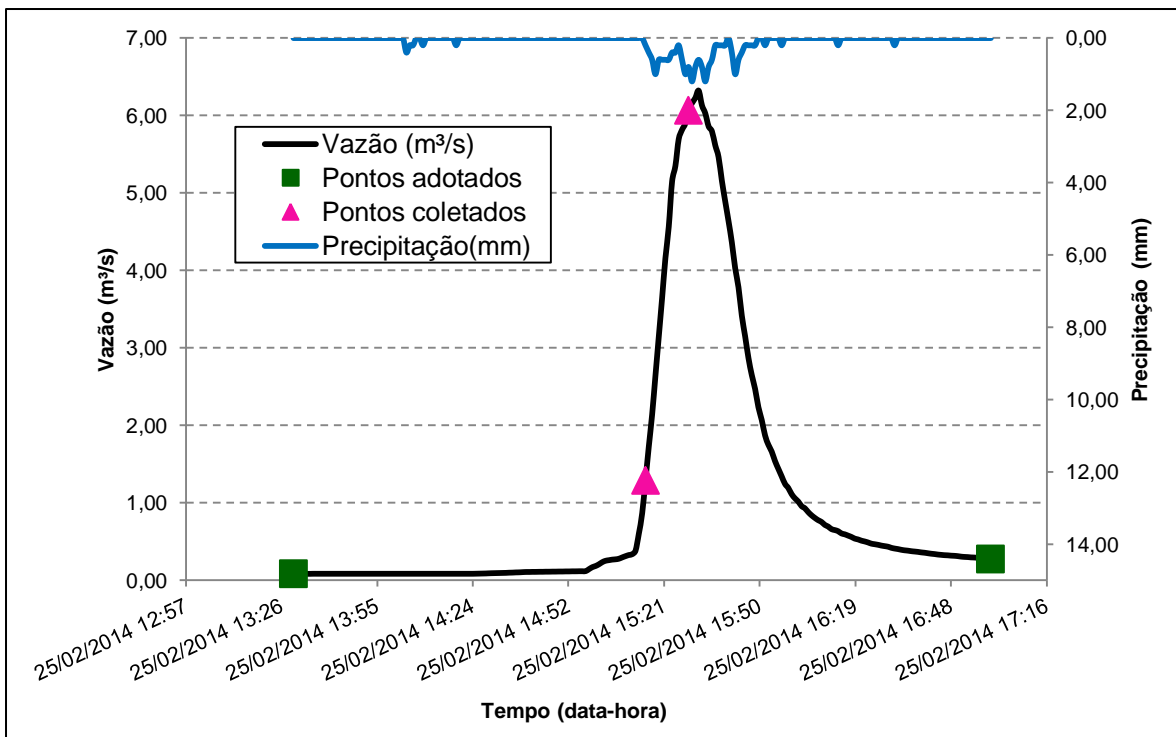


Figura B. 14 - Hidrograma do evento – dia 25/02/2014

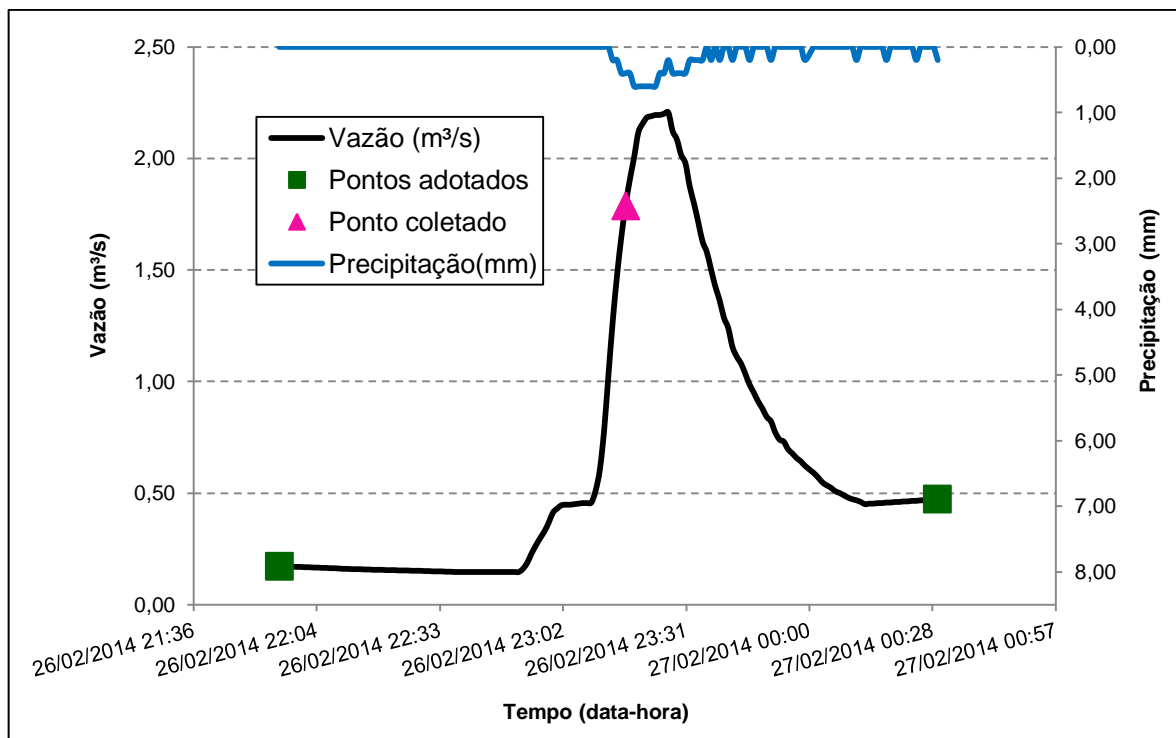


Figura B. 15 - Hidrograma do evento – dia 26/02/2014

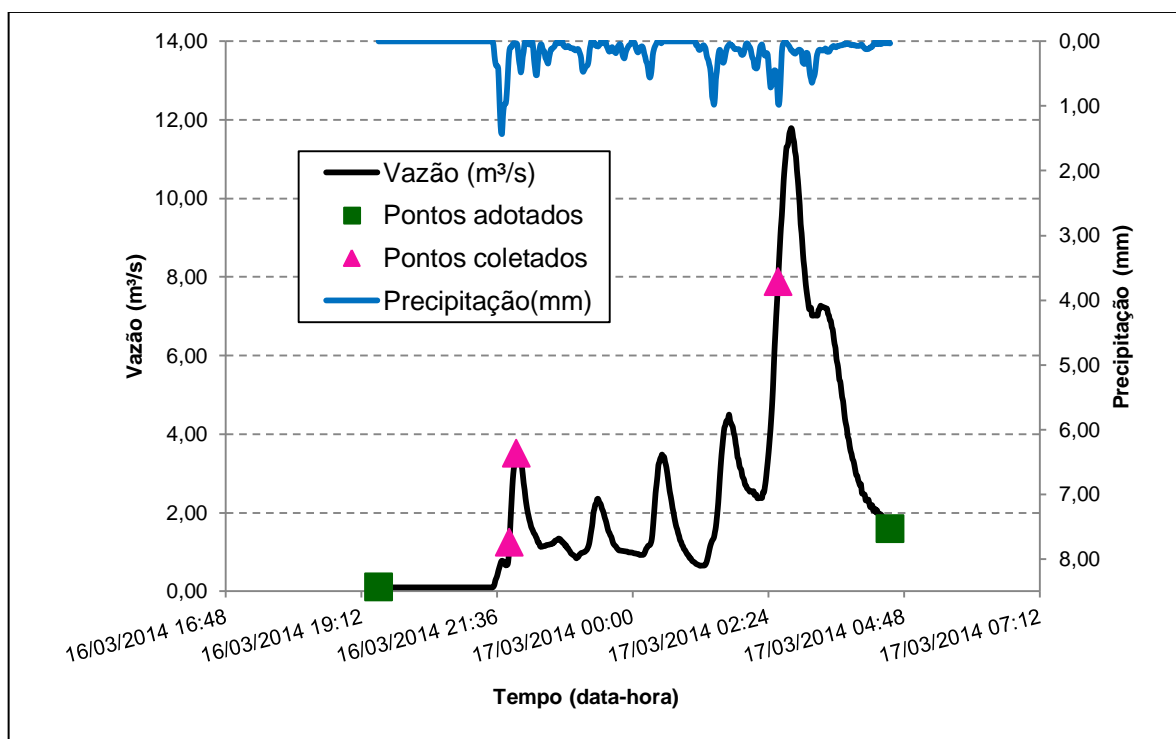


Figura B. 16 - Hidrograma do evento – dia 12/03/2014

APÊNDICE C – Polutogramas dos eventos monitorados na bacia
Cancela-Tamandaí

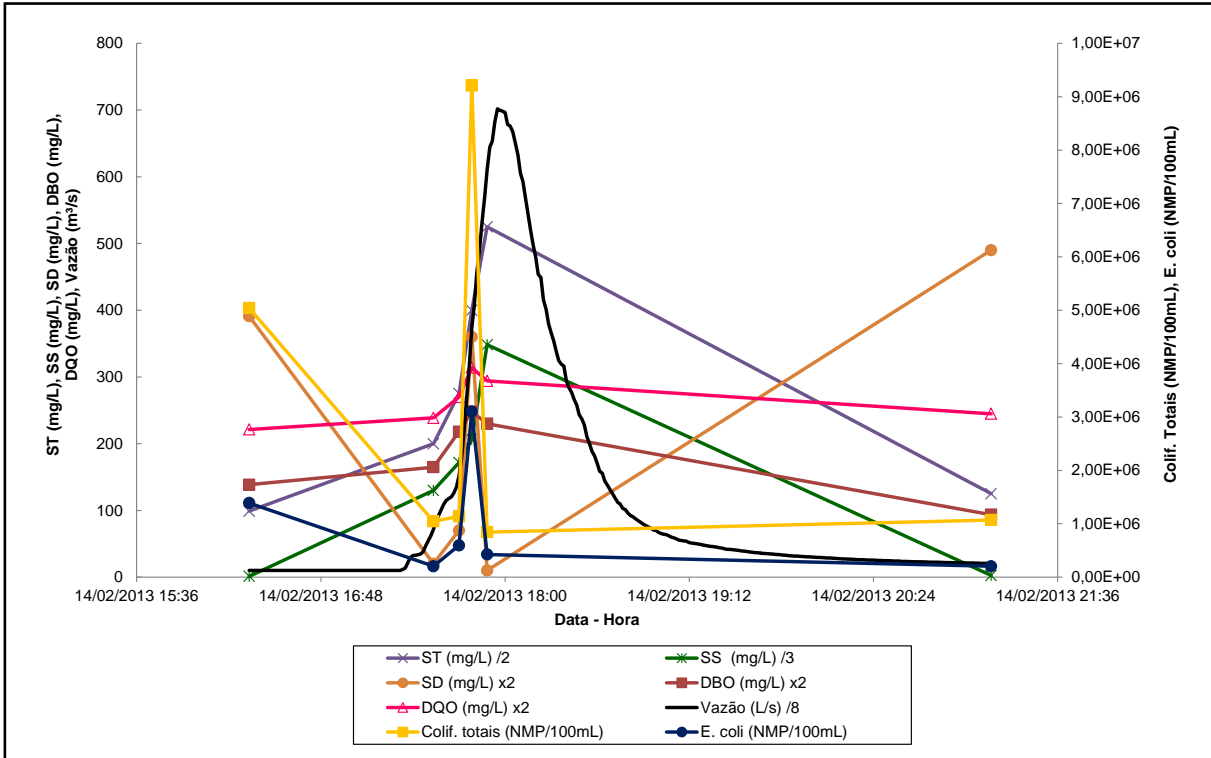


Figura C. 1 - Polutograma do evento – dia 14/02/2013

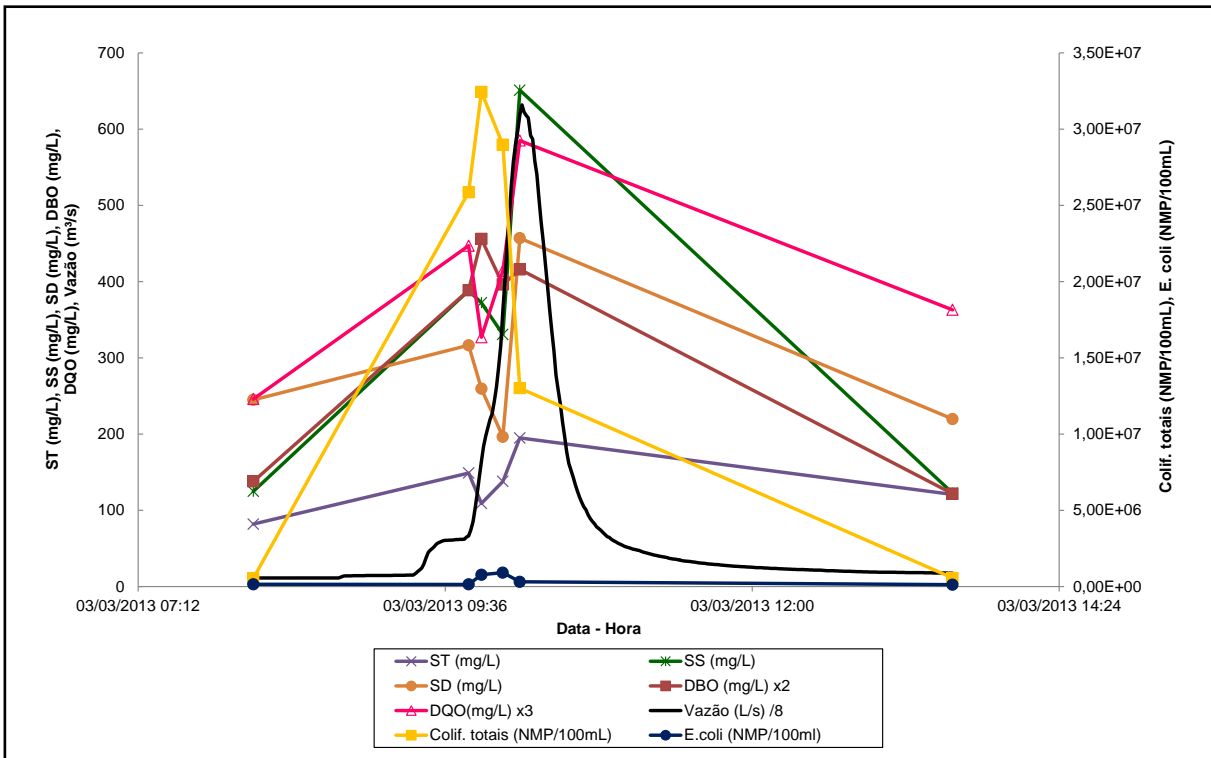


Figura C. 2 - Polutograma do evento – dia 03/03/2013

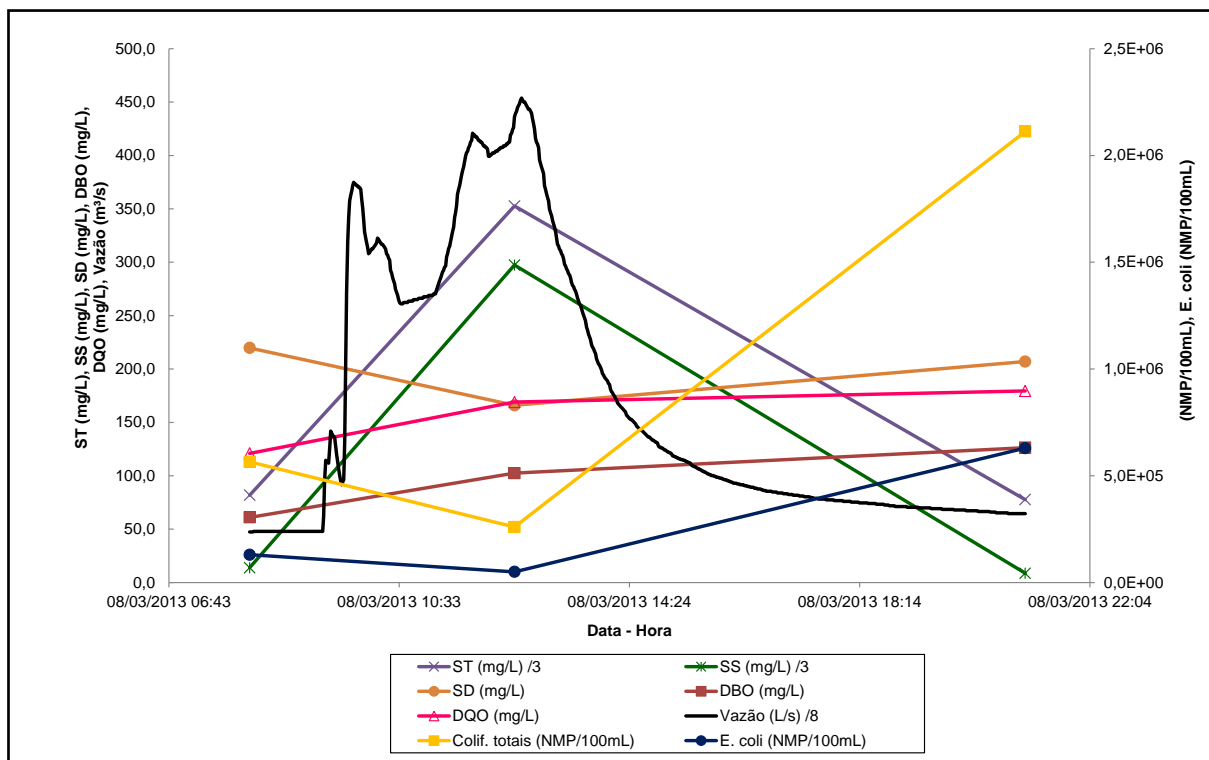


Figura C. 3 - Polutograma do evento – dia 08/03/2013

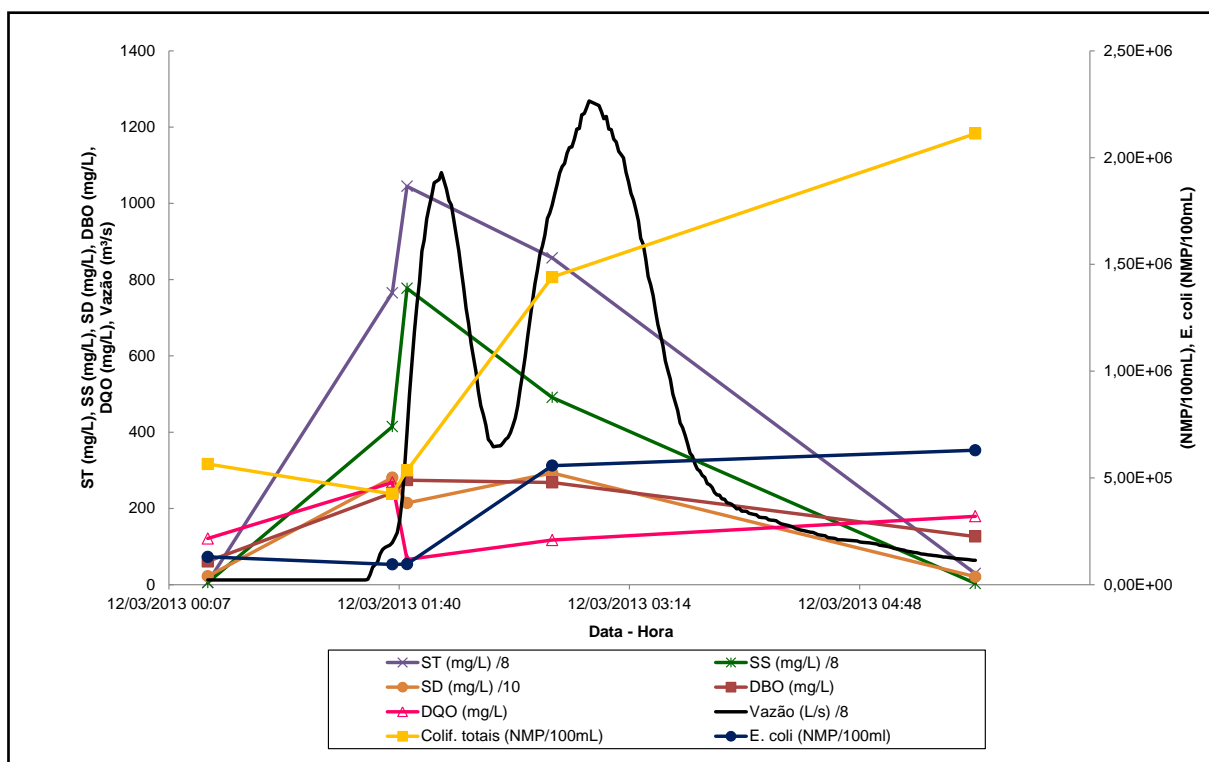


Figura C. 4 - Polutograma do evento – dia 12/03/2013

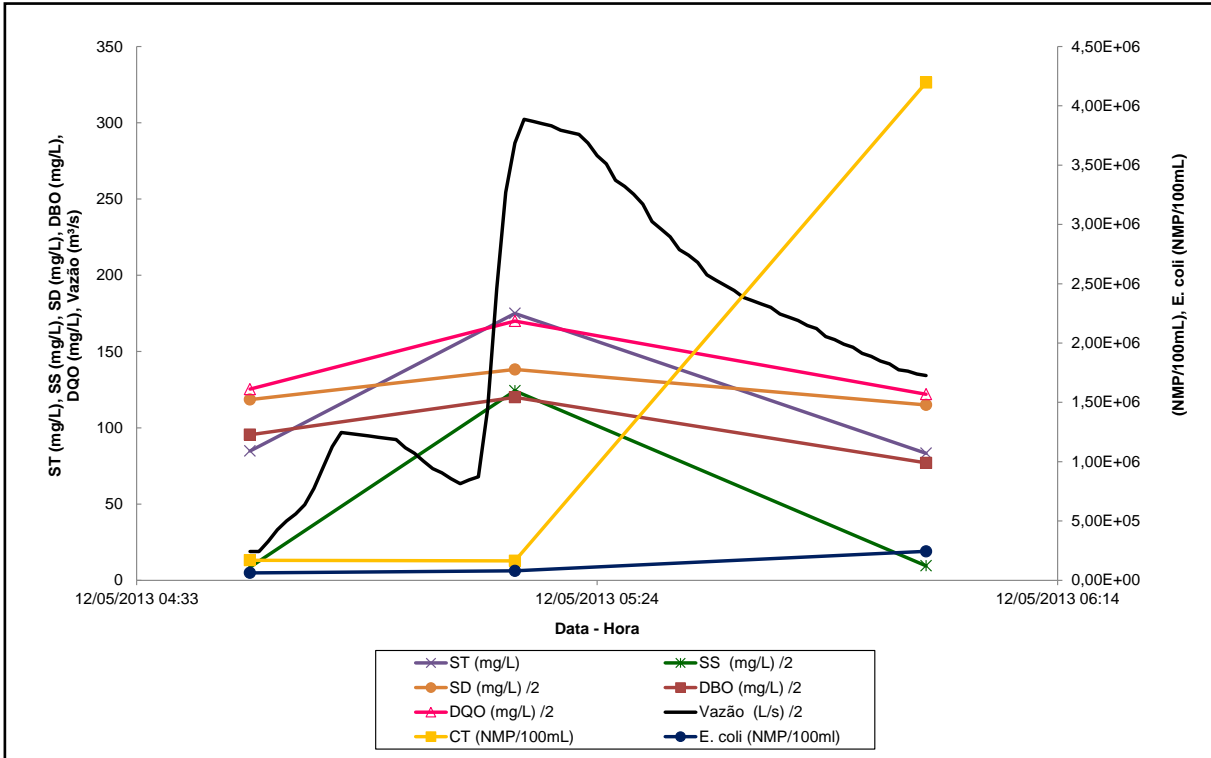


Figura C. 5 - Polutograma do evento – dia 12/05/2013

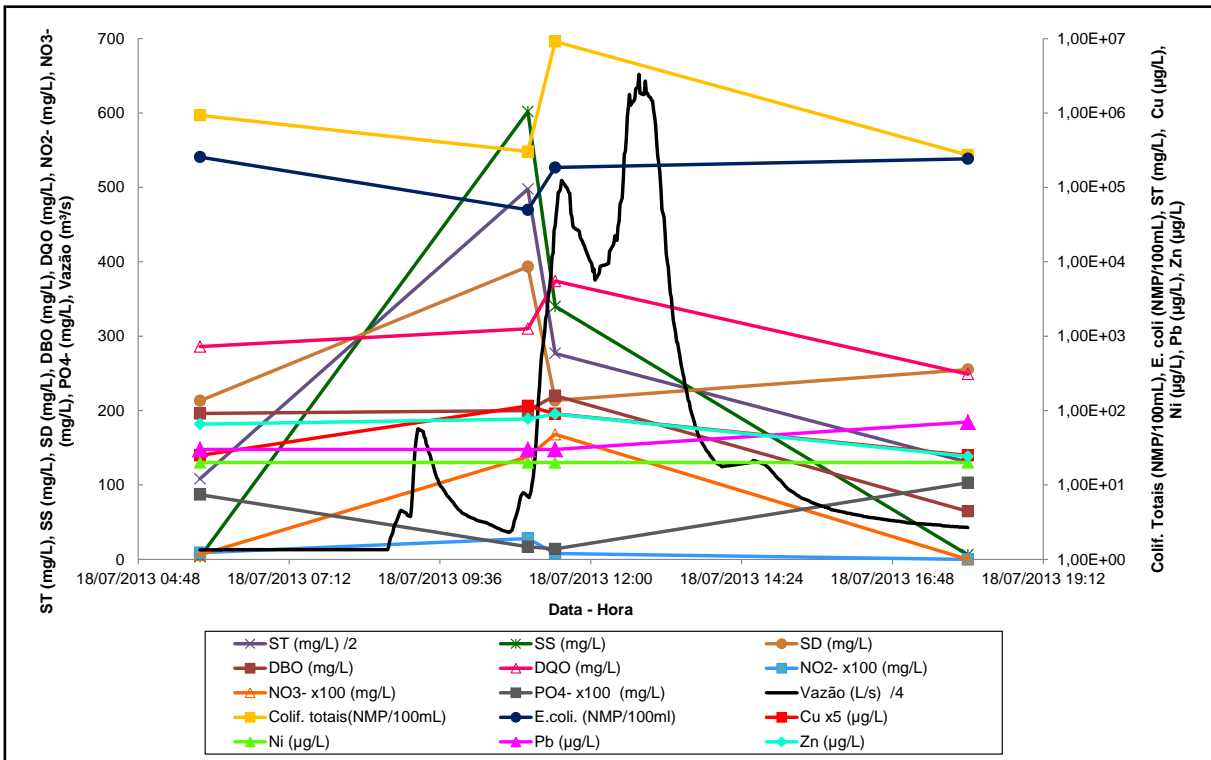


Figura C. 6 - Polutograma do evento – dia 18/07/2013

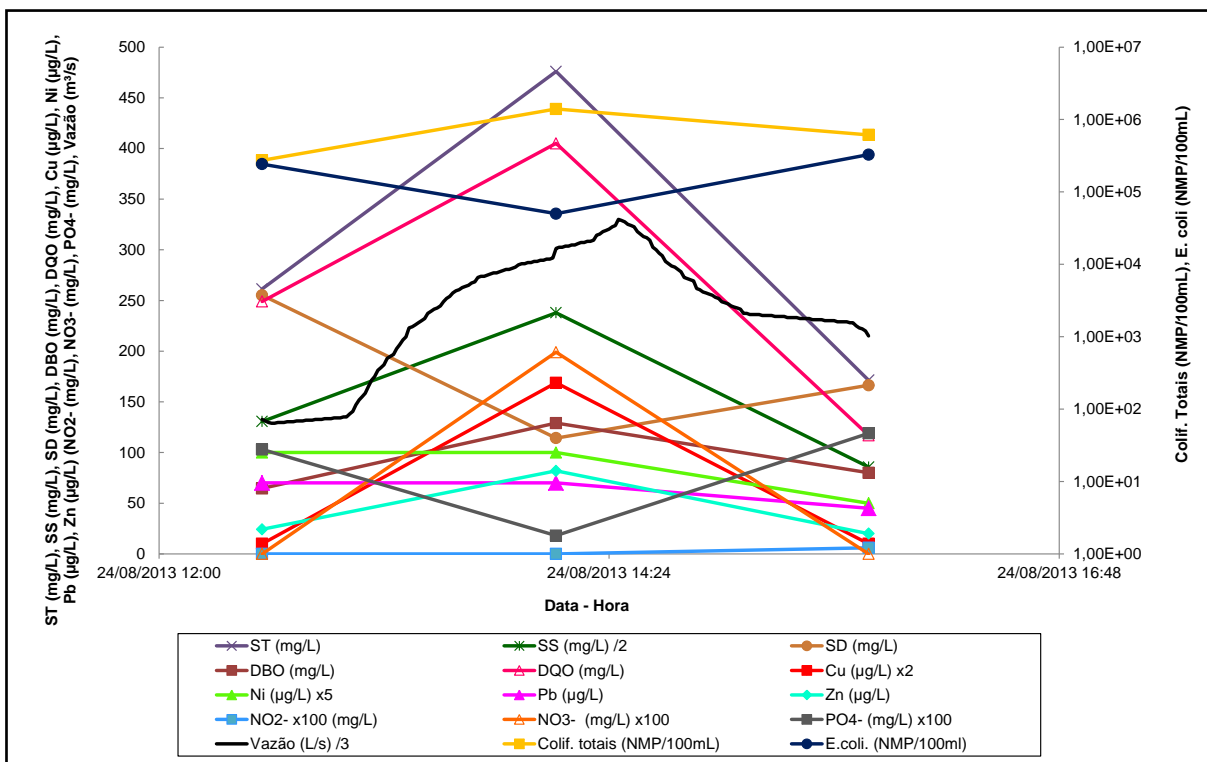


Figura C. 7 - Polutograma do evento – dia 24/08/2013

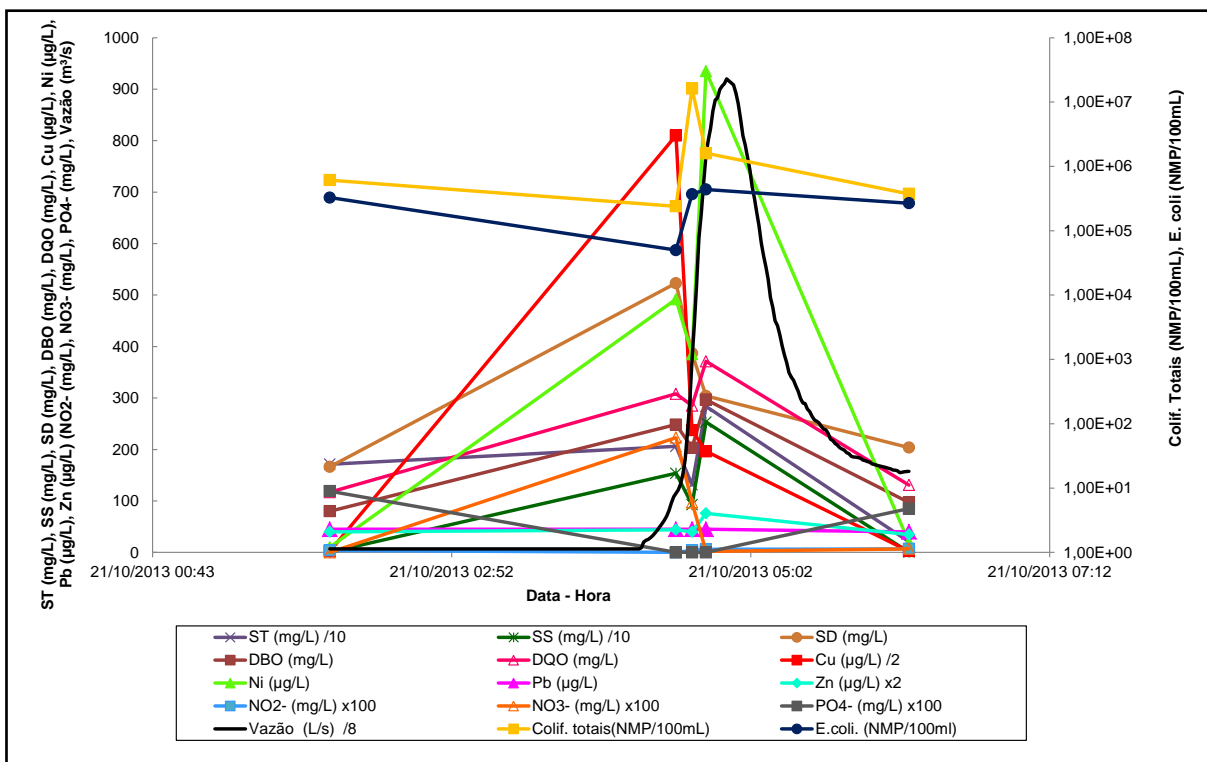


Figura C. 8 - Polutograma do evento – dia 21/10/2013

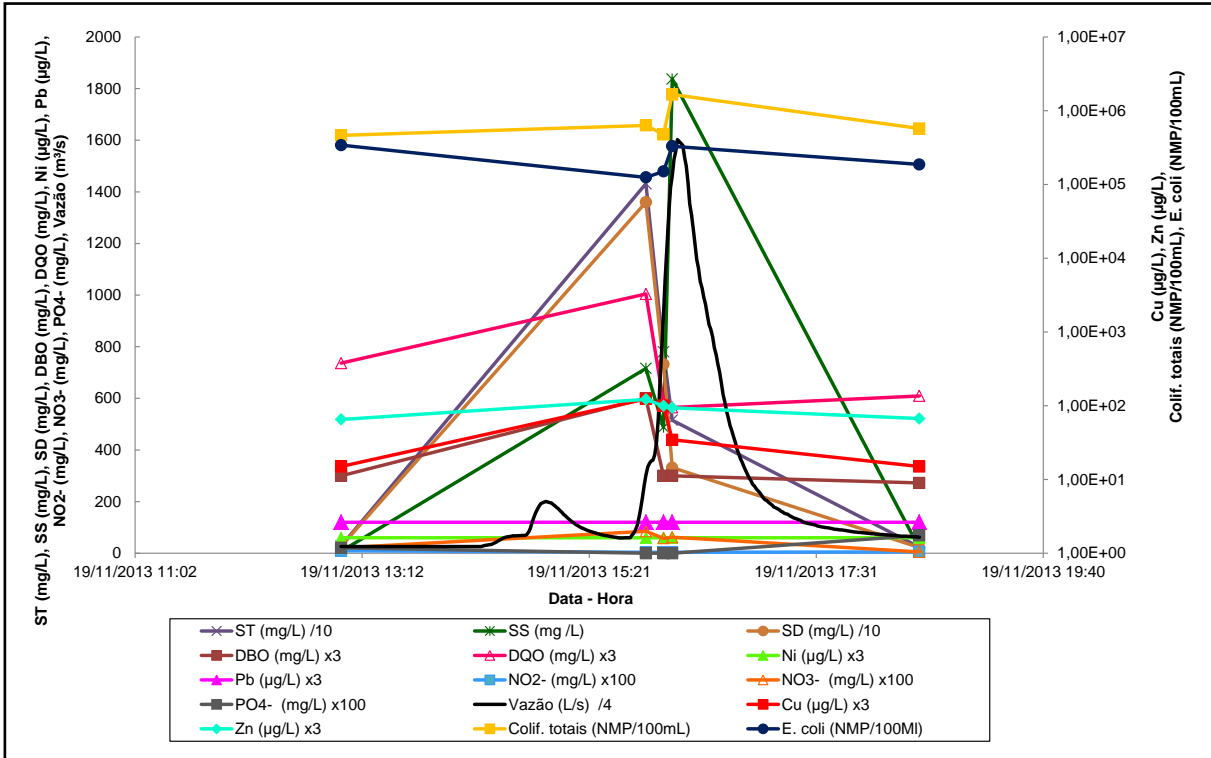


Figura C. 9 - Polutograma do evento – dia 19/11/2013

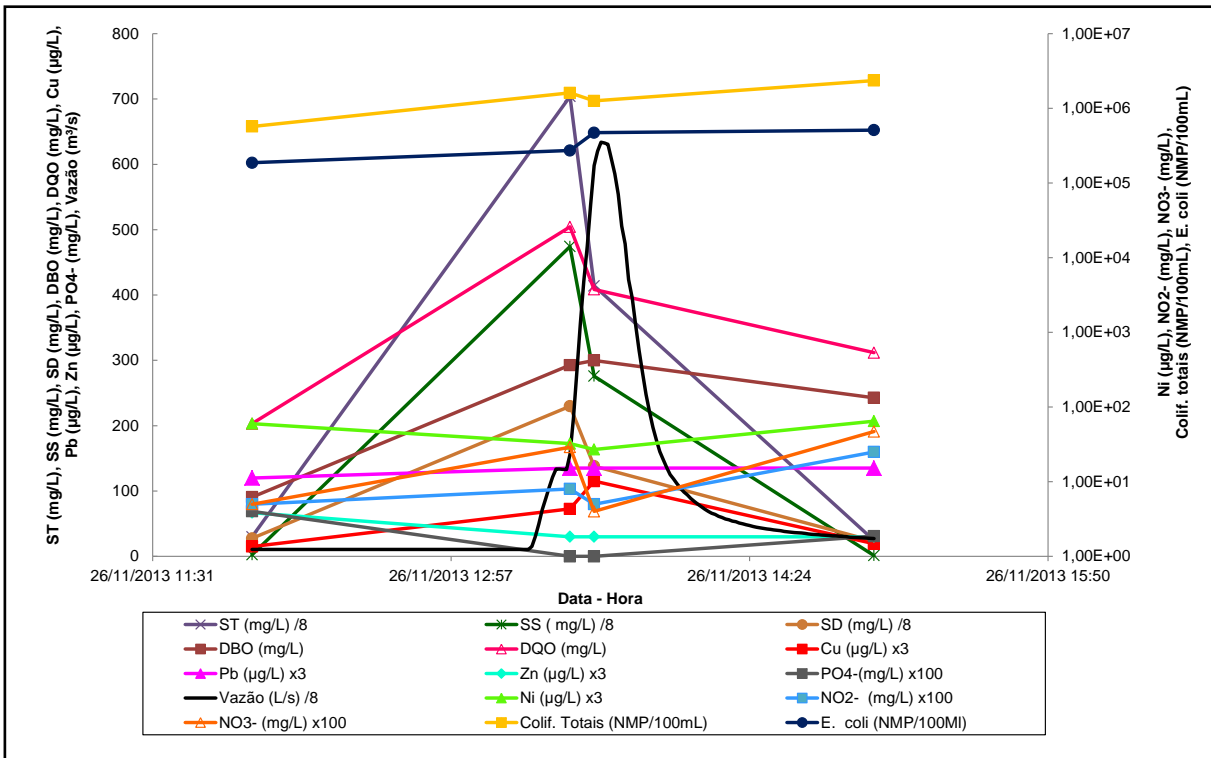


Figura C. 10 - Polutograma do evento – dia 26/11/2013

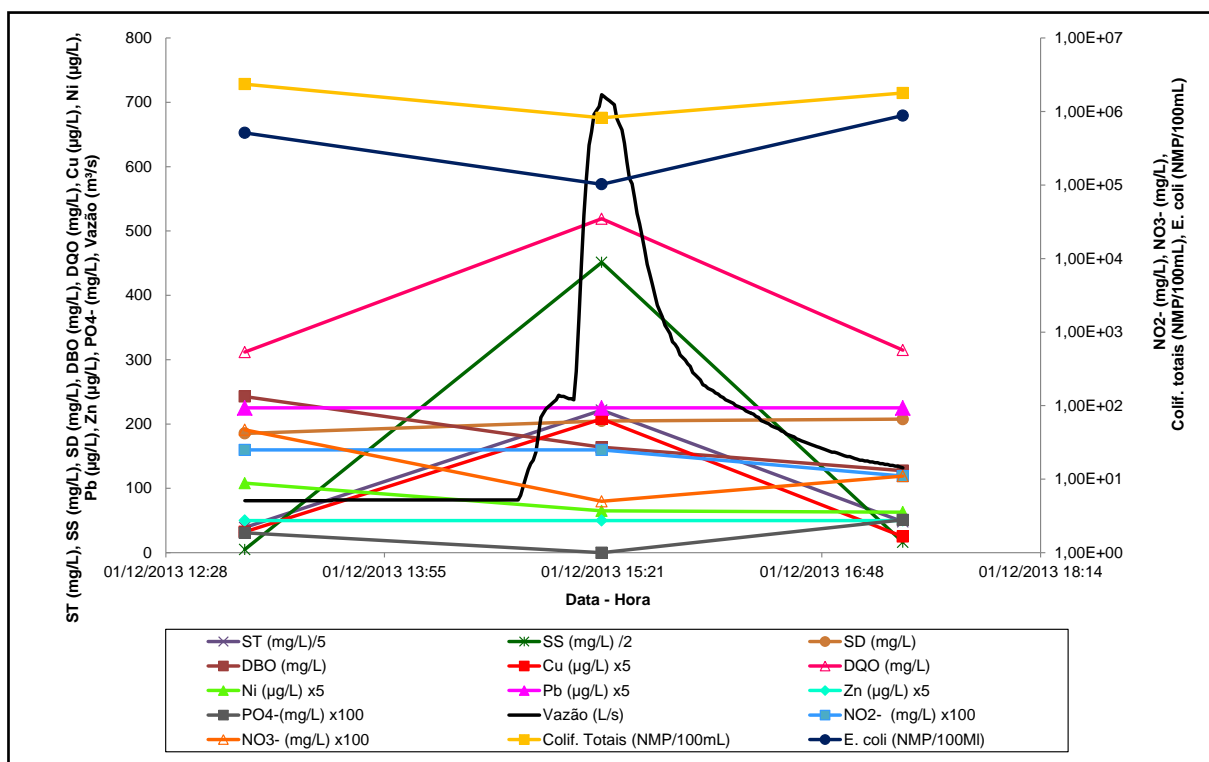


Figura C. 11 - Polutograma do evento – dia 01/12/2013

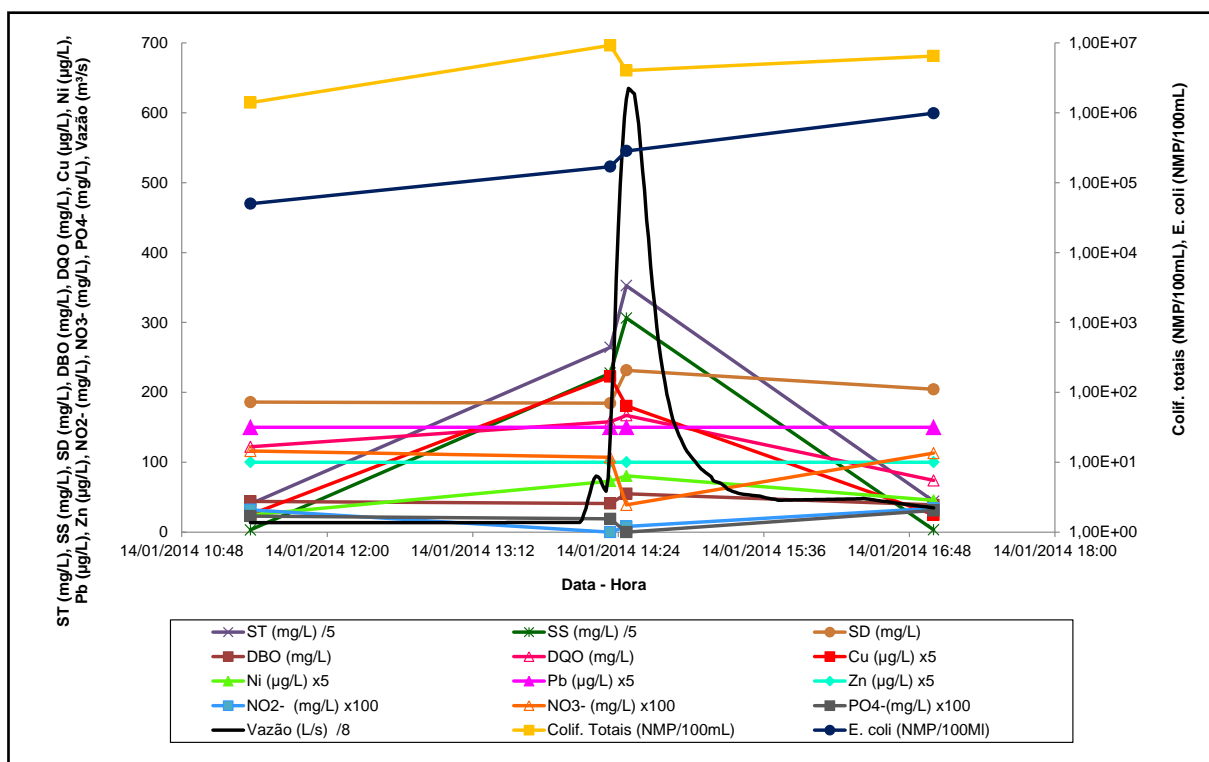


Figura C. 12 - Polutograma do evento – dia 14/01/2014

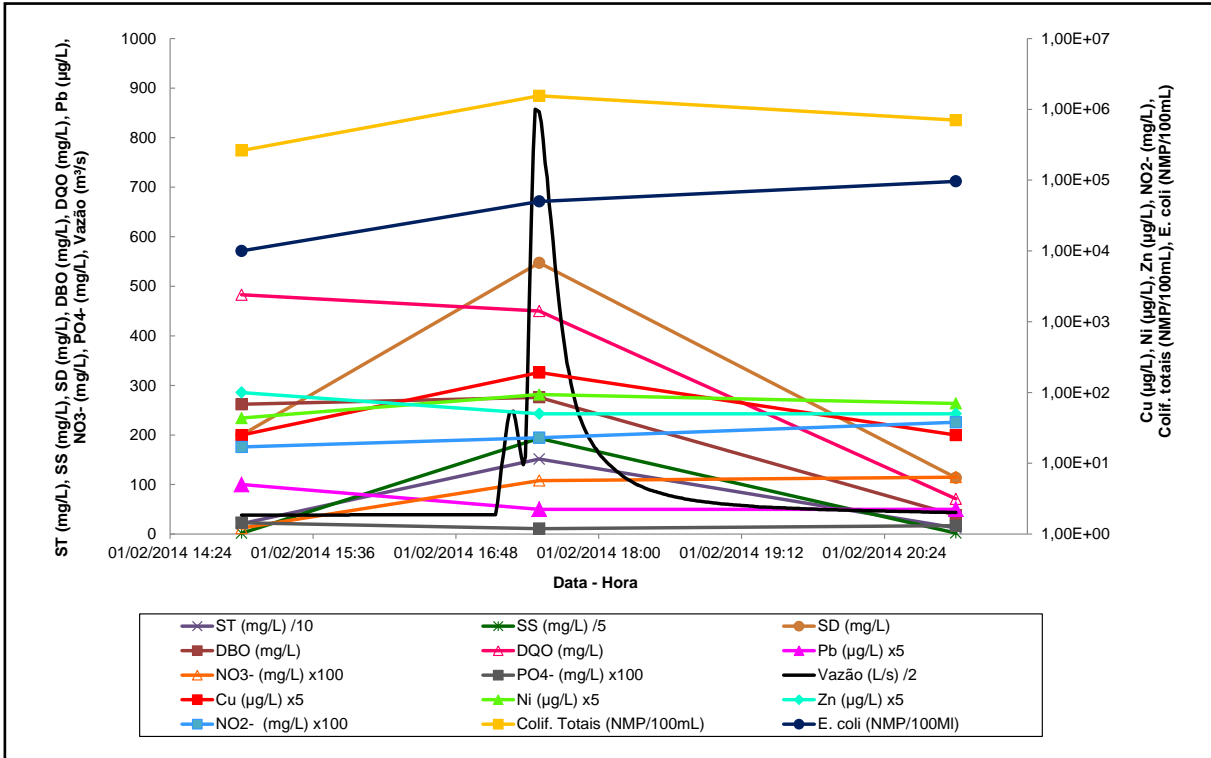


Figura C. 13 - Polutograma do evento – dia 01/02/2014

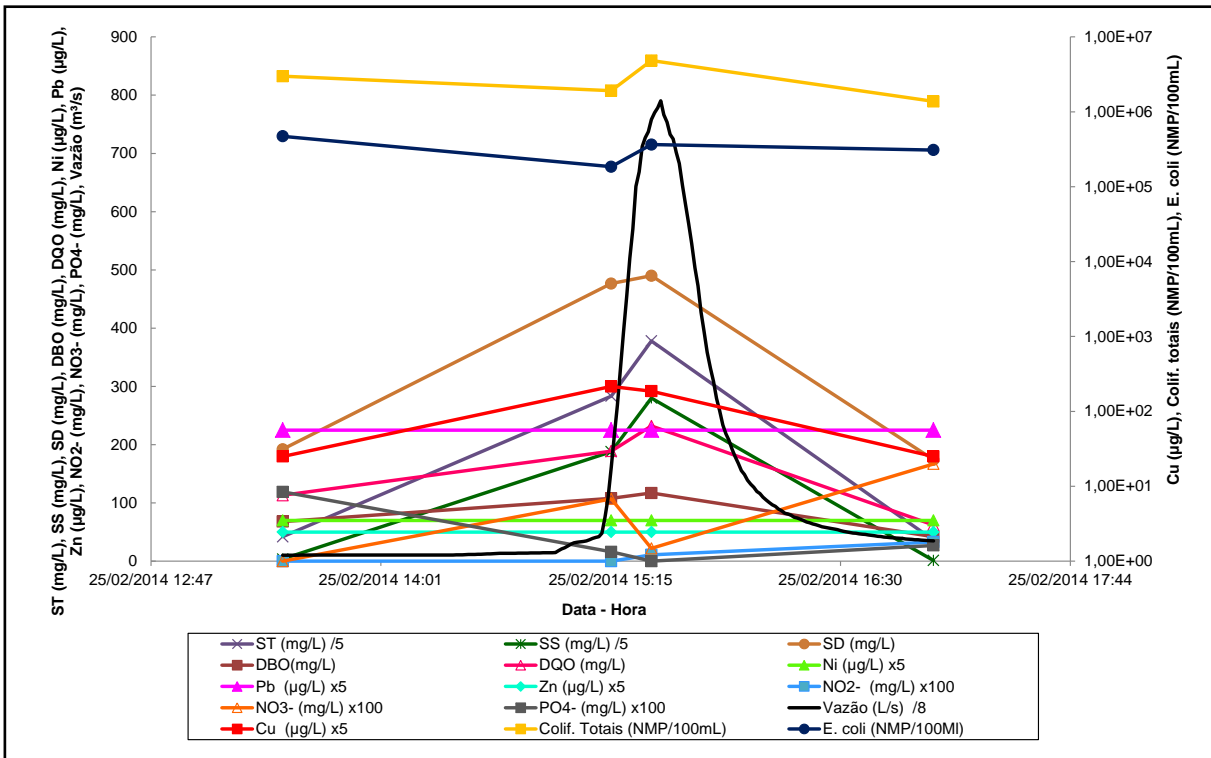


Figura C. 14 - Polutograma do evento – dia 25/02/2014

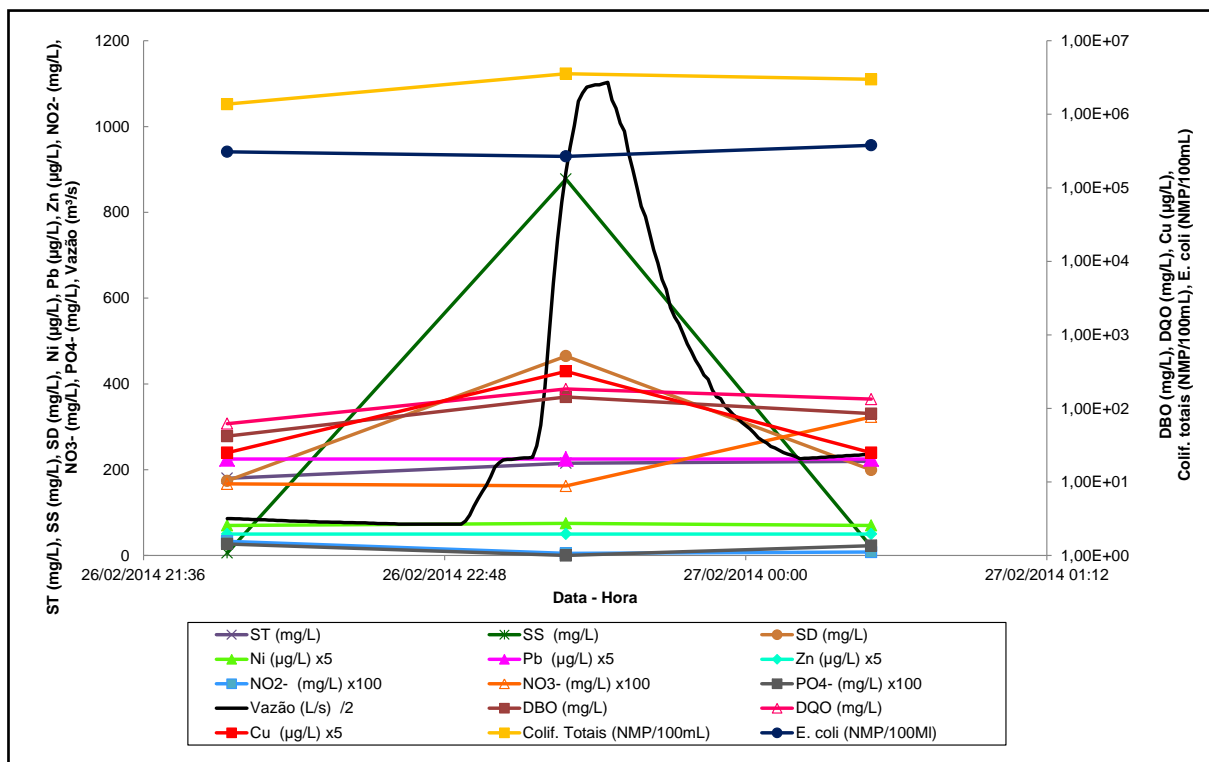


Figura C. 15 - Polutograma do evento – dia 26/02/2014

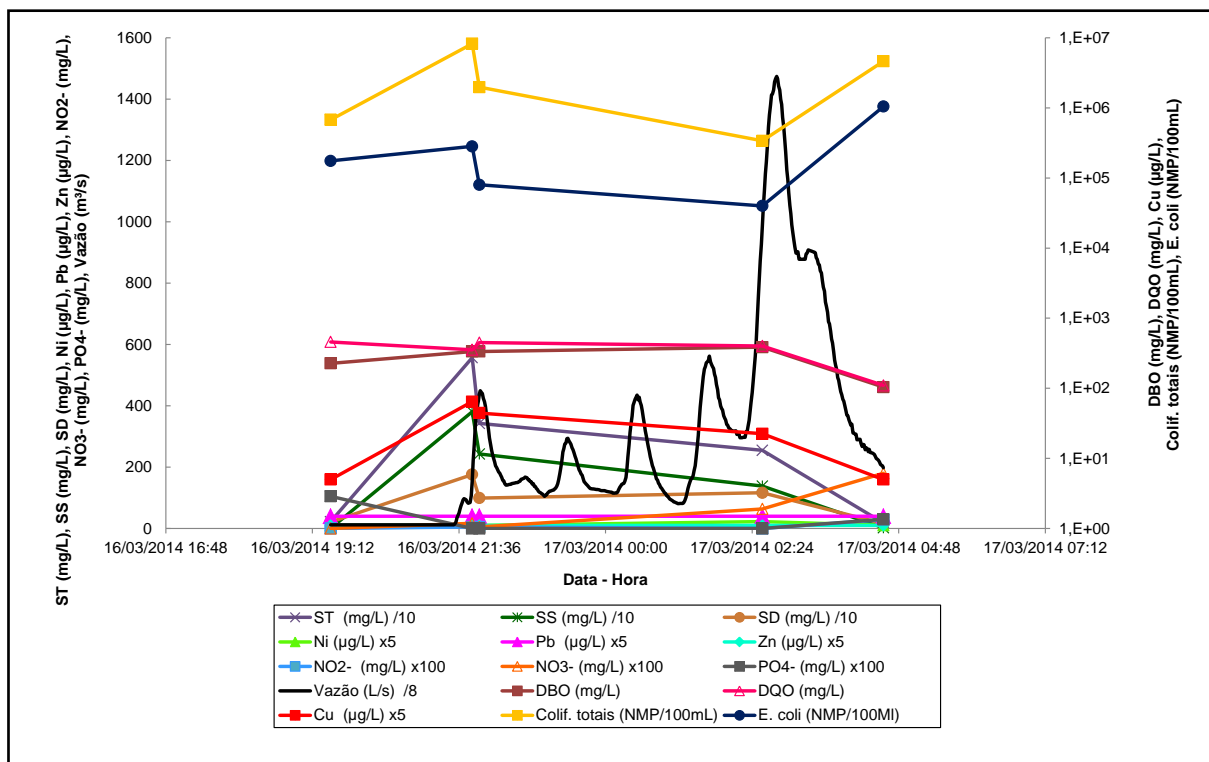


Figura C. 16 - Polutograma do evento – dia 16/03/2014

