

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**INVESTIGAÇÃO DA APLICABILIDADE DA**  
**TURBIDEZ E DE BACTÉRIAS**  
**ESPOROGÊNICAS AERÓBIAS NA AVALIAÇÃO**  
**DA REMOÇÃO DE OOCISTOS DE**  
***Cryptosporidium* spp. E CISTOS DE *Giardia***  
**spp. EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE**  
**ÁGUA:**  
**UMA ABORDAGEM DE AVALIAÇÃO DE RISCO**

**Fabiana de Cerqueira Martins**

**Belo Horizonte**

**2012**

**INVESTIGAÇÃO DA APLICABILIDADE DA TURBIDEZ  
E DE BACTÉRIAS ESPOROGÊNICAS AERÓBIAS NA  
AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE OOCISTOS DE  
*Cryptosporidium* spp. E CISTOS DE *Giardia* spp. EM  
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:  
UMA ABORDAGEM DE AVALIAÇÃO DE RISCO**

**Fabiana de Cerqueira Martins**

**Fabiana de Cerqueira Martins**

**INVESTIGAÇÃO DA APLICABILIDADE DA TURBIDEZ  
E DE BACTÉRIAS ESPOROGÊNICAS AERÓBIAS NA  
AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE OOCISTOS DE  
*Cryptosporidium* spp. E CISTOS DE *Giardia* spp. EM  
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:  
UMA ABORDAGEM DE AVALIAÇÃO DE RISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Qualidade e tratamento de água para consumo humano

Orientador: Prof. Dr. Valter Lúcio de Pádua

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2012

M383i

Martins, Fabiana de Cerqueira.

Investigação da aplicabilidade da turbidez e de bactérias esporogênicas aeróbias na avaliação da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em sistemas de abastecimento de água [manuscrito] : uma abordagem de avaliação de risco / Fabiana de Cerqueira Martins. – 2012.

xix, 125 f., enc. : il.

Orientador: Valter Lúcio de Pádua.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f.112-125.

Bibliografia: f. 97-111.

1. Engenharia Sanitária - Teses. 2. Saneamento - Teses. 3. Água – Qualidade - Teses. I. Pádua, Valter Lúcio de, 1968-. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

<http://www.smarh.eng.ufmg.br>


## FOLHA DE APROVAÇÃO

Investigação da Aplicabilidade da Turbidez e de Bactérias Esporogênicas Aeróbias na Avaliação da Remoção de Oocistos de *Cryptosporidium* spp. e Cistos de *Giardia* spp. em Sistemas de Abastecimento de Água: Uma Abordagem de Avaliação de Risco

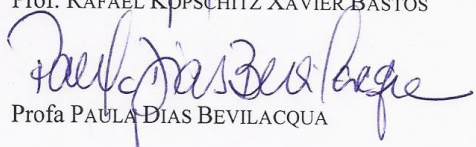
**FABIANA DE CERQUEIRA MARTINS**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

  
Prof. WALTER LÚCIO DE PÁDUA

  
Prof. DANIEL ADOLPHO CERQUEIRA

  
Prof. RAFAEL KOPSCHITZ XAVIER BASTOS

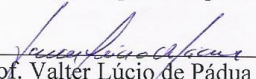
  
Profa PAULA DIAS BEVILACQUA

  
Prof. LÉO HELLER

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

\_\_\_\_\_  
Profa. Mônica Maria Diniz Leão  
Coordenadora

Versão Final aprovada por

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Valter Lúcio de Pádua  
Orientador

Belo Horizonte, 02 de março de 2012.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, com cuja bondade concedeu-me o dom da vida e o espírito de amor, paz e sabedoria que me permitiram andar sempre em comunhão com os ensinamentos de Seu filho Jesus, e concluir mais esta etapa de minha vida com êxito. E à nossa mãe querida, Nossa Senhora, que sempre esteve em minha vida, abençoando e iluminando minhas jornadas, intercedendo a Deus por mim e ajudando a me manter nos caminhos do Senhor, e com cujo exemplo de humildade, carisma e silêncio ensinou-me a ser instrumento da paz de Deus por meio das minhas ações e orações.

Aos meus pais, por terem proporcionado todas as oportunidades de formação pessoal e acadêmica, ao longo de toda minha vida. Em especial, à minha mãe, Maria Alzira, pelo exemplo de força, dedicação, superação e, acima de tudo, amor; agradeço a compreensão, o apoio e todos os esforços sustentados para que eu pudesse me dedicar inteiramente aos estudos e a este projeto.

Aos meus irmãos, Evandro e Amanda, que sempre me apoiaram e contribuíram, direta ou indiretamente, para minha formação como pessoa e como bióloga.

Ao meu amado namorado, Patrick Leandro Magalhães, por ser meu melhor amigo, meu companheiro, “Meu Bem”; obrigada por todo apoio, carinho, amor, compreensão e por fazer parte tão importante de minha vida. Agradeço também à sua família, em especial à sua mãe, Marilda, e a seus irmãos, Rangel e Hergos, este último meu afilhado, pelo amor, carinho, apoio e amizade sempre tão gentilmente oferecidos a mim.

Aos meus amigos e amigas, próximos ou distantes, da escola, da Igreja, da faculdade, da vida... que muito me ajudaram a crescer na fé e no amor e souberam compreender e compartilhar dos meus momentos de alegria e de tristeza, de conquistas e de fracassos. Em especial, à Aline Ramalho, companheira de longas datas, compartilhadora de interesses e de sonhos, amiga leal, fiel e disponível em todos os momentos, com cujas risadas inconfundíveis enchem minha vida de alegria e esperança; e à Letícia Gentilini, amiga de fé, que sempre me mantém em suas orações e cuja companhia, sempre agradável, me proporciona momentos de desabafo, compreensão e alegrias.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Valter Lúcio de Pádua, que na sua grandeza de sabedoria e humildade de espírito, desde minha iniciação científica, sempre me apoiou, orientou e sustentou meus tropeços, aprendizados e desbravamentos no mundo da pesquisa.

Ao meu “coorientador de coração”, Dr. Daniel Adolpho Cerqueira, por ser antes de tudo um grande amigo que me guiou nos caminhos da pesquisa, do trabalho e da vida. Muito obrigada pelo carinho, pelos ensinamentos e por todas as oportunidades concedidas. E um obrigado mais que especial por me apoiar incondicionalmente ao longo desta pesquisa, desde a concepção da ideia até a elaboração da logística de desenvolvimento dos meus trabalhos laboratoriais.

Aos demais membros da banca examinadora, Prof. Dr. Léo Heller, Profa. Dra. Paula Dias Bevilacqua e Prof. Dr. Rafael Kopschitz Xavier Bastos, pelas valiosíssimas discussões, considerações e ensinamentos durante a defesa, que muito contribuíram para o aperfeiçoamento do meu trabalho.

À Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), através da pessoa do Sr. Eng. Airis Antônio Horta, gerente da Divisão de Pesquisa, Controle e Qualidade da Água e Esgoto (DVQA), pela sustentação logística e financeira para realização da pesquisa.

Ao agente de saneamento Neider Baptista dos Santos Filho, da Divisão de Produção Rio das Velhas e Morro Redondo (DVRV-COPASA), ao engenheiro Nilson José Ferreira, supervisor de tratamento de água da Divisão de Produção Serra Azul e Várzea das Flores (DVSV-COPASA), e a todos os operadores de ambos os sistemas pelo apoio e colaboração ativos nas coletas das amostras. Agradeço pela paciência e atenção com que me ajudaram na rotina de coletas e pelo tempo despendido. A ajuda de vocês foi imprescindível para a execução da minha pesquisa.

Aos colegas da DVQA-COPASA, Adriana, Ana Gabriela, Arley, Arlindo, Atos, Benedito, Carlinhos, Cícero, Édson, Elmo, Emerson, Fernando Jardim, Flávio, Floriano, Geraldo, Ivo, João, Letícia, Maria Aparecida (Cidinha), Marly, Maurício, Paulinho, Romeu, Ronaldo, Valdeci, Valdívio, Wolnei e tantos outros, pela amizade, companheirismo, ensinamentos valiosos, apoio e auxílio na pesquisa e por dividirem comigo, sempre tão gentilmente, os postos de trabalho.

Às ex-estagiárias da COPASA, Maria Inês de Araújo Vilhena e Ana Luiza Stancioli Hazan, pela amizade, companheirismo e auxílio em pesquisas durante minha iniciação científica e meu estágio na COPASA.

À Michelle Pimenta e à Nathália Medeiro pelo auxílio tão prestativo e eficiente nas análises laboratoriais durante o desenvolvimento deste projeto.

À Ana Maria Moreira Batista Lopes e à Cristiane Fernanda da Silva que me inseriram no mundo da pesquisa permitindo que eu ajudasse em seus trabalhos de mestrado. Muito obrigada pelos ensinamentos, pela paciência e pela amizade.

Aos amigos do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), que tornaram a iniciação científica prazerosa e produtiva e colaboraram para que eu quisesse continuar com os desafios de pesquisas: Albano, Álisson, Danusa, Erick, Leonardo, Henrique e Herbert.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado.

À Profa. Dra. Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira, que na sua delicadeza e presteza infinitas e, mesmo sem tempo, não hesitou em ajudar com a parte estatística. Sua competência e garra são imprescindíveis para o bom desempenho do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG (PPGSMARH/UFMG).

Aos demais professores do PPGSMARH/UFMG pela competência, dedicação e ensinamentos valiosos. À secretária Iara por sustentar todo o andamento do programa e aos demais funcionários.

Aos companheiros da “longa” e “sofrida”, mas “prazerosa” e “frutífera”, jornada de pós-graduação Aracele Santos, Débora Moraes, Emanuel Brandt, Fábio Alencar, Jacqueline Fonseca, Laura Hamdan, Leonel Simango, Luana Késsia, Mariângela Oliveira, Ricardo Gomes, Sue Ellen Bottrel, Vera Tainá e tantos outros, obrigada por estarem presentes em mais esta etapa da minha vida. Vocês são agora grandes amigos com cuja presteza sei que posso contar e quero que saibam que também podem contar comigo.



A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional e fazem ou fizeram parte da minha vida como amigo, colega ou conhecido. Obrigada por deixarem suas marcas e permitirem que eu deixasse as minhas em suas vidas também!

## RESUMO

Nos últimos anos, tem sido alvo de preocupação de pesquisadores e autoridades sanitárias a ocorrência dos protozoários patogênicos *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em águas destinadas ao consumo humano, devido às suas características de persistência ambiental, baixa dose infectante e elevada resistência aos processos tradicionais de desinfecção. Além disso, apresentam métodos de identificação e quantificação onerosos e trabalhosos para a análise de rotina pelos sistemas de abastecimento de água (SAA). Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar a utilização da turbidez e de bactérias esporogênicas aeróbias como variáveis de monitoramento da eficiência de remoção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em SAA, inserida numa abordagem de avaliação de risco associado à presença desses protozoários nas águas. Para tanto, foram avaliadas as águas bruta e tratada dos Sistemas Rio das Velhas (SRV) e Vargem das Flores (SVF), para análise de (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia*, quinzenalmente, e de bactérias esporogênicas aeróbias, turbidez e *Escherichia coli* (esta somente na água bruta), semanalmente; durante os meses de janeiro a outubro de 2011. Foram comparadas as concentrações e remoções das variáveis. Também foi realizada uma avaliação de risco pelo cálculo da probabilidade de infecção para os dois protozoários. Observou-se uma concentração média de 0,3 oocisto de *Cryptosporidium*/L e 6,7 cistos de *Giardia*/L na água bruta do rio das Velhas, enquanto na represa de Vargem das Flores foram detectados, em média, 0,1 oocisto e cisto/L. Para bactérias esporogênicas foram encontradas de  $2,0 \times 10^3$  a  $3,4 \times 10^5$  UFC/L na água bruta do SRV, enquanto no SVF as concentrações desse micro-organismo variaram de ND a  $7,4 \times 10^4$  UFC/L. Para turbidez, os valores na água bruta variaram de 2,71 a 250 uT no SRV, e na água tratada obtiveram-se valores entre 0,11 e 5,13 uT; já no SVF os valores dessa variável estiveram entre 0,88 e 7,53 uT na água bruta e de 0,11 a 1,08 uT na água tratada. Também em relação às concentrações de *E. coli*, observaram-se maiores valores para o SRV, onde foram contabilizados de  $1,0 \times 10^2$  a  $1,5 \times 10^4$  NMP/100 mL, enquanto no SVF houve concentrações de ND a 64,4 NMP/100 mL. Tanto as bactérias esporogênicas quanto a turbidez não se correlacionaram significativamente com os protozoários, porém, ambas as variáveis são importantes como indicadoras nos estudos de remoção de (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia*. Também se observou que as águas do SRV e do SVF apresentam risco de infecção por *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. superior ao aceitável pela norma norte-americana, porém semelhante ao aceitável pela legislação canadense e pela Organização Mundial de Saúde. Recomenda-se a continuação dos estudos de avaliação de ocorrência e remoção dos protozoários patogênicos.

## ABSTRACT

In recent years, has been the subject of concern to researchers and health authorities the occurrence of pathogenic protozoa *Cryptosporidium* spp. and *Giardia* spp. in drinking water supplies, due to its characteristics of environmental persistence, low infective dose and highly resistance to commonly used disinfectants. Moreover, present methods for identification and quantification are expensive and laborious for routine analysis in the water supply systems (WSS). In this sense, the main objective of this study was to evaluate the use of turbidity and aerobic spore-forming bacteria such as parameters for monitoring the removal efficiency of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia* spp. in WSS, inserted in a risk assessment approach associated with the presence of these protozoa in waters. To this end, the raw and finished water of the Rio das Velhas (RVS) and Vargem das Flores (VFS) systems were evaluated for analysis of *Cryptosporidium* and *Giardia* (oo)cysts, fortnightly, aerobic spore-forming bacteria, turbidity and *Escherichia coli* (this only in the raw water), weekly, from January to October 2011. The removal rates of each parameter were compared. A risk assessment was also performed to calculate the infection probability for both protozoa. There was an average concentration of 0.3 *Cryptosporidium* oocyst/L and 6.7 *Giardia* cyst/L, in the Velhas river, while in the dam of Vargem das Flores were detected, on average, 0.1 oocyst and cyst/L. For spore-forming bacteria were found  $2.0 \times 10^3$  to  $3.4 \times 10^5$  cfu/L in RVS raw water, while in the VFS this microorganism concentrations ranged from ND to  $7.4 \times 10^4$  cfu/L. For turbidity, the values in the raw water ranged from 2.71 to 250 NTU at RVS, and finished water obtained values between 0.11 and 5.13 NTU, whereas the VFS values of this parameter were between 0.88 and 7.53 NTU in raw water and 0.11 and 1.08 NTU in finished water. Also in respect to the *E. coli* concentrations, there were higher values for the RVS, where they accounted from  $1.0 \times 10^2$  to  $1.5 \times 10^4$  MPN/100 mL while in VFS was founded concentrations from ND to 64.4 MPN/100 mL. Both aerobic spore-forming bacteria as turbidity did not correlate significantly with the protozoa, however, both variables are important as indicators in studies of *Cryptosporidium* and *Giardia* (oo)cysts removal. Also it was observed that the RVS and VFS waters shown a risk to the public health in relation to the presence of the protozoa under study higher than acceptable to the American standard, but similar to Canadian law and WHO guidelines. We recommend proceed of studies assessing the pathogenic protozoa occurrence and removal.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS .....	XII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....	XV
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
3.1 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO .....	5
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PROTOZOÁRIOS <u>CRYPTOSPORIDIUM</u> SPP. E <u>GIARDIA</u> SPP. E SUA OCORRÊNCIA NO BRASIL E NO MUNDO .....	11
3.2.1 <i>Cryptosporidium spp. e suas características: taxonomia, biologia e epidemiologia.....</i>	<i>11</i>
3.2.2 <i>Giardia spp. e suas características: taxonomia, biologia e epidemiologia .....</i>	<i>15</i>
3.2.3 <i>Cryptosporidium spp. e Giardia spp.: Ocorrência ambiental e principais surtos .....</i>	<i>20</i>
3.3 REGULAMENTAÇÕES SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DE CONSUMO HUMANO COM FOCO NO CONTROLE DE <u>CRYPTOSPORIDIUM</u> E <u>GIARDIA</u> .....	26
3.4 ESTUDOS DE INDICADORES DE OCORRÊNCIA E REMOÇÃO DE OOCISTOS DE <u>CRYPTOSPORIDIUM</u> SPP. E CISTOS DE <u>GIARDIA</u> SPP. ....	33
<b>4 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>36</b>
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
5.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA SELECIONADOS .....	37
5.1.1 <i>Sistema Rio das Velhas .....</i>	<i>37</i>
5.1.2 <i>Sistema Vargem das Flores.....</i>	<i>43</i>
5.2 VARIÁVEIS AVALIADAS, LOCAIS E FREQUÊNCIA DE COLETAS .....	47
5.3 MÉTODOS ANALÍTICOS .....	48
5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	51
5.4.1 <i>Tratamento inicial dos dados.....</i>	<i>52</i>
5.4.2 <i>Estatística descritiva .....</i>	<i>53</i>
5.4.3 <i>Comparações entre as variáveis e os sistemas de abastecimento de água .....</i>	<i>53</i>
5.4.4 <i>Predição das concentrações de protozoários através das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez.....</i>	<i>54</i>
5.4.5 <i>Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico .....</i>	<i>55</i>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>57</b>
6.1 ANÁLISE DAS CONCENTRAÇÕES E REMOÇÕES DOS PROTOZOÁRIOS, BACTÉRIAS ESPOROGÊNICAS AERÓBIAS E TURBIDEZ.....	57
6.1.1 <i>Estatística descritiva .....</i>	<i>57</i>
6.1.2 <i>Comparação das concentrações e remoções de cada variável entre os sistemas de abastecimento de água.....</i>	<i>66</i>
6.1.3 <i>Avaliação das concentrações na água bruta de cada variável nos períodos chuvoso e seco .....</i>	<i>71</i>
6.1.4 <i>Comparação entre as concentrações e remoções das variáveis para cada sistema de abastecimento de água.....</i>	<i>75</i>
6.2 COMPARAÇÃO DAS EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE <u>CRYPTOSPORIDIUM</u> SPP. COM O VALOR ESTABELECIDO PELA LT2ESWTR .....	78
6.3 CÁLCULO DE CRÉDITO POR DEMONSTRAÇÃO DE DESEMPENHO (DOP) .....	79
6.4 ANÁLISE DAS CORRELAÇÕES ENTRE OS PROTOZOÁRIOS, BACTÉRIAS ESPOROGÊNICAS AERÓBIAS E TURBIDEZ .....	80
6.4.1 <i>Correlações entre concentrações/valores na água bruta de oocistos de Cryptosporidium spp., cistos de Giardia spp., bactérias esporogênicas aeróbias, Escherichia coli e turbidez .....</i>	<i>80</i>

6.4.2	<i>Correlações entre concentrações/valores na água tratada de oocistos de Cryptosporidium spp., cistos de Giardia spp., bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez</i> .....	81
6.4.3	<i>Correlações entre as remoções de oocistos de Cryptosporidium spp., cistos de Giardia spp., bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez</i> .....	82
6.5	PREDIÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS PROTOZOÁRIOS ATRAVÉS DAS EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE BACTÉRIAS ESPOROGÊNICAS AERÓBIAS E TURBIDEZ.....	83
6.5.1	<i>Cálculo das concentrações esperadas de protozoários na água tratada a partir das remoções de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez acrescidas de 1,0 log</i> .....	83
6.5.2	<i>Cálculo das concentrações esperadas de protozoários na água tratada a partir das equações de regressão</i> .....	86
6.6	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA AVALIADOS .....	91
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>93</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>96</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>97</b>
<b>10</b>	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>112</b>
10.1	PLANILHAS DE RESULTADOS DO SISTEMA RIO DAS VELHAS.....	112
10.2	PLANILHAS DE RESULTADOS DO SISTEMA VARGEM DAS FLORES .....	119

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Etapas do gerenciamento de risco para a segurança da qualidade da água.....	9
Figura 3.2 – Aspectos a considerar na gestão de riscos em sistemas de abastecimento de água. .....	9
Figura 3.3 – Etapas para a elaboração de um Plano de Segurança da Água. ....	10
Figura 3.4 – Ciclo de vida do protozoário <i>Cryptosporidium</i> spp.....	12
Figura 3.5 – Ciclo de vida do protozoário <i>Giardia</i> spp.....	17
Figura 5.1 – Localização, abrangência e subdivisões da bacia do rio das Velhas.....	38
Figura 5.2 – Abrangência de abastecimento do Sistema Rio das Velhas (mostrada pela área delineada de preto).....	40
Figura 5.3 – Vista geral do Sistema de Tratamento de Água do Rio das Velhas: (a) captação; (b <sub>1</sub> ) alça de sedimentação esquerda; (b <sub>2</sub> ) alça de sedimentação direita; (c) elevatória de água bruta; (d) adutora de água bruta; (e) estação de tratamento de água. ....	41
Figura 5.4 – Visualização aérea da represa de Vargem das Flores. ....	43
Figura 5.5 – Abrangência de abastecimento do Sistema Vargem das Flores (mostrada pela área delineada de preto).....	45
Figura 5.6 – Sistema Vargem das Flores: (A) vista geral, com posicionamento da Represa e da ETA Vargem das Flores; (B) detalhe da ETA Vargem das Flores: (b.1) captação, (b.2) floculadores, (b.3) flotadores, (b.4) filtros.....	45
Figura 5.7 – Resumo da análise para identificação e quantificação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e cistos de <i>Giardia</i> spp. em águas bruta e tratada. ....	50
Figura 5.8 – Resumo da análise para quantificação de bactérias esporogênicas aeróbias. ....	51
Figura 6.1 – Frequências simples e relativa dos valores de turbidez da água tratada do Sistema Rio das Velhas (SRV), evidenciando percentual de atendimento à Portaria n°. 2.914/2011. ...	64
Figura 6.2 – Frequências simples e relativa dos valores de turbidez da água tratada do Sistema Vargem das Flores (SVF), evidenciando percentual de atendimento à Portaria n°. 2.914/2011. .....	64
Figura 6.3 – Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações (a) na água bruta (AB) e (b) na água tratada (AT) e às (c) eficiências de remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. ....	66

Figura 6.4 – Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações (a) na água bruta (AB) e (b) na água tratada (AT) e às (c) eficiências de remoção de <i>Giardia</i> spp.....	67
Figura 6.5 – Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações (a) na água bruta (AB) e (b) na água tratada (AT) e às (c) eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias.....	68
Figura 6.6 – Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações (a) na água bruta (AB) e (b) na água tratada (AT) e às (c) eficiências de remoção de turbidez.....	69
Figura 6.7 – Gráfico box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações na água bruta (AB) de <i>Escherichia coli</i> .....	70
Figura 6.8 – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF). ....	71
Figura 6.9 – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de cistos de <i>Giardia</i> spp. nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF).....	72
Figura 6.10 – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF). ....	72
Figura 6.11 – Gráficos box-whisker de comparação entre os valores de turbidez nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF)..	73
Figura 6.12 – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de <i>Escherichia coli</i> nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF). ....	73
Figura 6.13 – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de <i>Escherichia coli</i> , <i>Giardia</i> spp., <i>Cryptosporidium</i> spp. e bactérias esporogênicas aeróbias (BEA) na água bruta dos Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF). ....	76
Figura 6.14 – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de <i>Giardia</i> spp., <i>Cryptosporidium</i> spp. e bactérias esporogênicas aeróbias (BEA) na água tratada dos Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF). ....	76
Figura 6.15 – Gráficos box-whisker de comparação entre as eficiências de remoção de turbidez, <i>Giardia</i> spp., <i>Cryptosporidium</i> spp. e bactérias esporogênicas aeróbias (BEA) nos Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF). ....	77

Figura 6.16 – Comparação das eficiências de remoção de <i>Cryptosporidium</i> spp. dos sistemas de abastecimento de água avaliados com o valor estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (2006).....	78
Figura 6.17 – Comparação das concentrações esperadas a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias ( $\log_r$ BEA) e de turbidez ( $\log_r$ T) com as concentrações observadas de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. na água tratada (AT).....	85
Figura 6.18 – Comparação das concentrações esperadas a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias ( $\log_r$ BEA) e de turbidez ( $\log_r$ T) com as concentrações observadas de cistos de <i>Giardia</i> spp. na água tratada (AT). ....	86
Figura 6.19 – Gráficos de dispersão entre as eficiências de remoção de <i>Cryptosporidium</i> spp. e as eficiências de remoção de (a) bactérias esporogênicas aeróbias e (b) turbidez e suas respectivas equações de regressão. ....	87
Figura 6.20 – Gráficos de dispersão entre as eficiências de remoção de <i>Giardia</i> spp. e as eficiências de remoção de (a) bactérias esporogênicas aeróbias e (b) turbidez e suas respectivas equações de regressão. ....	88



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Etapas da metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico considerando a exposição via água de consumo. ....	7
Tabela 3.2 – Espécies de <i>Cryptosporidium</i> atualmente reconhecidas, seus respectivos hospedeiros e identificação em infecções humanas e surtos de veiculação hídrica. ....	15
Tabela 3.3 – Espécies de <i>Giardia</i> e seus respectivos hospedeiros. ....	19
Tabela 3.4 – Algumas características de <i>C. parvum</i> e <i>G. duodenalis</i> que aumentam a sobrevivência no ambiente e facilitam a transmissão pela água. ....	20
Tabela 3.5 – Classificação dos sistemas de abastecimento de água em função da concentração média de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e tratamentos adicionais requeridos para redução dessas concentrações segundo a LT2ESWTR. ....	27
Tabela 3.6 – Remoções estimadas de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i> , pela legislação australiana, através da abordagem de múltiplas barreiras. ....	29
Tabela 3.7 – Metas progressivas estabelecidas pela Portaria nº. 2.914/2011 para atendimento gradual ao valor máximo permitido de 0,5 uT para filtração rápida (tratamento convencional ou filtração direta). ....	32
Tabela 5.1 – Informações técnicas sobre o Sistema Rio das Velhas. ....	41
Tabela 5.2 – Informações operacionais da estação de tratamento de água do rio das Velhas. ....	42
Tabela 5.3 – Informações técnicas sobre o Sistema Vargem das Flores. ....	46
Tabela 5.4 – Informações operacionais da estação de tratamento de água de Vargem das Flores. ....	47
Tabela 5.5 – Remoção estimada (em unidades logarítmicas) de bactérias esporogênicas aeróbias, oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e cistos de <i>Giardia</i> spp. de acordo com a ordem de grandeza nas águas bruta (AB) e tratada (AT). ....	52
Tabela 6.1 – Estatística descritiva das concentrações/valores e remoções de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp., cistos de <i>Giardia</i> spp., bactérias esporogênicas aeróbias, turbidez e <i>Escherichia coli</i> no Sistema Rio das Velhas. ....	58
Tabela 6.2 – Estatística descritiva das concentrações/valores e remoções de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp., cistos de <i>Giardia</i> spp., bactérias esporogênicas aeróbias, turbidez e <i>Escherichia coli</i> no Sistema Vargem das Flores. ....	59
Tabela 6.3 – Porcentagem de ocorrência de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e de cistos de <i>Giardia</i> spp. na água bruta dos sistemas de abastecimento avaliados. ....	60

Tabela 6.4 – Créditos em log adquiridos pelo DOP a partir das concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias nos Sistemas Rio das Velhas (SRV) e Vargem das Flores (SVF).....	79
Tabela 6.5 – Coeficientes de correlação de Spearman resultantes das comparações entre as concentrações de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. com as concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e <i>Escherichia coli</i> e valores de turbidez na água bruta dos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores. ....	80
Tabela 6.6 – Coeficientes de correlação de Spearman resultantes das comparações entre as concentrações de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. com as concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e valores de turbidez na água tratada dos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores. ....	81
Tabela 6.7 – Coeficientes de correlação de Spearman resultantes das comparações entre as eficiências de remoção de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. com as eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez nos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores. ....	82
Tabela 6.8 – Cálculo das concentrações esperadas de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. na água tratada a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez. ....	83
Tabela 6.9 – Cálculo das concentrações esperadas de cistos de <i>Giardia</i> spp. na água tratada a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez.....	84
Tabela 6.10 – Cálculo das concentrações esperadas de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. na água tratada a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez utilizando equações de regressão das relações entre as variáveis. ....	89
Tabela 6.11 – Cálculo das concentrações esperadas de cistos de <i>Giardia</i> spp. na água tratada a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez utilizando equações de regressão das relações entre as variáveis. ....	90
Tabela 6.12 – Cálculo das probabilidades de infecção diária e anual pelos protozoários <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. nos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores, a partir das concentrações médias na água tratada obtidas para estes micro-organismos.....	91
Tabela 6.13 – Cálculo das probabilidades de infecção diária e anual pelos protozoários <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. nos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores, a partir das concentrações na água bruta e remoções médias obtidas para estes micro-organismos.....	92
Tabela 10.1 – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para bactérias esporogênicas aeróbias. ....	112
Tabela 10.2 – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para <i>Escherichia coli</i> e turbidez. ....	114

Tabela 10.3 – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp..	116
Tabela 10.4 – Compilação dos resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para todas as variáveis avaliadas. .....	117
Tabela 10.5 – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para bactérias esporogênicas aeróbias.	119
Tabela 10.6 – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para <i>Escherichia coli</i> e turbidez. ....	121
Tabela 10.7 – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. .....	123
Tabela 10.8 – Compilação dos resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para todas as variáveis avaliadas. ....	124

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AAB – Adutora de água bruta

AAT – Adutora de água tratada

AB – Água bruta

AT – Água tratada

Aids – Acquired immunodeficiency syndrome (Síndrome da imunodeficiência adquirida)

AQR – Avaliação Quantitativa de Risco

AQRM – Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico

AT – Água tratada

BEA – Bactérias esporogênicas aeróbias

C – Convencional

CBH – Comitê de bacia hidrográfica

CDC – Centers for Disease Control and Prevention (Centro para Controle e Prevenção de Doenças)

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

$Crypto_e$  – Concentração esperada de oocistos de *Cryptosporidium* spp.

CRT/DST – Centro de Referência e Treinamento de Doenças Sexualmente Transmissíveis

$C.t$  = Concentração do desinfetante ( $mg.L^{-1}$ ) x tempo de contato do mesmo (min)

CV – Coeficiente de variação

DOP – Demonstration of performance (Demonstração de desempenho)

DP – Desvio-padrão

DWI – Drinking Water Inspectorate

E – Eficiência de remoção (em unidades logarítmicas)

EAB – Elevatória de água bruta

EAT – Elevatória de água tratada

EPA – Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)

ETA – Estação de tratamento de água

ETE – Estação de tratamento de esgoto

EUA – Estados Unidos da América

FADF – Flotação por ar dissolvido e filtração

FD – Filtração direta

FDA – Food and Drug Administration

*Giardia<sub>e</sub>* – Concentração esperada de cistos de *Giardia* spp.

GWR – Ground Water Rule

HIV – Human Immunodeficiency Virus (Vírus da imunodeficiência humana)

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

LD – Limite de detecção

L/d – Litros por dia

Log<sub>r</sub> – Eficiência de remoção, em unidades logarítmicas

## LT2ESWTR – Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule

M – Membrana

Mín – Mínimo

Méd – Média aritmética

MédG – Média geométrica

Medn – Mediana

Máx – Máximo

MPC – Magnetic Particle Concentrator (Concentrador magnético de partículas)

n – número de exposições por ano

N – número de organismos ingeridos por exposição (Dose)

N<sub>d</sub> – Número de dados válidos

N<sub>p</sub> – Número de pares comparados

NA – Não se aplica

NC – Não calculável

ND – Não detectado

N.I. – Não informado pela fonte

NMP – Número mais provável

OMS – Organização Mundial de Saúde

P10, P25, P75, P90 – Percentis 10%, 25%, 75% e 90%

PBS – Solução tampão fosfato salina sem *Tween*<sup>®</sup>

PBST – Solução tampão fosfato salina com *Tween*<sup>®</sup>

pH – potencial hidrogeniônico

$P_1$  – Probabilidade de infecção

$P_{I(A)}$  – Probabilidade de infecção anual

$P_{I(d)}$  – Probabilidade de infecção diária

PSA – Planos de Segurança da Água

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

$r$  – coeficiente indicativo de dose-resposta

$r_s$  – Coeficiente de correlação de Spearman

SAA – Sistema de abastecimento de água

SDWA – Safe Drinking Water Act

SE – Subestação elétrica

SRV – Sistema Rio das Velhas

SVF – Sistema Vargem das Flores

SWTR – Surface Water Treatment Rule

T – Turbidez

TAS – Taxa de aplicação superficial

TCR – Total Coliform Rule

TD – Tempo de detenção

UFC – Unidades formadoras de colônias

uT – Unidade de turbidez

WHO – World Health Organization (Organização Mundial de Saúde)



# 1 INTRODUÇÃO

As águas superficiais e subterrâneas disponíveis no planeta estão cada vez mais sujeitas à contaminação por poluentes químicos, físicos e biológicos que comprometem sua qualidade, uma vez que, como especificado por Tundisi (2003), os vários usos e as permanentes necessidades de água para sustentar o crescimento populacional e as demandas industriais e agrícolas têm gerado permanente pressão sobre os recursos hídricos em todo o planeta. Tudo isso coloca em risco a saúde humana e impõe desafios quanto à definição das técnicas de tratamento mais apropriadas de remoção desses poluentes, principalmente quando estas fontes são utilizadas para abastecimento público.

Inúmeros micro-organismos encontrados nas águas podem causar danos à nossa saúde, porém nem todos podem ser pesquisados diretamente, devido à inexistência de técnicas adequadas de identificação e quantificação e/ou pela inviabilidade prática e econômica. Alguns desses micro-organismos apresentam grande persistência ambiental, baixa dose infectante e elevada resistência aos processos convencionais de desinfecção. Por conta de aspectos como esses, os protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia* têm sido alvo de preocupação nas últimas décadas, pois são parasitos cosmopolitas, transmitidos pela rota feco-oral, têm causado muitos surtos de doenças gastrointestinais – criptosporidiose e giardiose, respectivamente – associados ao consumo de água submetida ou não a tratamento (THOMPSON, 2000; CAREY; LEE; TREVORS, 2004; KARANIS; KOURENTI; SMITH, 2007; LIM; AHMAD; SMITH, 2008; WHO, 2011).

A importância de avaliar o risco microbiológico associado à ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia* em ambientes aquáticos é reforçada pela Portaria nº. 2.914/2011 do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2011), que determina o monitoramento desses protozoários com o intuito de atingir o padrão de potabilidade da água. Em geral, na maioria das águas brutas, esses micro-organismos costumam estar associados às partículas responsáveis pela turbidez, como substrato ou forma de proteção, comportando-se, também, como partículas. Assim, na Portaria, a eficiência de remoção daqueles protozoários está associada à obtenção de efluentes de filtração rápida com turbidez inferior a 0,5 uT e, em alguns casos, a 0,3 uT. Contudo, são necessários mais estudos que ampliem a real efetividade do uso da turbidez como indicador de remoção de (oo)cistos de protozoários (NIEMINSKI *et al.*, 2010). Além disso, diversos estudos – como os de Peralta (2005), Dias *et al.* (2008), Lopes (2009), Nascimento (2009) e Nieminski *et al.* (2010) – têm demonstrado que as variáveis microbiológicas usualmente

empregadas como indicadores de qualidade da água, como coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli*, não apresentam correlação significativa com a ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia*. Portanto, mais investigações devem ser realizadas para se estabelecer variáveis apropriadas para se avaliar a ocorrência e remoção daqueles protozoários.

Nesse contexto, tem sido investigado o emprego de outras variáveis que permitam avaliar a ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* e auxiliar no monitoramento da eficiência de estações de tratamento de água (ETAs) quanto à remoção desses protozoários, como o caso de bactérias esporogênicas aeróbias (RICE *et al.*, 1996; NIEMINSKI; BELLAMY; MOSS, 2000; EPA, 2006; BROWN; CORNWELL, 2007; MUHAMMAD *et al.*, 2008). Pois são ubíquas em fontes de água superficiais em todas as épocas do ano, estão presentes em maiores concentrações que os protozoários (BROWN; CORNWELL, 2007), além de apresentarem comportamento hidráulico e mecanismos de remoção semelhantes aos protozoários, assim como metodologia de identificação e quantificação mais simples e menos onerosa para a implementação do controle microbiológico da água nas ETAs.

Assim, o estudo de indicadores de ocorrência e remoção de protozoários patogênicos em águas destinadas ao consumo humano apresenta-se como de fundamental importância para implementação nas análises de rotina por parte dos prestadores de serviço de abastecimento de água, uma vez que a avaliação direta de todos os organismos patogênicos é econômica, técnica e estrategicamente inviável. Portanto, cada vez mais se procuram variáveis – sejam elas físicas ou biológicas – que possam servir de auxílio a estudos de previsibilidade de ocorrência e remoção de organismos patogênicos.

Dessa maneira, esse trabalho pretendeu testar as seguintes hipóteses:

- Através da remoção obtida para bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez é possível estimar a concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. na água tratada.
- Bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez são variáveis adequadas para avaliação de eficiência do tratamento da água destinada ao consumo humano visando à remoção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp.

- Os protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. apresentam padrões de redução de sua concentração similares às variáveis bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez.
- Quando não é possível realizar a quantificação de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. na água tratada de sistemas de abastecimento, pode-se estimar o risco de infecção por esses protozoários conhecendo-se a concentração na água bruta e utilizando as remoções atribuídas aos tipos de tratamento pela norma norte-americana ou as remoções de protozoários estimadas pelas remoções de indicadores.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 *Objetivo geral*

Avaliar a utilização da turbidez e de bactérias esporogênicas aeróbias como variáveis de monitoramento da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em dois sistemas de abastecimento de água de Minas Gerais, além de avaliar o risco associado à presença desses protozoários nas águas de abastecimento.

### 2.2 *Objetivos específicos*

- Avaliar as concentrações de *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp. e bactérias esporogênicas aeróbias e os valores de turbidez nas águas bruta e tratada e as concentrações de *Escherichia coli* na água bruta em dois sistemas de abastecimento de água da região metropolitana de Belo Horizonte;
- Avaliar a existência de correlação entre a presença e a remoção dos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., e dos indicadores microbiológico e físico, *E. coli* e turbidez, respectivamente, nos sistemas de abastecimento de água monitorados;
- Analisar a utilização da contagem de bactérias esporogênicas aeróbias e da turbidez como variáveis auxiliares na avaliação da eficiência de processos de tratamento da água de abastecimento quanto à remoção de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp.;
- Realizar a avaliação de risco à saúde relacionado com o consumo de água contendo oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. dos sistemas de abastecimento de água analisados.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico

As fontes de água de consumo estão em constante comprometimento por despejos fecais, o que traz uma série de ameaças à saúde das pessoas, uma vez que muitos micro-organismos patogênicos têm na rota feco-oral – em que o patógeno é eliminado nas fezes humanas ou animais, contamina a água, e é ingerido – sua principal fonte de transmissão (CERQUEIRA, 2008; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010). Para Cerqueira (2008), o controle dessas ameaças depende de vários fatores, como a ampliação dos percentuais de acesso das pessoas à água e serviços de coleta de esgotos e resíduos sólidos, além da implementação de medidas objetivas. Dentre estas medidas, o autor cita como as principais:

“ações operacionais, que devem incluir a seleção e proteção das fontes de abastecimento, implantação e manutenção de boas práticas de tratamento da água e dos resíduos urbanos, notadamente dos esgotos, programas de educação sanitária e ambiental, e ações em saúde pública, no que tange medidas profiláticas e curativas das pessoas expostas e das frações populacionais imunocomprometidas. No âmbito do saneamento, o controle microbiológico da água de consumo é etapa crítica na garantia da saúde pública.” (CERQUEIRA, 2008).

O Centro para Controle e Prevenção de Doenças (CDC) estima que nos Estados Unidos 900 mil pessoas adoecem a cada ano por causa de infecções veiculadas pela água. Globalmente, estima-se que as doenças veiculadas pela água são responsáveis por mais de 2 milhões de mortes por ano, principalmente entre crianças menores de 5 anos de idade, o que corresponde a 15,0% das mortes de crianças nessa faixa etária (TORTORA; FUNKE; CASE, 2010).

Dentre as doenças de veiculação hídrica, algumas podem ser mais críticas ao controle pelos sistemas de abastecimento de água, uma vez que seus agentes apresentam características, como desenvolvimento de esporos e cistos, que proporcionam a eles maior resistência aos processos convencionais de desinfecção e maior persistência ambiental (CAREY; LEE; TREVORS, 2004; FRANCO, 2007; ROBERTSON *et al.*, 2006a; HOWE *et al.*, 2002; NEWMAN *et al.*, 2001; HUNTER; THOMPSON, 2005). Esses aspectos, assim como também a infectividade relativa (dados sobre quantidade do micro-organismo que é capaz de causar infecção obtidos a partir de experimentos com voluntários humanos adultos imunocompetentes, de evidências epidemiológicas, e de estudos com animais), o significado à saúde pública (prevalência na população da doença causada pelo micro-organismo patogênico e a severidade do agravo) e a existência de reservatório animal para o patógeno caracterizam e

distinguem os micro-organismos de maior periculosidade (WHO, 2011). Os guias da Organização Mundial de Saúde (OMS) para a qualidade da água de consumo, em seu capítulo 7 (WHO, 2011), apresentam e discutem esses critérios determinantes da periculosidade dos micro-organismos da rota feco-oral. Com base nesses critérios, *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. são considerados protozoários patogênicos de alta periculosidade, sendo cada vez mais importante a investigação da ocorrência, prevalência e aspectos biológicos relevantes ao controle ambiental desses micro-organismos (CAREY; LEE; TREVORS, 2004; FRANCO, 2007; CERQUEIRA, 2008).

Antes de prosseguir no capítulo e abordar a Avaliação Quantitativa de Risco (AQR) é necessário, inicialmente, compreender os conceitos de perigo e risco. Risco, em epidemiologia, é caracterizado pela probabilidade de um evento ocorrer – apresentando aspectos tanto quantitativos quanto qualitativos –, ou, mais especificamente, a existência de associação entre uma exposição e um determinado efeito que, em saúde, poderia ser entendido como: infecção, doença/agravo/desordem, incapacidade ou óbito (BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009). Já perigo caracteriza-se como as propriedades inerentes (toxicidade, infecciosidade e patogenicidade ou radioatividade) de um agente (químico, biológico ou físico) que, em uma condição de exposição, possam implicar algum efeito adverso à saúde de indivíduos e/ou populações (FREITAS; PORTO; MOREIRA, 2002; BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009). Por exemplo, uma água para consumo humano que contenha agentes patogênicos seria um perigo, enquanto seu fornecimento à população traz um risco, que pode ser quantificado e expresso em termos de probabilidade (BRASIL, 2006).

Perigo e risco estão associados de maneira flexível, pois para o perigo de fato se traduzir em risco faz-se necessário que diversas condições se cumpram, como por exemplo, considerando as doenças transmissíveis: exposição (o consumo de água), dose-infectante (quantidade de organismos que são necessários para causar a infecção), estado imunológico do hospedeiro, dentre outros (BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009).

Com base nesses conceitos, tem sido crescentemente utilizada como ferramenta de controle e prevenção da exposição de populações e indivíduos a agentes ou situações perigosas à saúde a abordagem de avaliação de risco (BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009). Esta consiste na caracterização e estimativa qualitativa ou quantitativa do potencial de efeitos adversos à saúde associados à exposição de indivíduos ou populações aos perigos (materiais ou situações, físicos, químicos e/ou agentes microbianos). A avaliação de risco não é utilizada

isoladamente, mas é parte do que é conhecido em um contexto mais amplo como análise de risco, a qual inclui, além da avaliação de risco, o gerenciamento de risco e a comunicação de risco (HAAS; ROSE; GERBA, 1999).

Segundo Bastos, Bevilacqua e Mierzwa (2009), a AQR consiste na estimativa numérica de potenciais efeitos adversos à saúde devido à exposição de indivíduos e populações a perigos. Essa metodologia tem sido adaptada a estudos sobre danos à saúde devido à exposição a organismos patogênicos, adquirindo o nome de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM). Uma vez que tal metodologia tem incluído o consumo de água, ela tem servido de base à formulação de diretrizes e normas de qualidade da água para consumo humano.

Conforme discutido por Haas, Rose e Gerba (1999) e Bastos, Bevilacqua e Mierzwa (2009), genericamente, a metodologia de AQR pressupõe quatro etapas fundamentais, resumidas na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1 – Etapas da metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico considerando a exposição via água de consumo.**

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Interpretação</b>
<b>1. Identificação do perigo</b>	Avaliação do conhecimento disponível e a descrição de efeitos adversos à saúde, crônicos ou agudos, associados a um determinado agente (físico, químico, microbiano) (perigo) ou situação (evento perigoso). A compreensão da origem do perigo e de como este pode ser introduzido na cadeia produtiva também integra essa etapa. Esse conhecimento é importante para o planejamento dos procedimentos de Gerenciamento de Risco.	A presença de organismos patogênicos ou substâncias químicas na água para consumo humano seria exemplo de um perigo. O consumo da água (exposição) pode levar a ocorrência de efeitos adversos na população consumidora, significando o risco. A existência de exploração agrícola na bacia de contribuição do manancial, a descarga de esgotos sanitários ou efluentes de agroindústrias no manancial de água bruta, falhas no tratamento da água e rupturas na rede de distribuição são exemplos de eventos perigosos, os quais podem introduzir perigos que podem estar associados a efeitos adversos na população consumidora.
<b>2. Avaliação da dose-resposta</b>	Avaliação do potencial que tem o agente de causar resposta em diversos níveis de exposição, ou seja, apresenta-se como a caracterização da relação entre doses e incidência do efeito na saúde.	Para determinados agentes, a definição da dose que causa efeito adverso é estabelecida a partir de estudos experimentais (com voluntários humanos ou, principalmente, em ensaios de laboratório com cobaias). Em outros casos, são utilizadas informações de estudos epidemiológicos (desenvolvidos em situações de exposições acidentais ou não).
<b>3. Avaliação da exposição</b>	Caracterização do tamanho e natureza da população exposta, a quantidade ingerida do agente, a frequência, a duração e as prováveis vias de exposição.	Envolveria o conhecimento ou estimativa da qualidade da água, de um padrão de consumo de água (L/d) e da contribuição relativa do fator consumo de água frente a outras vias de exposição como, por exemplo, ar e alimentos.

**Tabela 3.1 – Etapas da metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico considerando a exposição via água de consumo. (Continuação...)**

<b>Etapa</b>	<b>Descrição</b>	<b>Interpretação</b>
<b>4. Caracterização do risco</b>	De posse das informações obtidas nas etapas anteriores, por meio de modelos matemáticos ou relações diretas entre a dose-resposta e a exposição, pode-se estimar o risco associado ao perigo identificado, e, assim, estimar a magnitude do problema de saúde pública e avaliar variabilidade e incerteza.	Poder-se-á calcular a probabilidade de infecção para determinado(s) organismo(s) patogênico(s) presente(s) na água destinada ao consumo humano.

**Fonte:** Adaptado de Haas, Rose e Gerba (1999) e Bastos, Bevilacqua e Mierzwa (2009).

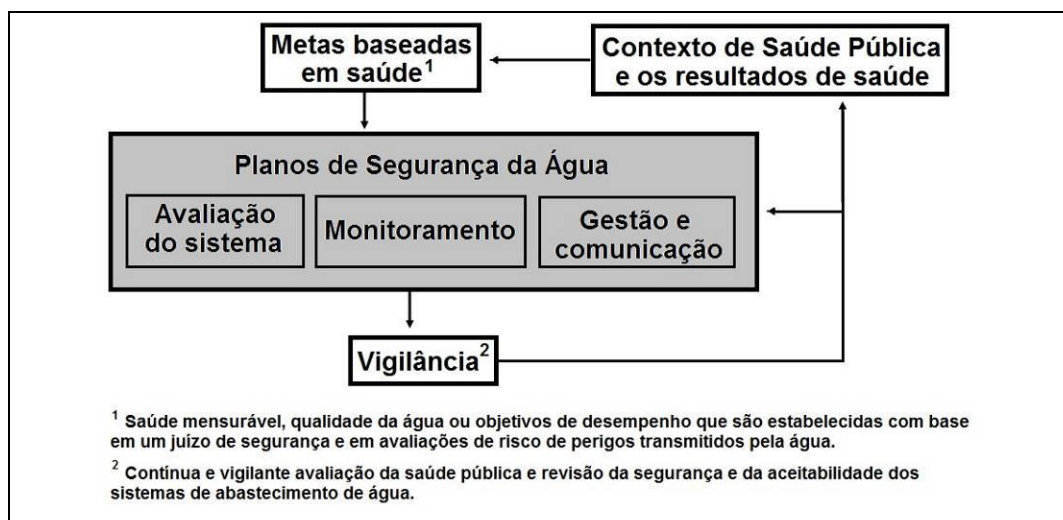
No contexto do abastecimento de água para consumo humano, a elaboração dos Planos de Segurança da Água (PSA), conforme preconizado pela OMS (WHO, 2011), apresenta-se como uma aplicação da análise de risco. Esses planos são um instrumento que identifica e prioriza perigos e riscos em um sistema de abastecimento de água desde a fonte até sua distribuição ao consumidor, contemplando, também, formas de controle e reversão de danos.

Nesse sentido, os Guias de Qualidade da Água para Consumo Humano elaborados pela OMS (WHO, 2011) oferecem novas soluções para garantir a segurança e a qualidade da água potável. Para tanto, incluem recomendações globais sobre boas práticas em todos os níveis, desde a coleta e armazenamento da água da chuva no domicílio e em caminhões pipas, até orientações para a formulação de política de abastecimento de grandes sistemas de abastecimento de água, as suas implicações nas alterações climáticas e nas situações de desastres e emergências. Esses documentos contam também com recomendações sobre a segurança no consumo de água, os riscos microbiológicos e de alterações climáticas, que têm impacto na temperatura da água e nos padrões da chuva, e, conseqüentemente, têm implicações na qualidade e escassez da água (WHO, 2011).

A OMS recomenda às entidades gestoras de sistemas de abastecimento público a elaboração de planos de gestão para garantir a qualidade microbiológica e química da água ao consumidor, incorporando metodologias de avaliação e gestão de riscos, bem como práticas de boa operação dos sistemas (WHO, 2011). Assim, de acordo com Vieira *et al.* (2005), privilegia-se uma abordagem de segurança preventiva em detrimento da metodologia clássica de monitoramento, através de uma efetiva gestão e operação dos mananciais, estações de tratamento e sistemas de distribuição.



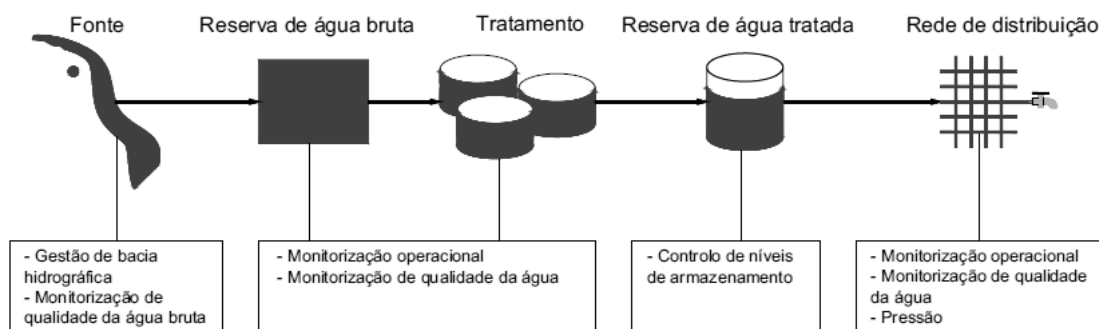
Os PSA abrangem a avaliação do sistema e projeto, monitoramento operacional e planos de gestão, incluindo documentação e comunicação. Os elementos de um PSA baseiam-se no princípio de barreiras múltiplas, nos princípios de análise de perigos e pontos críticos de controle e em outras abordagens de gestão sistemática (WHO, 2011). Os PSA inserem-se num contexto maior de saúde pública, conforme ilustrado na Figura 3.1, que visa garantir a segurança da qualidade da água distribuída à população.



**Figura 3.1** – Etapas do gerenciamento de risco para a segurança da qualidade da água.

Fonte: Adaptado de WHO (2011).

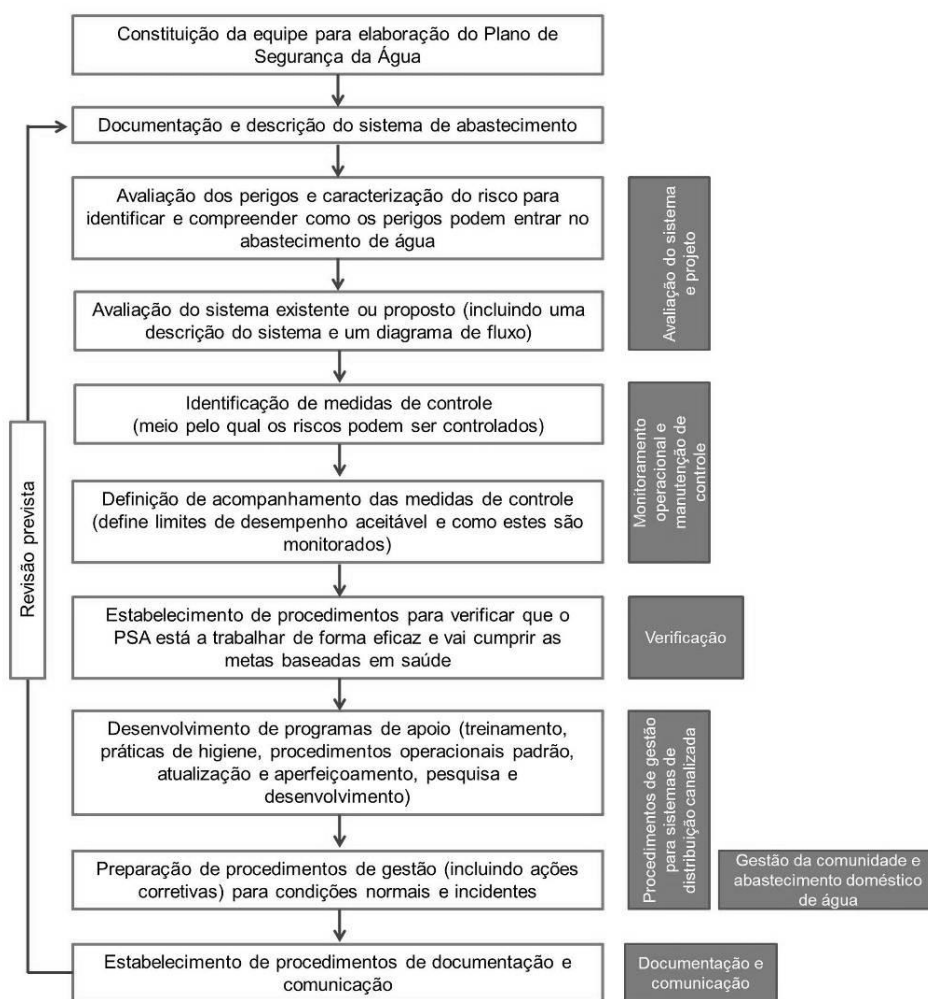
Os PSA apresentam três componentes-chave, que são guiados pelas metas baseadas em saúde e supervisionados pela vigilância dos sistemas de abastecimento de água: (1) a avaliação do sistema, (2) identificação de medidas de controle e respectivo monitoramento operacional e (3) planos de gestão e comunicação (WHO, 2011). No âmbito dos sistemas de abastecimento de água, alguns aspectos essenciais que devem ser levados em consideração no controle da qualidade e da confiabilidade são apresentados na Figura 3.2.



**Figura 3.2** – Aspectos a considerar na gestão de riscos em sistemas de abastecimento de água.

Fonte: Vieira *et al.* (2005).

Para a implementação dos PSA é necessário seguir alguns passos padrão, conforme apresentado na Figura 3.3. Porém, tais etapas são flexíveis, na medida em que podem contar com as práticas já existentes nos sistemas de abastecimento de água, bastando adequá-las à sua organização prévia (WHO, 2011).



**Figura 3.3 –** Etapas para a elaboração de um Plano de Segurança da Água.

Fonte: Adaptado de WHO (2011).

Em suma, essas atividades promovem a avaliação sistemática e detalhada de perigos, o monitoramento operacional das barreiras ou medidas de controle, a promoção de um sistema bem estruturado e organizado visando minimizar as possibilidades de falhas e acidentes, a esquematização de planos de contingência para responder a falhas no sistema ou eventos de riscos imprevistos, possibilita maior envolvimento do pessoal/comunidade, promove suporte

para inspeção de Autoridades Reguladoras e direciona para a utilização mais eficaz de recursos (Vieira *et al.*, 2005).

### **3.2 Caracterização dos protozoários Cryptosporidium spp. e Giardia spp. e sua ocorrência no Brasil e no mundo**

#### **3.2.1 *Cryptosporidium* spp. e suas características: taxonomia, biologia e epidemiologia**

O protozoário *Cryptosporidium* é pertencente ao filo Apicomplexa, à classe Coccidia, à subclasse Coccidiasina, à ordem Eucoccidiorida, à subordem Eimeriorina e à família Cryptosporidiidae (CAREY; LEE; TREVORS, 2004; VITOR, 2005). Os organismos pertencentes ao filo Apicomplexa não são móveis na forma madura e são parasitas intracelulares obrigatórios. Os Apicomplexa são caracterizados pela presença de um complexo de organelas especiais nos ápices (extremidades) de suas células – por isso o nome do filo. As organelas nesses complexos apicais contêm enzimas que auxiliam na penetração nas células e tecidos do hospedeiro (ABRAHAMSEN *et al.*, 2004; CAREY; LEE; TREVORS, 2004; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010).

O gênero *Cryptosporidium* foi descrito em 1907, por Ernest Edward Tyzzer, para designar um pequeno coccídio encontrado em células das glândulas gástricas de camundongos (CAREY; LEE; TREVORS, 2004; LIMA, 2005), porém, o reconhecimento desse micro-organismo como patógeno ocorreu somente em 1955, por Slavin, após associar um surto de diarreia em um rebanho de perus jovens de uma fazenda ocasionado por *C. meleagridis* (CAREY; LEE; TREVORS, 2004; HUBER *et al.*, 2007). Infecções por *Cryptosporidium* foram descritas em humanos em 1976 (MEISEL *et al.*, 1976; NIME *et al.*, 1976), aumentando a incidência em função do aumento do número de portadores do vírus HIV (*Human Immunodeficiency Virus* – vírus da imunodeficiência humana) no início da década de 1980 (KARANIS, 2011).

O *Cryptosporidium* desenvolve-se, preferencialmente, nas microvilosidades de células epiteliais do trato gastrointestinal – mais especificamente, no intestino delgado –, mas também pode se alojar no parênquima pulmonar, na vesícula biliar, nos dutos pancreáticos, no esôfago ou na faringe (LIMA, 2005; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010).

O parasita apresenta diferentes formas estruturais. Nas fezes e no meio ambiente encontra-se o oocisto, que é uma estrutura reprodutiva, infecciosa e de resistência. Nos tecidos encontram-se as formas endógenas, os esporozoítos, em número de quatro dentro dos oocistos que são liberados do encistamento logo após a interação com ácidos estomacais, enzimas pancreáticas

e sais biliares do hospedeiro. O ciclo de vida desse protozoário (Figura 3.4) é monoxênico, porém complexo, semelhante a outros membros do filo (como *Eimeria* e *Toxoplasma*), constituído por uma fase assexuada e outra de multiplicação sexuada (ABRAHAMSEN *et al.*, 2004; CAREY; LEE; TREVORS, 2004; LIMA, 2005; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010). A duração do ciclo biológico é curta, variando, em média, de dois a sete dias, segundo estudos realizados em várias espécies de animais (LIMA, 2005).

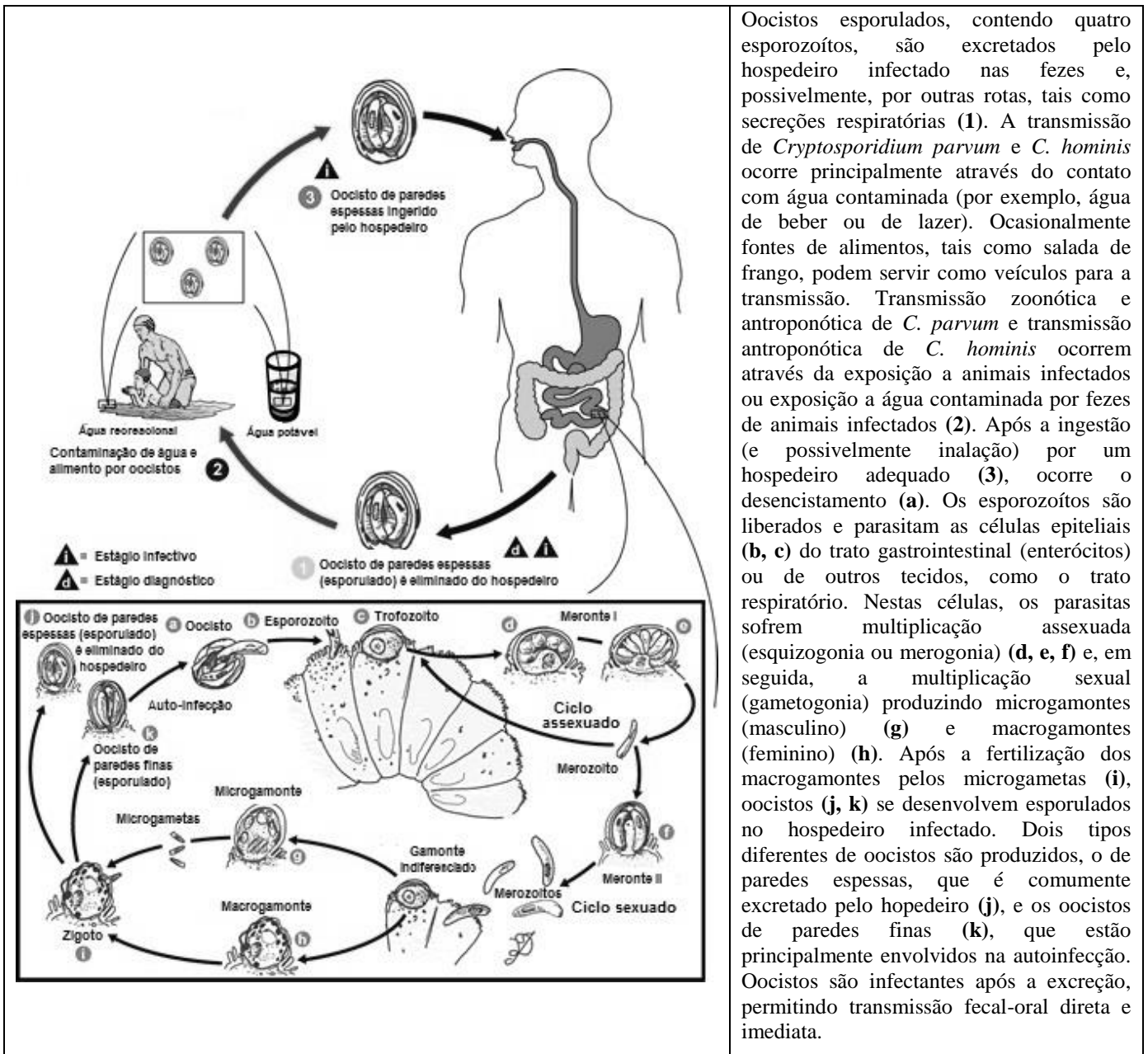


Figura 3.4 – Ciclo de vida do protozoário *Cryptosporidium* spp.

Fonte: CDC (2010b).

Assim como muitos dos patógenos entéricos, o *Cryptosporidium* é um parasita transmitido pela rota feco-oral, causando um transtorno gastrointestinal – denominado criptosporidiose –, através das seguintes vias (LIMA, 2005; CACCIÒ *et al.*, 2005; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010):

- Pessoa a pessoa: observada em ambientes com alta densidade populacional (como em creches e hospitais) e por meio do contato direto e indireto, possivelmente incluindo atividades sexuais;
- Animal a pessoa: através do contato direto de pessoas com animais infectados (que se encontram eliminando oocistos);
- Ingestão de água de beber ou de recreação ou alimentos contaminados com oocistos;
- Inalação de oocistos.

A dose infectante para uma pessoa imunocompetente soronegativa é variável e foi estimada em voluntários humanos em cerca de 90 oocistos, podendo variar de 9 a 1.042 oocistos (LIMA, 2005). Alguns estudos demonstraram que a ingestão de 10 a 30 oocistos pode causar infecção em indivíduos saudáveis. Há relatos de que pessoas infectadas liberam de  $10^8$  a  $10^9$  oocistos em um único movimento do intestino e excretam oocistos por até 50 dias após encerrada a diarreia (TORTORA; FUNKE; CASE, 2010).

Os principais sintomas da criptosporidiose são diarreia profusa (abundante) e aquosa, dor abdominal, náuseas, febre e fadiga. O período de incubação é de 5 a 28 dias, e média de 7,2 dias. A duração da infecção e patogênese da criptosporidiose depende da imunidade do hospedeiro, variando de uma diarreia severa, com duração de 10 a 14 dias, mas autolimitante, em indivíduos imunocompetentes, até uma infecção prolongada, persistente e potencialmente fatal em pessoas com o sistema imunológico comprometido, como crianças, idosos e indivíduos infectados pelo vírus da síndrome da imunodeficiência adquirida (Aids, na sigla em inglês) (STERLING; MARSHALL, 1999; ABRAHAMSEN *et al.*, 2004; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010). Entre os pacientes com Aids são registrados os maiores graus de morbidade e mortalidade dessa doença (ABRAHAMSEN *et al.*, 2004). A droga recomendada para o tratamento da criptosporidiose é a nitazoxanida, único antiparasitário de amplo espectro aprovado pelos Estados Unidos, que também é eficaz no tratamento da giardiose. O remédio pode ser prescrito para crianças com idade superior a um ano e adultos, mas não provou ser eficaz para pessoas imunocomprometidas (CDC, 2010a; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010).

Um dos problemas para controlar a infecção é a escassez de dados sobre a real ocorrência de *Cryptosporidium* spp. em mananciais aquáticos destinados ao abastecimento público, levando a uma subestimação de casos de criptosporidiose (LIMA; STAMFORD, 2003).

As recomendações para reduzir o risco de infecção incluem: boas práticas de higiene (como lavar bem as mãos com água e sabão ao utilizar o banheiro, antes das refeições e após manipulação de animais ou suas fezes), evitar contato com águas que podem estar contaminadas (evitar engolir água de piscina, lagos e rios), evitar beber água não tratada ou inadequadamente tratada, evitar consumir alimentos suspeitos de contaminação e prevenir contato e contaminação com as fezes durante o ato sexual (CDC, 2010a).

Os oocistos de *Cryptosporidium* são pequenos, esféricos ou ovóides, medem de 4,0 a 6,0 µm de diâmetro (LIMA, 2005) e possuem uma parede dupla constituída de numerosas proteínas e rica em ligações bissulfeto (ABRAHAMSEN *et al.*, 2004). São altamente resistentes ao estresse ambiental, tal como frio e tratamento por cloro de sistemas de abastecimento de água e, por isso, o parasita é importante por sua transmissão hídrica e por alimentos (STERLING; MARSHALL, 1999; ABRAHAMSEN *et al.*, 2004). Alternativas para a cloração seriam o uso de dióxido de cloro, radiação ultravioleta e ozonização (TORTORA; FUNKE; CASE, 2010).

Os oocistos podem sobreviver por meses em ambientes úmidos e gelados, tais como lagos e riachos. Sua viabilidade e infectividade em água ainda se mantêm mesmo depois de congelados a -15 °C durante 8 a 24 horas. No entanto, os oocistos podem se tornar não infecciosos se submetidos a temperaturas de 64,2 °C ou superior, durante 2 minutos ou mais. Eles também são suscetíveis ao ressecamento a temperaturas de 18 a 28 °C por mais de 4 horas (STERLING; MARSHALL, 1999).

O *Cryptosporidium* não é somente um patógeno humano, mas também zoonótico, que causa infecções em animais domésticos e selvagens, favorecendo a contaminação de vários ambientes aquáticos, inclusive mananciais utilizados para abastecimento de água (SIMMONS; SOBSEY, 2000). Até o momento, são conhecidas 20 espécies do gênero *Cryptosporidium* e mais de 40 genótipos, das quais pelo menos oito já foram isoladas de infecções humanas (EGYED *et al.*, 2003; THOMPSON; MONIS, 2004; XIAO *et al.*, 2004; SUNNOTEL *et al.*, 2006; WHO, 2011; FRANCO, 2007; FAYER; SANTÍN; TROUT, 2008; POWER; RYAN, 2008; RYAN; POWER; XIAO, 2008; XIAO; FAYER, 2008). Na Tabela

3.2 são apresentadas essas espécies, seus respectivos hospedeiros e identificação em infecções humanas e surtos de veiculação hídrica.

**Tabela 3.2** – Espécies de *Cryptosporidium* atualmente reconhecidas, seus respectivos hospedeiros e identificação em infecções humanas e surtos de veiculação hídrica.

Espécies	Hospedeiro	Isolados de infecções humanas	Comprometimento em surtos de veiculação hídrica
<i>C. andersoni</i>	Bovinos e camelos	Não	Não
<i>C. baileyi</i>	Aves	Um relato	Não
<i>C. bovis</i>	Bovinos	Não há registros	Não há registros
<i>C. canis</i>	Cães, humanos	Muito ocasionalmente	Não
<i>C. fayeri</i>	Canguru vermelho	N.I.	N.I.
<i>C. felis</i>	Gatos, humanos	Muito ocasionalmente	Não
<i>C. fragile</i>	Anfíbios	N.I.	N.I.
<i>C. galli</i>	Galinhas	Não	Não
<i>C. hominis</i>	Humanos	Frequentemente	Sim
<i>C. macropodum</i>	Canguru cinza	N.I.	N.I.
<i>C. meleagridis</i>	Perus, humanos	Ocasionalmente	Não
<i>C. molnari</i>	Peixes	Não	Não
<i>C. muris</i>	Roedores, humanos	Muito ocasionalmente	Não
<i>C. parvum</i>	Ruminantes, humanos	Frequentemente	Sim
<i>C. saurophilum</i>	Répteis	Não	Não
<i>C. scophithalmi</i>	Peixes	Não há registros	Não há registros
<i>C. serpentis</i>	Répteis	Não	Não
<i>C. suis</i>	Suínos, humanos	Muito ocasionalmente	Não há registros
<i>C. varanii</i>	Lagarto varano	N.I.	N.I.
<i>C. wrairi</i>	Porquinho-da- Índia	Não	Não

**Legenda:** N.I. = Não informado pela fonte.

**Fonte:** Adaptado de Sunnotel *et al.* (2006); Franco (2007); Xiao e Fayer (2008).

*C. parvum* é a espécie mais patogênica e com maior frequência nas infecções humanas (LIMA, 2005).

### 3.2.2 *Giardia* spp. e suas características: taxonomia, biologia e epidemiologia

A *Giardia* é caracterizada como um protozoário flagelado, que habita o trato intestinal de várias espécies de vertebrados, pertencente ao filo Archezoa, ao subfilo Metamonade, à classe Zoomastigophorea, à ordem Diplomonadida, à subordem Diplomonadina e à família Hexamitidae (VITOR, 2005). Os representantes do filo não possuem mitocôndria, têm uma organela exclusiva chamada mitossomo (o que parece ser um remanescente de mitocôndria encontrado em um ancestral dos Archezoa) e são normalmente fusiformes, com flagelos projetando a partir da extremidade dianteira, sendo que a maioria apresenta dois ou mais flagelos (TORTORA; FUNKE; CASE, 2010).

A *Giardia* (na verdade sua forma trofozoítica) foi descrita em 1681 por Anton van Leeuwenhoek, que notou “animalúnculos móveis” em suas próprias fezes, porém foi Vilém

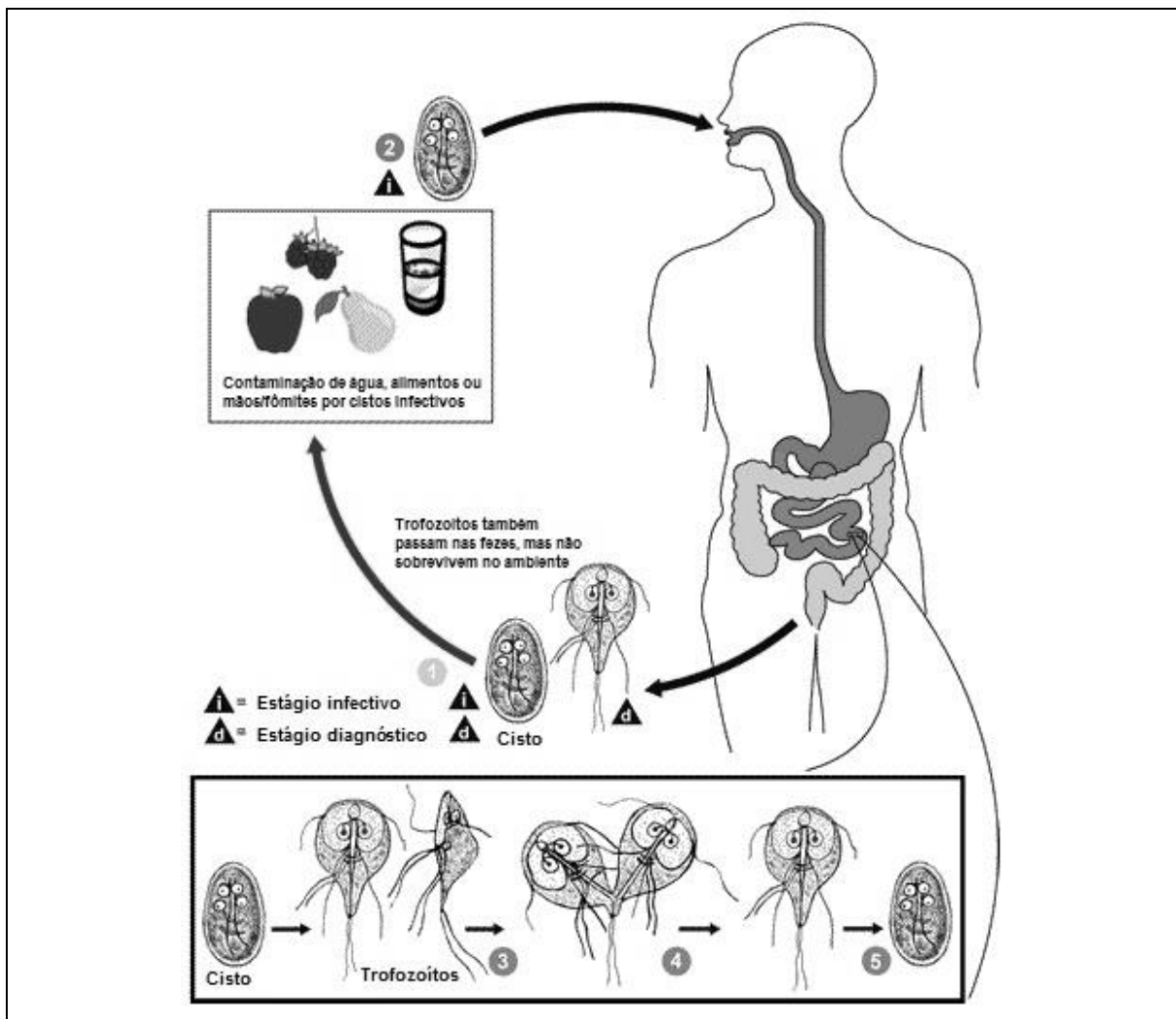
Dušan Lambl, em 1859, quem a descreveu mais detalhadamente. O gênero foi criado por Kunstler, em 1882, ao observar um flagelado presente no intestino de girinos de anfíbios anuros (ADAM, 2001; SOGAYAR; GUIMARÃES, 2005; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010; THOMPSON; MONIS, 2011).

O parasita, assim como o *Cryptosporidium*, também apresenta duas formas evolutivas: o trofozoíto e o cisto. O trofozoíto é uma fase ativa de alimentação, crescimento e reprodução, com dois núcleos na parte frontal, um corpo mediano em forma de vírgula, e quatro pares de flagelos bilateralmente simétricos. O trofozoíto tem a forma de uma pêra cortada ao meio longitudinalmente, com dimensões variando de 12 a 15 µm de comprimento por 6,0 a 8,0 µm de largura. A face dorsal é lisa e convexa, enquanto a face ventral é côncava, apresentando uma estrutura semelhante a uma ventosa (denominada disco ventral, adesivo ou succional). Os cistos de *Giardia* são redondos a ovais ou elipsoides com dimensões variando de 8,0 a 18 µm de comprimento por 5,0 a 15 µm de largura. No seu interior encontram-se dois ou quatro núcleos, um corpo mediano em forma de meia-lua (grupos de microtúbulos) e axonemas (porções basais dos flagelos dentro do citoplasma), que dão ao cisto a aparência de um rosto (SCHAEFER, III, 1999; ADAM, 2001; SOGAYAR; GUIMARÃES, 2005).

Como o *Cryptosporidium*, o ciclo de vida da *Giardia* é monoxênico e direto (conforme observado na Figura 3.5). A via normal de infecção do ser humano é a ingestão de cistos maduros, que podem ser transmitidos por um dos seguintes mecanismos (SOGAYAR; GUIMARÃES, 2005; CACCIÒ; SPRONG, 2011):

- Ingestão de águas superficiais sem tratamento ou deficientemente tratadas;
- Ingestão acidental de água recreacional contaminada;
- Ingestão de alimentos contaminados (verduras cruas e verduras mal lavadas) – esses alimentos também podem ser contaminados por cistos veiculados por moscas e baratas;
- De pessoa a pessoa, por meio das mãos contaminadas, em locais de aglomeração humana (creches, orfanatos etc.) ou entre membros de uma família, quando se tem algum indivíduo infectado, principalmente devido a maus hábitos de higiene;
- Através do contato sexual;
- Por contato com animais domésticos infectados.





Cistos são formas resistentes e são responsáveis pela veiculação da giardiose. Ambos, cistos e trofozoítos, podem ser encontrados nas fezes (fase de diagnóstico) (1). Os cistos são resistentes e podem sobreviver vários meses em água fria. A infecção ocorre pela ingestão de cistos em água ou alimentos contaminados ou por via feco-oral (mãos ou fômites) (2). No intestino delgado, o desencistamento libera os trofozoítos (cada cisto produz dois trofozoítos) (3). Trofozoítos se multiplicam por divisão binária longitudinal, permanecendo no lúmen do intestino delgado proximal, onde podem ser livres ou ligados à mucosa por um disco ventral sugador (4). O encistamento ocorre quando o parasita transita em direção ao cólon. O cisto é o estágio mais comumente encontrado nas fezes não diarreicas (5). Uma vez que os cistos são infecciosos quando passam pelas fezes ou pouco depois disso, o contágio pela giardiose de pessoa para pessoa é possível. Embora os animais sejam infectados com *Giardia*, sua importância como um reservatório não é clara.

**Figura 3.5 – Ciclo de vida do protozoário *Giardia* spp.**

Fonte: CDC (2010c).

Teoricamente, a ingestão de um único cisto infeccioso por um hospedeiro suscetível pode ser suficiente para causar infecção (ROBERTSON; LIM, 2011), porém, estudo com voluntários humanos demonstraram que a ingestão de 10 a 100 cistos é suficiente para produzir infecção (SOGAYAR; GUIMARÃES, 2005; ROBERTSON; LIM, 2011). Um indivíduo infectado pode liberar acima de  $1,44 \times 10^9$  cistos por dia durante o período de infecção (KARANIS; KOURENTI; SMITH, 2007).

A água é há muito tempo reconhecida como importante veículo para infecção por giardiose (THOMPSON, 2000; LIM; AHMAD; SMITH, 2008; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010). A doença apresenta espectro clínico diverso, que varia desde indivíduos assintomáticos até pacientes sintomáticos que desenvolvem um quadro de diarreia aguda e autolimitante, caracterizada por náuseas, mal-estar, flatulência (gases intestinais), fraqueza e cólicas abdominais, ou um quadro de diarreia persistente, podendo haver hospitalização, com evidência de má-absorção (os protozoários, reproduzindo por divisão binária, às vezes ocupam tanto a parede intestinal que interferem com a absorção de alimentos) e perda de peso, que muitas vezes não responde ao tratamento específico, mesmo em indivíduos imunocompetentes. Aparentemente, essa variabilidade é multifatorial, e tem sido atribuída a fatores associados ao parasito (cepas, número de cistos ingeridos) e ao hospedeiro (resposta imune, estado nutricional, potencial hidrogeniônico (pH) do suco gástrico, associação com a microbiota intestinal). O odor característico de sulfeto de hidrogênio pode muitas vezes ser detectado no hálito ou fezes (SCHAEFER, III, 1999; SOGAYAR; GUIMARÃES, 2005; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010). O tratamento contra a giardiose com metronidazol ou cloridrato de quinacrina é geralmente eficaz dentro de uma semana. Outro medicamento eficaz contra a giardiose é o tinidazol. A agência reguladora de alimentos e medicamentos dos Estados Unidos (*Food and Drug Administration – FDA*) aprovou recentemente uma nova droga oral, nitazoxanida, que trata tanto criptosporidiose quanto giardiose. Ela age como o metronidazol, afetando as vias metabólicas anaeróbias, mas requer um tratamento mais curto (TORTORA; FUNKE; CASE, 2010).

As recomendações para reduzir o risco de infecção são as mesmas citadas para se evitar a criptosporidiose (rever 2º. parágrafo da página 14). O cisto de *Giardia* resiste até dois meses no meio exterior, em boas condições de umidade e temperatura. Além disso, ele é resistente ao processo de cloração da água e sobrevive muito tempo embaixo das unhas. Tudo isso contribui para a epidemiologia da giardiose e sua alta prevalência principalmente em regiões tropicais e subtropicais e entre pessoas de baixo nível econômico (SOGAYAR; GUIMARÃES, 2005).

Como já dito, a temperatura afeta a viabilidade de cistos de *Giardia*. Em estudos de viabilidade de cistos de origem humana suspensos em água de torneira utilizando o desencistamento *in vitro* observou-se que cistos expostos ao congelamento e ao descongelamento, bem como à ebulição não sobreviveram, enquanto cistos armazenados a 8, 21 e 37 °C permaneceram viáveis por até 77, 24 e 4 dias, respectivamente. Em outro estudo

das condições de armazenamento, cistos de *G. muris* foram suspensos em água de lago, a 4,57 m e 9,14 m, e em água de rio, enquanto cistos em suspensão na água da torneira e água reagente foram armazenados em um refrigerador do laboratório. Na água do lago, os cistos permaneceram viáveis por 28 dias a 4,57 m e 56 dias a 9,14 m. Os cistos expostos à água do rio permaneceram viáveis por até 28 dias. Cistos armazenados em água da torneira não eram mais viáveis após 14 dias. Os cistos de controle, que foram armazenados em água reagente na geladeira do laboratório, permaneceram viáveis até 84 dias (SCHAEFER, III, 1999).

Há seis espécies de *Giardia* (como evidenciado na Tabela 3.3), porém *Giardia duodenalis*, sinônimas *G. lamblia* e *G. intestinalis*, é a única espécie reconhecidamente encontrada em humanos e outros mamíferos. Sua forma trofozoítica apresenta dois núcleos e oito flagelos. *G. duodenalis* é conhecida por ter, pelo menos, sete genótipos (conjuntos), mas apenas dois destes, designados grupos A e B, causam infecções em seres humanos (ADAM, 2001; CACCIÒ *et al.*, 2005; MONIS; CACCIÒ; THOMPSON, 2009; PLUTZER; ONGERTH; KARANIS, 2010; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010; BAQUE *et al.*, 2011).

**Tabela 3.3 – Espécies de *Giardia* e seus respectivos hospedeiros.**

<b>Espécies de <i>Giardia</i></b>	<b>Hospedeiros principais</b>
<i>G. duodenalis</i> grupo A	Humanos e outros primatas, cachorros, gatos, animais de pasto, roedores e outros mamíferos selvagens
<i>G. duodenalis</i> grupo B ( <i>G. enterica</i> )	Humanos e outros primatas, cachorros, algumas espécies de mamíferos selvagens
<i>G. duodenalis</i> grupo C/D ( <i>G. canis</i> )	Cachorros e outros canídeos
<i>G. duodenalis</i> grupo E ( <i>G. bovis</i> )	Gado e outros animais de pasto
<i>G. duodenalis</i> grupo F ( <i>G. cati</i> )	Gatos
<i>G. duodenalis</i> grupo G ( <i>G. simondi</i> )	Ratos
<i>G. agilis</i>	Anfíbios
<i>G. muris</i>	Roedores
<i>G. microti</i>	Ratos almiscarados e ratazanas
<i>G. psittaci</i>	Pássaros
<i>G. ardeae</i>	Pássaros

**Fonte:** Cacciò *et al.* (2005), Monis, Cacciò e Thompson (2009), Plutzer, Ongerth e Karanis (2010).

*G. duodenalis* é um protozoário cosmopolita e, provavelmente, o parasita intestinal mais comumente detectado em fezes humanas, em todo o mundo (CACCIÒ *et al.*, 2005; TORTORA; FUNKE; CASE, 2010; SMITH; MANK, 2011). A infecção por esse protozoário ocorre tanto em regiões em desenvolvimento, onde o saneamento é deficiente ou inexistente e onde beber água superficial não tratada é comum, quanto em regiões desenvolvidas, onde o saneamento é eficaz e medidas de saúde pública são praticadas e a água de consumo é tratada e canalizada para as residências (SMITH; MANK, 2011).

### 3.2.3 *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp.: Ocorrência ambiental e principais surtos

#### 3.2.3.1 Ocorrência ambiental de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp.

Diversas características dos protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia* contribuem para sua sobrevivência no ambiente e facilitam sua transmissão pela água, colaborando com o aumento da sua prevalência na população, sua ocorrência ambiental e o aparecimento de surtos. Algumas dessas características estão destacadas na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4** – Algumas características de *C. parvum* e *G. duodenalis* que aumentam a sobrevivência no ambiente e facilitam a transmissão pela água.

Característica	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>
Grande número de oocistos e cistos excretados pelos hospedeiros infectados.	Cerca de $10^{10}$ oocistos excretados durante a infecção sintomática.	Até $1,44 \times 10^9$ cistos por dia podem ser excretados por um humano infectado.
Baixa especificidade parasitária aumenta o potencial de disseminação e contaminação ambiental.	Infecções por <i>C. parvum</i> relatados a partir de uma variedade de mamíferos, incluindo seres humanos, animais domesticados, animais de estimação e animais silvestres.	Infecções por <i>G. duodenalis</i> relatadas a partir de uma variedade de animais, incluindo seres humanos, animais domesticados e animais silvestres.
Infectividade imediata de oocistos e cistos.	Os oocistos são imediatamente infecciosos quando excretados nas fezes, e podem ser transmitidos pelo contato pessoa a pessoa.	Os cistos são imediatamente infecciosos quando excretados nas fezes, e podem ser transmitidos pelo contato pessoa a pessoa.
Natureza robusta de oocistos e cistos aumenta a sua sobrevivência por longos períodos de tempo em ambientes favoráveis.	Sobrevivência de oocistos é maior em ambientes úmidos e frios. Eles podem sobreviver por mais de seis meses em suspensão na água.	Sobrevivência de cistos é maior em ambientes úmidos e frios. Eles podem sobreviver por um a dois meses em suspensão na água.
Robustez ambiental de oocistos e cistos lhes permite sobreviver a alguns processos de tratamento de água.	Surto pela água indicam que os oocistos podem sobreviver a tratamento físico e desinfecção. Oocistos são resistentes a desinfetantes comumente utilizados no tratamento de água.	Surto pela água indicam que os cistos podem sobreviver a alguns processos de tratamento de água. Cistos são sensíveis a alguns desinfetantes comumente utilizados no tratamento de água.
O pequeno tamanho dos oocistos e cistos ajuda a sua penetração através de filtros de areia.	4,0 a 6,0 $\mu\text{m}$	8,0 a 12 x 7,0 a 10 $\mu\text{m}$ (comprimento x largura)
Poucos oocistos e cistos infecciosos precisam ser ingeridos para a infecção se estabelecer em hospedeiros suscetíveis.	Nove oocistos podem causar infecção em seres humanos, cinco oocistos pode causar infecção em cordeiros gnotobióticos*.	Dose infectante média em humanos é de 25 a 100 cistos.
Excreção de oocistos e cistos nas fezes facilita a propagação na água por aves aquáticas.	Oocistos viáveis excretados pelos hospedeiros de transporte, tais como gaivotas e outros que se alimentam de esgoto/carniça.	Aves aquáticas e outros que se alimentam de esgoto/carniça podem transportar cistos viáveis.

**Fonte:** Cacciò *et al.* (2005); Karanis, Kourenti e Smith (2007).

\* Animais criados e mantidos em isoladores que os mantêm livres de quaisquer tipos de micro-organismos ou inoculados com alguma forma de vida, não patogênica, adicional, como bactérias, por exemplo, para uso como modelos em pesquisas científicas (POLITI *et al.*, 2008).

A presença de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. nos mananciais aumenta a preocupação com a transmissão dos parasitos, porque quando ocorre apenas por contato com fômites contaminados, de pessoa a pessoa, animal a pessoa, restringe-se o número de pessoas infectadas. No entanto, quando ocorre por veiculação hídrica pode atingir facilmente um grande contingente da população (LIMA; STAMFORD, 2003). Assim, preocupados com a ocorrência desses protozoários em água, diversos países vêm pesquisando e quantificando esses organismos em seus mananciais, o que vem permitindo uma avaliação da extensão do problema em saúde pública em todo o mundo.

Há mais estudos realizados na América do Norte, Europa e Ásia, do que na África, Oceania e Américas Central e do Sul. No Brasil, os dados disponíveis sobre a presença de *Cryptosporidium* e *Giardia* nos mananciais provêm, em sua maioria, de pesquisas acadêmicas, sendo que grande parte dos registros de infecções ocasionadas por esses protozoários patogênicos é obtida a partir de amostras clínicas de fezes humanas em eventos diarreicos (FRANCO, 2007; CARDOSO *et al.*, 2002). Contudo, nos últimos cinco ou seis anos tem-se intensificado o interesse pelo monitoramento de *Cryptosporidium* e *Giardia* nos mananciais de abastecimento e estações de tratamento de água no Brasil, o que foi ainda mais reforçado pelas recomendações da nova portaria de potabilidade do país (BRASIL, 2011), como será discutido na seção 3.3.

A ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* já vem sendo detectada por diversos países a partir de vários estudos, havendo variações em suas concentrações. Em geral, em mananciais de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento encontram-se maiores concentrações desses protozoários do que em fontes de água de países desenvolvidos, principalmente devido aos maiores impactos de poluição e contaminação impostos às águas daqueles países, ao uso e ocupação do solo desordenado e à inexistência ou baixa cobertura de serviços de esgotamento sanitário.

Alguns exemplos dessas pesquisas, organizados a partir de um levantamento de bibliografias diversas, porém objetivando-se a exemplificação de países dos diferentes continentes, serão apresentados a seguir:

- Na América do Norte há diversos estudos desenvolvidos, principalmente, a partir da década de 1970. No Canadá foi investigada a presença de *Cryptosporidium* e *Giardia* em água, esgoto e amostras de fezes de animais, no território de Yukon, por Roach *et*

al. (1993). Esses organismos foram encontrados em águas pristinas (em 32% das amostras foi detectada *Giardia*, mas nenhum oocisto foi encontrado), em amostras fecais de animais (da mesma forma nenhum oocisto foi encontrado e *Giardia* foi detectada em 21% das amostras), na água tratada (em 17% e 5,0% das amostras foram detectados cistos e oocistos, respectivamente) e nos esgotos (com concentrações de 26 a 3.022 cistos/L e de 0 a 74 oocistos/L no esgoto bruto, e concentrações maiores de *Cryptosporidium* do que de *Giardia* nos esgotos tratados). Nos Estados Unidos, Ryu e Abbaszadegan (2008) realizaram um estudo sistemático, por quatro anos, da qualidade microbiológica das águas superficiais da região central do Arizona. Um total de 192 amostras de água, coletadas mensalmente, de cinco locais (três águas superficiais e duas ETAs), foram analisadas para presença de *Cryptosporidium*, *Giardia* e vários indicadores microbianos e físicos. Foram detectados oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* em 10% (16/162) e 27% (44/162), respectivamente, das amostras filtradas no próprio local (com filtro Envirochek; em volumes de 40 a 100 L), enquanto nenhum oocisto foi encontrado nas amostras coletadas em galão plástico de 10 L (0/30) e cistos de *Giardia* foram encontrados em 10% (3/30) dessas amostras. As concentrações médias encontradas desses parasitos foram de 0,2 a 0,5 oocistos/100 L e de 0,1 a 5,8 cistos/100 L, para *Cryptosporidium* e *Giardia*, respectivamente. Os autores observaram que a *Giardia* foi mais frequentemente encontrada e em maiores concentrações do que *Cryptosporidium*.

- Na região da Galícia, na Espanha, foi desenvolvido um estudo por Castro-Hermida e colaboradores (2011) para investigar a dispersão ambiental de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia duodenalis* em duas áreas distintas (costeiras e interiores). Em cada uma das áreas selecionadas, foram coletadas amostras de água não tratada (afluente) e de água tratada (efluente final) de 12 estações de tratamento de água (ETAs) e 12 estações de tratamento de esgoto (ETEs). Nas áreas costeiras, foram detectados oocistos de *Cryptosporidium* em 16,6% das amostras de afluente e efluente das ETAs e em 66,6% das amostras de afluente e efluente das ETEs, enquanto cistos de *G. duodenalis* foram encontrados em 25% e 100% das amostras de afluente e efluente das ETAs e ETEs, respectivamente. As concentrações foram notavelmente maiores nas ETEs, sendo que as concentrações médias dos parasitas no efluente tratado foram de 10 oocistos/L e 137,8 cistos/L de *Cryptosporidium* e *Giardia*, respectivamente. Briancesco e Bonadonna (2005) pesquisaram a ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia* em esgoto, água bruta e água tratada em algumas regiões da Itália. Esses autores

detectaram os protozoários em todas as amostras de esgoto, em praticamente todas as amostras de água bruta e em algumas amostras de água potável e de piscina. Nas amostras de água bruta as concentrações desses parasitos variaram, em média, de  $8,0 \times 10^1$  a  $6,0 \times 10^3$  cistos/L e de 0 a 5,0 oocistos/L, para *Giardia* e *Cryptosporidium*, respectivamente. No norte de Portugal foi desenvolvida uma pesquisa por Almeida *et al.* (2010) para avaliar a prevalência e níveis de concentração de *Cryptosporidium* spp. e *G. duodenalis* em amostras de água de estações de tratamento de água. Foram selecionadas 43 fontes de água e um total de 167 amostras foram analisadas. Os protozoários foram detectados em 25,7% das amostras de água, sendo 8,4% com cistos de *Giardia*, 10,2% com oocistos de *Cryptosporidium* e 7,2% com ambos os organismos. As concentrações médias encontradas foram de 0,1 a 12,7 oocistos/10 L e de 0,1 a 108,3 cistos/10 L de *Cryptosporidium* e *Giardia*, respectivamente.

- A ocorrência de cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* foi determinada nas águas bruta e tratada de duas ETAs em Selangor, na Malásia, entre julho de 1994 e janeiro de 1995, por Ahmad *et al.* (1997). Cistos de *Giardia* foram detectados em 90% das amostras de água bruta (variando de 0 a 60 cistos/L), entretanto não foram detectados oocistos de *Cryptosporidium* em nenhuma das estações.
- A biodinâmica de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. foi avaliada no lago municipal de Yaoundé, que é um lago eutrófico artificial que foi construído no rio Mingoa da bacia do rio Mfoundi em Camarões. Os resultados sugeriram um aumento da densidade de (oo)cistos a partir da superfície até o fundo do ecossistema lântico. As concentração de oocistos variaram de 56 oocistos/L na camada superior a 2.640 oocistos/L na camada mais profunda, enquanto as concentrações de cistos variaram de 24 cistos/L na camada de superfície do lago a 1.713 cistos/L na camada inferior (AJEAGAH *et al.*, 2007).
- Na Colômbia, foi avaliada a presença de *Cryptosporidium* e *Giardia* em cinco estações de amostragem na bacia do rio Bogotá e em dois sistemas de abastecimento da mesma área. Foi confirmada a presença de *Cryptosporidium* spp. em duas das estações do rio Bogotá, com concentrações de 266,3 e 233,3 oocistos/L, respectivamente. *Giardia* spp. foi encontrada nas duas estações de tratamento de água, com concentrações de 10 a 13,3 cistos/L, mas não no rio Bogotá (ALARCÓN *et al.*, 2005). No Brasil, Bastos *et al.* (2004) monitoraram durante um ano águas bruta e filtrada de três ETAs em Minas Gerais, quanto à presença de *Giardia*, *Cryptosporidium* e

indicadores microbiológicos e físico-químicos da qualidade da água. Em duas fontes de água foram detectados de 2,0 a 140 cistos/L e de 4,0 a 510 oocistos/L de *Giardia* e *Cryptosporidium*, respectivamente. Em duas das três ETAs foram detectados cistos e oocistos em altas densidades na água filtrada, com concentrações de 0,066 a 5,5 cistos/L e 0,066 a 2,13 oocistos/L. Na Região Metropolitana de Belo Horizonte-MG, Lopes (2009) avaliou a ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em quatro pontos da represa de Vargem das Flores, durante um ano. Os resultados indicaram concentrações oscilando entre 0 a 4,0 oocistos/10 L e 0 a 8,0 cistos/10 L de *Cryptosporidium* e *Giardia*, respectivamente. Machado *et al.* (2009) avaliou a ocorrência de *Cryptosporidium* spp. em três mananciais da Região Metropolitana de Recife-PE e nas águas bruta e tratada de um sistema de abastecimento de água da região. As amostras de água tratada não apresentaram positividade nas análises parasitológicas, enquanto nas amostras de água bruta foram encontrados oocistos do protozoário em dois dos cinco locais investigados e em 3 das 60 amostras de água bruta coletadas com o número de oocistos variando de 16 oocistos/L a 40 oocistos/L.

### 3.2.3.2 Principais surtos de criptosporidiose e giardiose

Surtos de criptosporidiose e giardiose vêm sendo relatados na literatura, tanto relacionados à água de consumo, quanto a águas recreacionais, alimentos, contágio de animal a pessoa e pessoa a pessoa, principalmente em creches (CDC, 2010a). Porém, aqui, serão abordados apenas alguns daqueles relacionados à veiculação hídrica, em particular, por água de consumo.

Segundo Karanis, Kourenti e Smith (2007), pelo menos 325 surtos de veiculação hídrica atribuídos a protozoários patogênicos estão documentados em todo o mundo, sendo que, dentre os agentes causadores, a *Giardia duodenalis* foi responsável por 132 surtos, e o *Cryptosporidium parvum* foi relatado como causador de 165 dos casos registrados. Os outros 28 casos foram associados a outros protozoários. Esses autores apresentam uma extensa revisão sobre esses surtos, evidenciando local, agente causador e casos estimados da população afetada.

Dentre os surtos de criptosporidiose de maior impacto estão os casos que ocorreram na Geórgia (EUA), em 1987, onde 13.000 pessoas foram afetadas, e em Saitama (Japão), em



1996, quando 8.705 indivíduos foram acometidos, sendo o *Cryptosporidium* detectado na água tratada e não tratada. Em Oregon (EUA) houve 15.000 casos de criptosporidiose e o parasito foi detectado na água em processo de tratamento (LIMA; STAMFORD, 2003). E o maior surto de criptosporidiose de veiculação hídrica relatado ocorreu em 1993, na cidade de Milwaukee, Wisconsin, EUA, onde mais de 400.000 pessoas desenvolveram sintomas de gastroenterite, 44.000 necessitaram de cuidados médicos, outras 4.400 foram hospitalizadas e 100 pessoas morreram (MAC KENZIE *et al.*, 1994).

Também foram confirmados surtos de criptosporidiose em outros/as países/regiões, como Reino Unido, Canadá, Japão, Nova Zelândia e Austrália (KARANIS; KOURENTI; SMITH, 2007), todos associados ao consumo ou contato recreacional com água contaminada. No Brasil, Lima e Stamford (2003) relatam que, em 1997, o Centro de Referência e Treinamento de Doenças Sexualmente Transmissíveis de São Paulo (CRT/DST) registrou 2.842 casos de criptosporidiose no período de 1980 a 1997 entre os pacientes imunocomprometidos, particularmente nos portadores de Aids, sendo as regiões Nordeste e Sudeste do país as áreas mais afetadas.

O primeiro surto de veiculação hídrica registrado tendo a *Giardia* como agente etiológico ocorreu em Portland, Oregon, EUA, nos anos de 1954 e 1955, onde cerca de 50.000 pessoas foram contaminadas após o consumo de água advinda de uma fonte superficial, que recebia como tratamento apenas a cloração (VEAZIE, 1969, MEYER, 1973 *apud* KARANIS; KOURENTI; SMITH, 2007). Desde então, diversos surtos de giardiose foram registrados em vários países: como, por exemplo, na Inglaterra e no País de Gales (SMITH *et al.*, 2006; HUNTER *et al.*, 2011), nos Estados Unidos (MEYER; RADULESCU, 1979; KENT *et al.*, 1988; CDC, 2010a, 2011), na França (HUNTER *et al.*, 2011), na Noruega (ROBERTSON *et al.*, 2006b), na Nova Zelândia (SNEL *et al.*, 2009).

Provavelmente os casos de criptosporidiose e de giardiose são subestimados, tendo em vista que, em geral, apenas os países mais desenvolvidos têm realizado estudos para investigar os surtos e, além disso, como as condições sanitárias dos países mais pobres são piores, a população está mais exposta a doenças veiculadas pela água. Nesse contexto, a portaria de potabilidade brasileira recentemente publicada (BRASIL, 2011) exige o monitoramento de protozoários nas águas destinadas ao consumo humano, desde que estas atendam a determinadas características, como será discutido com mais detalhes na seção 3.3, de modo

que esta pesquisa pretende contribuir para a geração de conhecimento no país relacionado ao tema.

### **3.3 Regulamentações sobre a qualidade da água de consumo humano com foco no controle de Cryptosporidium e Giardia**

No que diz respeito à qualidade da água de consumo humano com foco no controle de *Cryptosporidium* e *Giardia*, diversos países têm em suas regulamentações e diretrizes aspectos que contemplam a avaliação de ocorrência, remoção e pesquisas. A seguir, serão apresentadas e discutidas algumas dessas regulamentações.

Nos Estados Unidos, o *Safe Drinking Water Act* (SDWA) de 1974, e suas alterações posteriores de 1986 e 1996, autorizou a Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency* – EPA) a definir normas nacionais para proteger a água de abastecimento público contra contaminantes de fontes naturais ou produzidos pelo ser humano. Esses padrões incluem níveis máximos baseados em saúde para contaminantes microbiológicos, químicos e outros na água potável e critérios de desempenho de tratamento de água para a remoção ou inativação de contaminantes. Normas adicionais que protegem contra a exposição a agentes patogênicos incluem a *Surface Water Treatment Rule* (SWTR), de 1989, e suas alterações (*Interim Enhanced SWTR* de 1998, *Long Term 1 Enhanced SWTR* de 2002 e *Long Term 2 Enhanced SWTR* de 2006), que especificam técnicas de tratamento de água, monitoramento e critérios de desempenho para sistemas que utilizam fontes de água superficiais para se proteger contra contaminação por *Giardia* e *Cryptosporidium*; a *Total Coliform Rule* (TCR) de 1989, a qual exige que sistemas públicos de água monitorem indicadores de contaminação fecal e tomem ações corretivas quando estes são encontrados; e a *Ground Water Rule* (GWR) de 2006, que especifica quando a ação corretiva, incluindo a desinfecção, é necessária para poços e nascentes para proteger contra as bactérias e vírus. A EPA estabeleceu critérios para avaliar se as fontes de água subterrânea estão sob a influência direta das águas superficiais, e, em caso afirmativo, esses sistemas devem atender às disposições da SWTR e suas alterações (CDC, 2011).

Destacando a legislação estadunidense mais recente, a *Long Term 2 Enhanced SWTR* (LT2ESWTR), de 2006, observa-se que esta regulamentação propõe níveis de remoção e/ou inativação mínimas necessários para a redução da concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. observada na fonte de água de forma que não determine um risco superior ao considerado como aceitável – que é de  $10^{-4}$  infecções por pessoa por ano, ou, uma

infecção por pessoa em cada 10.000 exposições em um ano –, com o intuito de proteger a saúde pública contra infecções por este protozoário e outros organismos patogênicos, como a *Giardia*. Essa orientação é principalmente direcionada aos sistemas abastecidos por fontes superficiais ou águas subterrâneas com influência direta de águas superficiais (EPA, 2006).

A LT2ESWTR estabelece uma classificação para os sistemas de abastecimento em função das concentrações médias de oocistos de *Cryptosporidium* encontradas na fonte de água, resultante do monitoramento de um ou mais anos, e direciona tratamentos adicionais, quando necessário, para garantir a remoção desse protozoário (Tabela 3.5). Além disso, para cada tipo de tratamento de água é estabelecido um crédito de eficiência (em unidades logarítmicas) de remoção de *Cryptosporidium* (3,0 log para tratamento convencional e filtração lenta ou em terra de diatomácea e 2,5 log para a filtração direta, condicionados à turbidez da água filtrada) e também são indicadas diversas formas de se acrescentar créditos ao sistema, desde a escolha do tipo de manancial até às alternativas tecnológicas mais eficientes de remoção e de inativação desses protozoários, como programa de proteção e controle da bacia hidrográfica, pré-sedimentação com coagulação, entre outros critérios (EPA, 2006).

**Tabela 3.5** – Classificação dos sistemas de abastecimento de água em função da concentração média de oocistos de *Cryptosporidium* e tratamentos adicionais requeridos para redução dessas concentrações segundo a LT2ESWTR.

Concentração média de oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	Classificação (Bin)	Tratamento adicional requerido de acordo com o tipo de tratamento	
		Tratamento convencional, filtração em terra de diatomácea ou filtração lenta	Filtração direta
< 0,075 oocisto/L	1	Nenhum tratamento adicional	Nenhum tratamento adicional
≥ 0,075 a < 1,0 oocisto/L	2	Adição de processo de tratamento que reduza em, pelo menos, 1,0 log a concentração de oocistos	Adição de processo de tratamento que reduza em, pelo menos, 1,5 log a concentração de oocistos
≥ 1,0 a < 3,0 oocistos/L	3	Adição de processo de tratamento que reduza em, pelo menos, 2,0 log a concentração de oocistos <sup>1</sup>	Adição de processo de tratamento que reduza em, pelo menos, 2,5 log a concentração de oocistos <sup>1</sup>
≥ 3,0 oocistos/L	4	Adição de processo de tratamento que reduza em, pelo menos, 2,5 log a concentração de oocistos <sup>1</sup>	Adição de processo de tratamento que reduza em, pelo menos, 3,0 log a concentração de oocistos <sup>1</sup>
NA <sup>2</sup>	1	Nenhum tratamento adicional	Nenhum tratamento adicional

<sup>1</sup> Sendo 1,0 log a partir do uso de O<sub>3</sub>, ClO<sub>2</sub>, ultravioleta, membranas, filtros de cartucho ou filtração em margem.

<sup>2</sup> NA = não se aplica. Em sistemas que abastecem menos de 10 mil pessoas, não é necessário o monitoramento de *Cryptosporidium*, desde que haja monitoramento de *E. coli* e seja demonstrado que a concentração média desta bactéria é menor ou igual a 10/100 mL para lagos e reservatórios ou 50/100 mL para águas correntes.

**Nota:** É importante ressaltar que tais valores e conclusões se deram a partir de uma AQRM trabalhada anteriormente.

**Fonte:** Adaptado de EPA (2006).

No Canadá, a legislação de qualidade da água passou recentemente, em 2010, por consulta pública e está em fase de publicação final. De acordo com o documento (CANADÁ, 2010), quando o tratamento é necessário para remoção de protozoários entéricos, a diretriz proposta para *Giardia* e *Cryptosporidium* é uma meta de um mínimo de 3,0 log de remoção e/ou inativação de cistos e oocistos, com vistas a reduzir o risco à saúde. Dependendo da qualidade da água da fonte, pode ser necessária uma maior remoção e/ou inativação. Tecnologias de tratamento e medidas de proteção de mananciais ou poços, conhecidas por reduzir o risco de doenças transmitidas pela água, devem ser implementadas e mantidas se a fonte estiver sujeita a contaminação fecal ou se houver relatos de surtos passados causados por *Giardia* ou *Cryptosporidium* em água.

Esse guia incorpora a abordagem indicada pelos PSA preconizados pela OMS: o sistema deve ser avaliado por inteiro, desde a fonte, passando pelo tratamento, até a distribuição à população, a fim de identificar os riscos e as medidas apropriadas para mitigar esses riscos e, assim, garantir a qualidade da água consumida (CANADÁ, 2010). Além disso, considera os mesmos valores de créditos aos diferentes tipos de tratamento concedidos pela LT2ESWTR e também incentiva a aplicação da AQRM. E outra característica é que essa regulamentação adota o mesmo risco aceitável indicado pela OMS (WHO, 2011):  $10^{-3}$ , ou seja, uma infecção a cada 1.000 pessoas expostas por ano.

Na Austrália, o recente guia para a qualidade da água (AUSTRÁLIA, 2011) aborda aspectos relacionados à qualidade físico-química e microbiológica da água, considerando a gestão da qualidade da água, características da água, monitoramento dos sistemas de abastecimento, informações sobre desinfecção, amostragem e estatística e seções sobre determinadas características da água, inclusive sobre a presença de organismos patogênicos, como o *Cryptosporidium* e a *Giardia*. Nessa seção, nenhum valor de referência é definido para *Cryptosporidium* nem para *Giardia*. No entanto, a legislação australiana recomenda uma abordagem de múltiplas barreiras, desde a captação até a distribuição da água (assim como preconiza a OMS através da elaboração de PSA), para minimizar o risco de contaminação por esses protozoários. Embora o monitoramento de rotina para *Cryptosporidium* e *Giardia* não seja exigido, investigações podem ser necessárias em resposta a eventos que podem aumentar o risco de contaminação (por exemplo, fortes chuvas, o aumento da turbidez, falha no tratamento). Se *Cryptosporidium* e/ou *Giardia* forem detectados na água potável, os serviços de saúde devem ser notificados imediatamente. Todas as medidas necessárias para avaliar e minimizar riscos à saúde pública devem ser implementadas o mais rapidamente possível.

Na Tabela 3.6 são mostrados os valores indicados de remoções para *Cryptosporidium* e *Giardia* a partir da abordagem de múltiplas barreiras.

**Tabela 3.6** – Remoções estimadas de *Cryptosporidium* e *Giardia*, pela legislação australiana, através da abordagem de múltiplas barreiras.

Organismo	Redução estimada em número de organismos			Remoção total estimada	
	Proteção da bacia	Tempo de detenção do reservatório	Filtração		
<i>Giardia</i>	0,5 a 1,0 log <sub>r</sub>	1,5 a 2,5 log <sub>r</sub> TD longo: 1 a 6 meses	C: 2,5 log <sub>r</sub> FD: 2,0 log <sub>r</sub> M: > 4,0 log <sub>r</sub>	Cloro: 1,0 a 2,0 log <sub>r</sub> O <sub>3</sub> e ClO <sub>2</sub> : 2,0 log <sub>r</sub>	5,5 a 8,0 log <sub>r</sub>
<i>Cryptosporidium</i>	0,5 a 1,0 log <sub>r</sub>	1,0 a 2,0 log <sub>r</sub> TD longo: 1 a 6 meses	C: 2,0 log <sub>r</sub> FADF: 2,0 log <sub>r</sub> FD: 2,0 log <sub>r</sub> M: > 4,0 log <sub>r</sub>	O <sub>3</sub> : 0,5 a 2,0 log <sub>r</sub> ClO <sub>2</sub> : 0,5 a 1,0 log <sub>r</sub> Luz ultravioleta: 3 log <sub>r</sub> Cloro e cloraminas: ineficazes	3,5 a 7,0 log <sub>r</sub>

**Legenda:** C = Convencional; FADF = Flotação por ar dissolvido e filtração; FD = Filtração direta; log<sub>r</sub> = Eficiência de remoção em unidades logarítmicas; M = Membrana; TD = Tempo de detenção.

**Fonte:** Austrália (2011).

Na Nova Zelândia, *Cryptosporidium* e *Giardia* são considerados prioridade 1, devido a sua significância em saúde pública. Na legislação vigente (NOVA ZELÂNDIA, 2008), os critérios de conformidade para os protozoários são baseados na probabilidade de que o processo de tratamento terá inativado (por exemplo, por desinfecção, ao atingir o valor prescrito de C.t<sup>1</sup>) ou removido (por exemplo, alcançando-se o valor-alvo de turbidez da água filtrada) qualquer protozoário presente. Assim, como o *Cryptosporidium* é considerado como mais difícil de remover ou inativar, se o sistema de abastecimento lidar com sucesso com ele, também será capaz de remover ou inativar outros protozoários. Dessa forma, a abordagem da legislação neozelandesa no que diz respeito a protozoários baseia-se nos seguintes pontos (NOVA ZELÂNDIA, 2008):

- critérios baseados em risco que são mais rigorosos para água bruta contaminada do que para água bruta não contaminada;
- reconhecimento de qualquer efeito aditivo de sucessivos processos de tratamento diferentes na remoção de protozoários, onde mais de um processo de tratamento é utilizado;
- utilização de dados de outros países/instituições, principalmente da EPA, sobre eficácia de remoção de *Cryptosporidium* para uma série de processos de tratamento;

<sup>1</sup> C.t = Concentração do desinfetante (mg.L<sup>-1</sup>) x tempo de contato do mesmo (min).

- especificação de uso de equipamentos validados (se for o caso) para monitoramento ou análise de parâmetros operacionais e de qualidade da água, programas de monitoramento e medidas de desempenho de tratamento;
- exigência de ações corretivas apropriadas a serem tomadas.

Portanto, são apresentados créditos em log que devem ser alcançados pelos sistemas dependendo do tipo do manancial (superficial ou subterrâneo), uso e ocupação do solo e impactos a que o manancial está sujeito, além de créditos em log que também devem ser alcançados de acordo com a concentração média de oocistos de *Cryptosporidium* encontrados por meio dos programas de monitoramento. Assim, para mananciais com média maior ou igual a 10 oocistos/10 L, devem ser alcançados 5,0 log de crédito, para aqueles com concentração média de oocistos entre 0,75 e 9,99/10 L são necessários 4,0 log de crédito, enquanto em fontes com menos de 0,75 oocistos/10 L, em média, deve-se alcançar 3,0 log de crédito. E como a EPA, a legislação neozelandesa indica os créditos que cada etapa/tipo de tratamento pode conceder ao sistema (NOVA ZELÂNDIA, 2008).

Os critérios utilizados para o cumprimento da legislação da Nova Zelândia (NOVA ZELÂNDIA, 2008) em relação aos protozoários são baseados no uso de:

- turbidez, para avaliar a eficácia do tratamento convencional com coagulação mais filtração (filtração direta ou filtração com sedimentação ou flotação por ar dissolvido), filtração em terra diatomácea e filtração lenta;
- contagem de partículas;
- teste de integridade direto de estações com separação por membranas;
- teste de integridade indireto (como queda de pressão, turbidez remanescente e algumas condições de operação) para filtros de cartucho e separação por membranas;
- valores de tempo de contato (C.t), monitoramento do residual do desinfetante químico e condições de operação para avaliar a adequação da desinfecção;
- dosagem e condições operacionais especificadas para a eficaz desinfecção por ultravioleta;
- demonstrações de que a água de poço é segura.

Diferente de outros países, a Nova Zelândia determina um valor máximo aceitável para protozoários patogênicos, que é menor que um (oo)cisto por 100 L de água.

No Reino Unido, especificamente na Inglaterra e no País de Gales, as diretrizes do *Drinking Water Inspectorate* (DWI) determinam uma avaliação global dos riscos que leve em consideração todas as substâncias, micro-organismos, incluindo parasitas, algas e vírus e todas as variantes que podem indicar perigos e eventos perigosos. Assim, em relação a protozoários, principalmente ao *Cryptosporidium*, as legislações ressaltam a importância de otimizar os processos e operações de tratamento de água com o intuito de efetivamente remover oocistos de *Cryptosporidium*, através do controle da eficiência de remoção de partículas em função da turbidez das águas filtrada e tratada, que deve ser  $< 1,0$  uT (REINO UNIDO, 2008, 2010a, 2010b). Tais diretrizes adotaram os mesmos princípios da análise e gerenciamento do risco que compõem os PSA propostos pela OMS, estimulando o controle dos micro-organismos patogênicos identificados como de referência para garantia da qualidade microbiológica da água de consumo.

O DWI disponibiliza protocolos para o monitoramento de *Cryptosporidium* em sistemas de abastecimento de água, instruindo desde a amostragem até a análise laboratorial e a validação de novos métodos (REINO UNIDO, 2008, 2010a, 2010b).

Em relação à legislação brasileira, ainda há muito a avançar no que diz respeito ao controle de micro-organismos patogênicos em águas de abastecimento, principalmente no contexto de barreiras múltiplas e dos instrumentos de gestão previstos nos PSA, como a análise de risco, a investigação epidemiológica e a inspeção sanitária. A portaria de potabilidade anteriormente vigente, Portaria n.º. 518/2004 (BRASIL, 2005), apenas tangenciava essa questão, ao recomendar a pesquisa de *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp. e enterovírus (BASTOS *et al.*, 2001; CERQUEIRA, 2008). Com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção desses organismos, a Portaria n.º. 518/2004 recomendava a obtenção de efluentes de filtração rápida com turbidez inferior a 0,5 uT em 95% dos dados mensais, associando esse resultado à redução da probabilidade de transpasso desses micro-organismos pelo tratamento da água de consumo (BRASIL, 2005). Contudo, em 2009, o Ministério da Saúde do Brasil iniciou processo de revisão dessa Portaria e, a partir de avanços do conhecimento técnico-científico no que diz respeito aos padrões de potabilidade, baseando-se em normas internacionais, nos Guias da Qualidade da Água para Consumo Humano da OMS e em resultados dos estudos contratados pelo próprio Ministério da Saúde, foi publicada em dezembro de 2011 a nova portaria de potabilidade brasileira – Portaria n.º. 2.914/2011 (BRASIL, 2011). Esse documento traz uma abordagem mais específica sobre o controle dos protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia*, determinando que sistemas de abastecimento e soluções alternativas coletivas de

abastecimento de água devem realizar monitoramento de *Cryptosporidium* e *Giardia* no(s) ponto(s) de captação caso seja identificada média geométrica anual de *Escherichia coli* maior ou igual a 1.000/100 mL. Para a garantia da qualidade microbiológica da água, a Portaria estabelece atendimento gradual de padrão de turbidez, num período de quatro anos, conforme apresentado na Tabela 3.7, com intuito de atingir valores inferiores a 0,5 uT em efluentes de filtração rápida.

**Tabela 3.7** – Metas progressivas estabelecidas pela Portaria n.º. 2.914/2011 para atendimento gradual ao valor máximo permitido de 0,5 uT para filtração rápida (tratamento convencional ou filtração direta).

Período após a publicação da Portaria	Turbidez ≤ 0,5 uT	Turbidez ≤ 1,0 uT
Final do 1.º ano	Em no mínimo 25% das amostras mensais coletadas	
Final do 2.º ano	Em no mínimo 50% das amostras mensais coletadas	No restante das amostras mensais coletadas
Final do 3.º ano	Em no mínimo 75% das amostras mensais coletadas	
Final do 4.º ano	Em no mínimo 95% das amostras mensais coletadas	

Fonte: Brasil (2011).

Além disso, a Portaria n.º. 2.914/2011 recomenda, também, a redução da turbidez da água filtrada para valor menor ou igual a 0,3 uT em 95% das amostras mensais quando for obtida uma média aritmética – considerando um número mínimo de 24 amostras uniformemente coletadas ao longo de um período mínimo de um ano e máximo de dois anos – superior a 3,0 oocistos de *Cryptosporidium* spp./L no(s) pontos(s) de captação de água (BRASIL, 2011). Dessa forma, observam-se avanços no Brasil no que concerne à obtenção de dados sobre a ocorrência desses organismos nos mananciais nacionais e à redução de riscos à saúde humana devido a infecções por tais parasitas.

Em um âmbito geral, os guias para a qualidade da água de consumo da OMS (WHO, 2011) apresentam o *Cryptosporidium* como micro-organismo patogênico alvo para implementação do controle microbiológico da qualidade da água de consumo. Porém, não estabelecem limites para a concentração na água de consumo, mas salientam que é necessário considerar as diretrizes em contextos próprios (local, regional ou nacional). Esses guias reforçam a abordagem de gerenciamento e avaliação do risco preventiva com vistas a assegurar a qualidade da água, instrui sobre a implantação dos PSA, e, no que diz respeito diretamente a *Cryptosporidium* e *Giardia*, explicita que o método mais prático para a remoção efetiva ou inativação é o uso de filtração com o auxílio de coagulação e floculação (para remoção de



partículas em suspensão), seguida de desinfecção (com um ou uma combinação de desinfetantes) (WHO, 2011).

### **3.4 Estudos de indicadores de ocorrência e remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp.**

A diversidade de patógenos que pode estar presente em águas como resultado da contaminação com fezes humanas ou animais, é muito grande. Assim, o monitoramento de todos os organismos patogênicos é inviável e inefetivo, uma vez que não é possível analisar amostras de água para cada espécie de patógeno, pois não há técnicas e metodologias suficientes e facilmente acessíveis para implementação nas análises de rotina dos laboratórios responsáveis pelo controle da qualidade da água distribuída à população (TORTORA; FUNKE; CASE, 2010). Torna-se, portanto, de extrema importância a seleção de indicadores de ocorrência e de remoção e/ou inativação de micro-organismos patogênicos (LOPES, 2009).

Padrões e critérios de qualidade de água, tradicionalmente, incluem indicadores bacteriológicos para avaliação da qualidade microbiológica da água, sendo que a maioria inclui *Escherichia coli* como um indicador microbiológico obrigatório (BRASIL, 2005; TALLON *et al.*, 2005; AUSTRÁLIA, 2011; CANADÁ, 2010; STEVENS; ASHBOLT; CUNLIFE, 2003). Além da *E. coli*, os *Enterococcus* também têm sido utilizados no monitoramento da poluição fecal em águas destinadas ao consumo humano, sendo as espécies *E. faecium* e *E. faecalis* as de maior importância na indicação auxiliar de poluição fecal. Os enterococos têm sido usados em análises de água bruta como indicador de patógenos fecais que têm sobrevivência maior do que *E. coli* (WHO, 2011).

Segundo Cabelli (1982 *apud* BASTOS *et al.*, 2000), Standridge (2008) e WHO (2011), para ser um bom indicador de contaminação fecal, os indicadores devem possuir as seguintes características: (i) não serem patogênicos; (ii) estarem universalmente presentes nas fezes de humanos e animais em grande número; (iii) não estarem presentes em águas não poluídas e sempre estar presente em águas poluídas; (iv) não se multiplicarem em águas naturais; (v) persistirem na água de forma semelhante aos patógenos fecais; (vi) apresentarem-se em maior número no ambiente do que os patógenos; (vii) responderem a processos de tratamento de forma semelhante aos patógenos fecais; (viii) possuírem métodos de detecção simples e rápidos. Todavia não há um organismo que atenda simultaneamente todas essas condições (BASTOS *et al.*, 2000).

Diversos estudos – como os de Peralta (2005), Dias *et al.* (2008), Lopes (2009), Nascimento (2009) e Nieminski *et al.* (2010) – têm demonstrado que os organismos usualmente empregados como indicadores de qualidade da água não apresentam correlação significativa com a ocorrência de protozoários. Ademais, como os cistos e oocistos de protozoários são bem mais resistentes que as bactérias aos efeitos dos agentes desinfetantes, não sendo inativados com as doses usualmente praticadas no tratamento da água, essas não são boas indicadoras da presença/ausência dos protozoários. Por sua vez, como cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium* são potencial e significativamente removíveis por filtração, grande parte das regulamentações recorrem a indicadores da eficiência da filtração, principalmente a turbidez. Adicionalmente, tem-se recorrido à contagem de partículas, mais especificamente à remoção de partículas em suspensão de dimensões aproximadas às de cistos e oocistos de protozoários (BRASIL, 2006) e à utilização de microesferas fluorescentes em estudos piloto (EMELKO; HUCK; DOUGLAS, 2003; CERQUEIRA, 2008). Entretanto, com relação ao *Cryptosporidium* e à *Giardia*, esses indicadores não têm se mostrado os mais adequados, sendo avaliados outros parâmetros como as bactérias esporogênicas aeróbias (RICE *et al.*, 1996; NIEMINSKI; BELLAMY; MOSS, 2000; EPA, 2006; BROWN; CORNWELL, 2007; MUHAMMAD *et al.*, 2008;).

De acordo com Cerqueira (2008), a crescente utilização de bactérias esporogênicas aeróbias, microesferas, contagem de partículas e turbidez em estudos experimentais, em escala piloto e real, para avaliação da eficiência de técnicas e processos na remoção e/ou inativação de oocistos deve-se ao elevado custo e dificuldades metodológicas de detecção de (oo)cistos. Aliada a isso, em escala real, há uma limitação prática em se demonstrar o grau de eficiência do tratamento, sobretudo quando há baixas concentrações de (oo)cistos nas fontes.

Nessa seção, será enfatizada, principalmente, a utilização do monitoramento de bactérias esporogênicas aeróbias para avaliação de desempenho de estações de tratamento de água no que diz respeito à remoção de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*.

A regulamentação americana – LT2ESWTR – (EPA, 2006) e os guias da OMS (WHO, 2011) recomendam a demonstração, em escala real, da eficiência dos processos e tecnologias de tratamento na remoção de bactérias esporogênicas aeróbias, como parâmetros indicadores da remoção de oocistos.

Bactérias esporogênicas aeróbias são, em sua grande maioria, não patogênicas, saprofíticas (nutrem-se por absorção de matéria orgânica dissolvida após decomposição) e comumente

encontradas no solo e em águas, e, portanto, estão frequentemente presentes em fontes de água (BARBEAU *et al.*, 1999; EATON *et al.*, 2005; CARTIER *et al.*, 2009). Além disso, são fáceis de mensurar e são mais resistentes ao cloro que as bactérias usualmente utilizadas como indicadoras da qualidade da água (CRAIK *et al.*, 2002; CARTIER *et al.*, 2009).

Em geral, as bactérias esporogênicas encontradas em águas naturais são quase que exclusivamente pertencentes ao gênero *Bacillus*, sendo a principal espécie *Bacillus subtilis* (BARBEAU *et al.*, 1999; EATON *et al.*, 2005).

Segundo Eaton *et al.* (2005), a presença de bactérias esporogênicas aeróbias pode ser usada para avaliar uma variedade de processos e operações de tratamento de água, incluindo os de remoção física (como clarificação) e de desinfecção. Além disso, o estudo dessas bactérias pode determinar a integridade física dos sistemas de distribuição de água potável quando, por exemplo, forem comprometidos por rompimento de rede ou procedimentos de manutenção (CARTIER *et al.*, 2009).

De acordo com estudos de Facile *et al.* (2000) e Craik *et al.* (2002), esporos da bactéria *Bacillus subtilis* são possíveis modelos para avaliação de inativação de *Cryptosporidium parvum* por ozônio em processos de tratamento de água.

Brown e Cornwell (2007) demonstraram que o monitoramento de bactérias esporogênicas aeróbias pode ser utilizado como método de avaliação da capacidade de estações de tratamento em remover *Cryptosporidium* sob uma variedade de condições ambientais e por todo o ano, mesmo quando oocistos não estão presentes na água bruta. Esses pesquisadores assim o fizeram porque constataram que diversos estudos demonstraram que oocistos de *Cryptosporidium* são mais eficientemente removidos que as bactérias esporogênicas aeróbias durante o tratamento de água envolvendo clarificação e filtração. Nesse sentido, eles perceberam que o monitoramento de bactérias esporogênicas aeróbias provê uma estimativa conservadora do potencial de remoção de *Cryptosporidium*, que, por sua vez, pode ser usado para estabelecer o crédito de demonstração de desempenho (do inglês *demonstration of performance* – DOP) indicado pela norma norte-americana (LT2ESWTR).

## 4 JUSTIFICATIVA

Embora os avanços nas pesquisas sejam significativos, ainda há surtos associados ao *Cryptosporidium* e à *Giardia* em todo o mundo, o que justifica a importância de mais estudos que caminhem na busca de soluções em saneamento e saúde pública. Diante disso, e tendo em vista que os métodos normalmente utilizados para a detecção desses protozoários são onerosos e demorados, faz-se necessário o estudo da utilização de organismos ou variáveis físicas que possam servir de indicadores da ocorrência e remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. Dessa forma, a presente pesquisa fundamenta-se na tentativa de subsidiar os prestadores de serviços de saneamento e autoridades sanitárias a realizarem o acompanhamento da eficiência das estações de tratamento de água a respeito da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. e avaliarem se a água distribuída à população enquadra-se no risco aceitável de infecção por esses micro-organismos.

Nesse contexto, o presente trabalho investigou a utilização de turbidez e bactérias esporogênicas aeróbias como indicadores da eficiência de remoção de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em dois sistemas de abastecimento de água de Minas Gerais. Além disso, realizou a avaliação de risco à saúde no que concerne ao consumo de água contaminada pelos dois protozoários de ambos os sistemas.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 *Sistemas de abastecimento de água selecionados*

Para realizar essa pesquisa, foram selecionados dois sistemas de abastecimento de água (SAAs) utilizados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) para abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Um deles foi o Sistema Rio das Velhas (SRV), cuja captação é realizada no rio das Velhas (manancial lótico) e cuja Estação de Tratamento de Água (ETA) opera com a tecnologia de tratamento de ciclo completo com decantadores. E o outro foi o Sistema Vargem das Flores (SVF), cuja captação é realizada na represa de Vargem das Flores (manancial lântico) e cuja ETA opera com a tecnologia de tratamento de ciclo completo com flotores.

Optou-se pelo estudo desses dois sistemas para comparação de eficiências de remoção, uma vez que são importantes sistemas de abastecimento da RMBH e por se diferenciarem pelo tipo de manancial de captação e tipo de unidade de separação flocos-líquido.

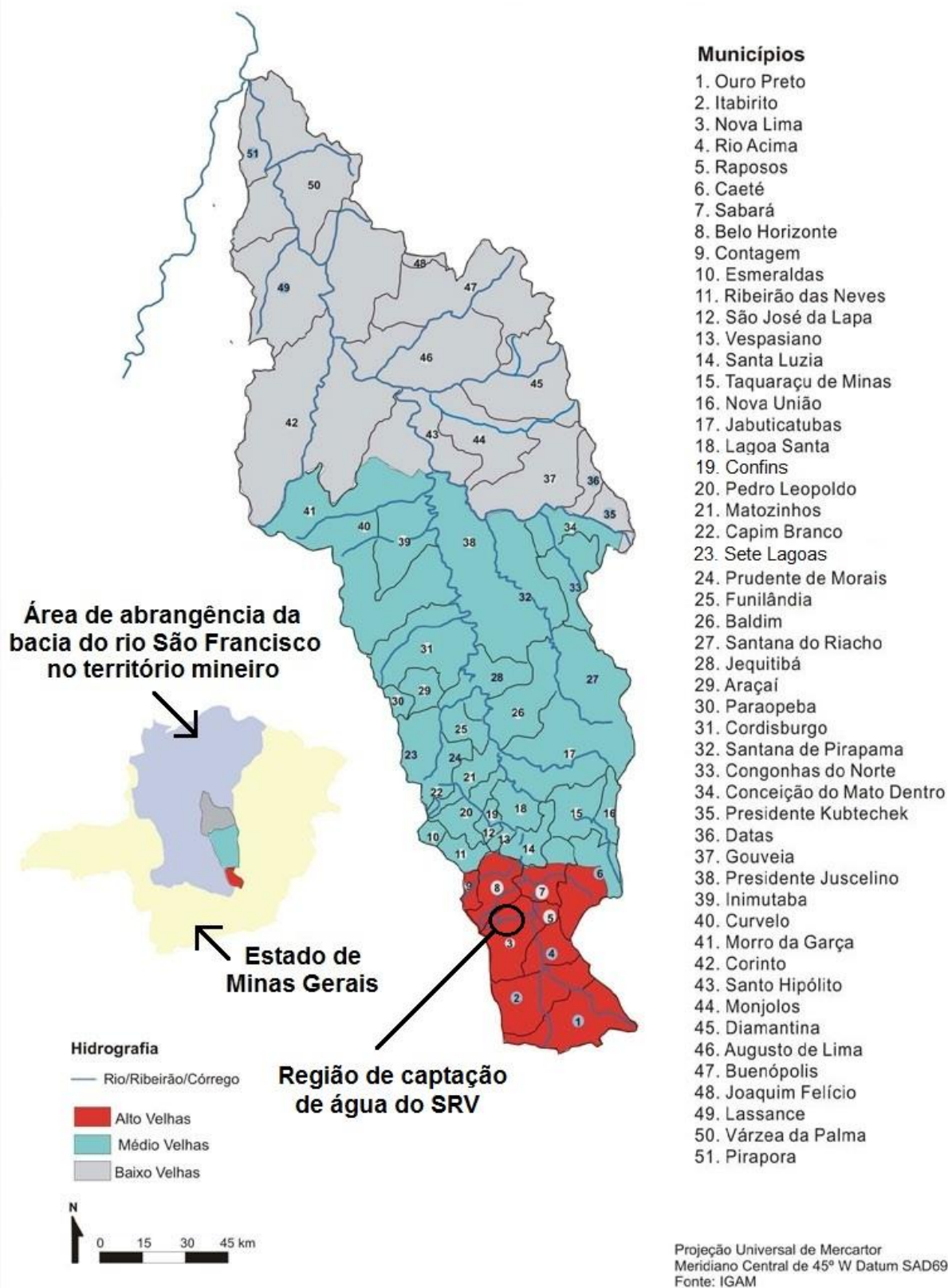
#### 5.1.1 Sistema Rio das Velhas

##### 5.1.1.1 O manancial

O rio das Velhas, maior afluente em extensão da bacia do rio São Francisco, com 801 km, nasce no município de Ouro Preto, Minas Gerais, na cachoeira das Andorinhas, e deságua no rio São Francisco no distrito de Barra do Guaicuí, município de Várzea da Palma, Minas Gerais, com uma vazão média de  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . A bacia do rio das Velhas, com uma área de  $27.857 \text{ km}^2$ , abrange 51 municípios mineiros, abrigando uma população de aproximadamente 4,8 milhões de habitantes. A bacia é subdividida em alto, médio e baixo rio das Velhas (IGAM, 2010; CBH RIO DAS VELHAS, s. d.).

Na Figura 5.1, é apresentado o mapa da bacia do rio das Velhas, com sua localização no estado de Minas Gerais, suas subdivisões e as cidades que se inserem em sua abrangência.

# BACIA DO RIO DAS VELHAS



**Figura 5.1** – Localização, abrangência e subdivisões da bacia do rio das Velhas.

Fonte: Adaptado de CBH Rio das Velhas (s. d.).

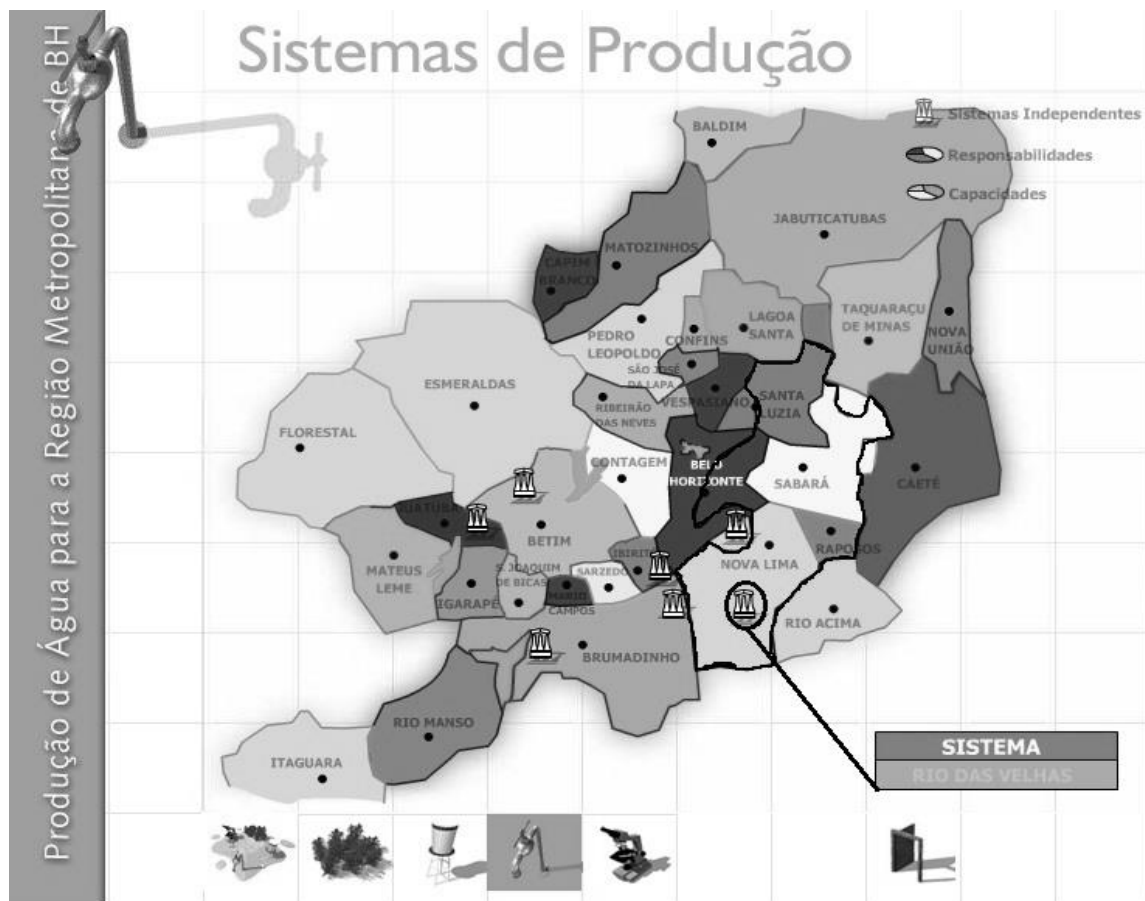
Segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica (CBH) do rio das Velhas (CBH Rio das Velhas, s. d.), a RMBH, localizada no Alto rio das Velhas, ocupa apenas 10% da área territorial da bacia, mas possui mais de 70% de toda a sua população. Além disso, essa região concentra atividades industriais e tem processo de urbanização avançado, sendo por isso a área que mais contribui para a degradação desse curso d'água, já que grande parte das indústrias não tem tratamento adequado para seus efluentes e resíduos sólidos gerados, além de grande parte do esgoto doméstico gerado na região não ser coletado e submetido a tratamento adequado antes de ser lançado ao rio (IGAM, 2010; CBH RIO DAS VELHAS, s. d.).

Além da atividade industrial, também se destacam, na bacia hidrográfica do rio das Velhas, as atividades extrativa mineral, principalmente no alto curso, agropecuária, mais expressiva no médio e baixo rio das Velhas, e a silvicultura; todas contribuindo também para os processos de erosão e conseqüente degradação da qualidade das águas desse rio (IGAM, 2010).

De acordo com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2010), o rio das Velhas apresenta regime de tipo pluvial, como a quase totalidade dos rios brasileiros, sendo que no período de chuvas (outubro a março) verificam-se grandes elevações no nível das águas. Ainda segundo o IGAM (2010), a bacia do rio das Velhas apresenta como tipos de uso dos recursos hídricos o abastecimento público, industrial, irrigação e usos diversos, sendo tais usos relacionados às atividades econômicas dominantes na bacia.

#### 5.1.1.2 O sistema de produção

O Sistema Rio das Velhas, localizado no Distrito de Bela Fama, em Nova Lima, Minas Gerais, distante 30 km de Belo Horizonte, é o maior e o mais estratégico sistema produtor de água da RMBH. Em operação desde 1969, o SRV é responsável pelo fornecimento de água tratada para aproximadamente 43% da população da RMBH, com uma produção média de  $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , que abastecem parte de Belo Horizonte, Nova Lima, Raposos, Sabará e Santa Luzia (Figura 5.2) (COPASA, s. d.).



**Figura 5.2** – Abrangência de abastecimento do Sistema Rio das Velhas (mostrada pela área delimitada de preto).

**Fonte:** Adaptado de COPASA (s.d.)

Na Figura 5.3, pode ser observada uma vista geral do SRV, com suas unidades, e nas Tabela 5.1 e Tabela 5.2 são apresentados os dados técnicos e operacionais, respectivamente, desse sistema.





**Figura 5.3** – Vista geral do Sistema de Tratamento de Água do Rio das Velhas: (a) captação; (b<sub>1</sub>) alça de sedimentação esquerda; (b<sub>2</sub>) alça de sedimentação direita; (c) elevatória de água bruta; (d) adutora de água bruta; (e) estação de tratamento de água.

**Fonte:** Adaptado de Google Earth (2012).

**Tabela 5.1** – Informações técnicas sobre o Sistema Rio das Velhas.

Unidade	Características
Captação	<p><b>Tipo:</b> superficial – barragem de nível, com duas alças de sedimentação</p> <p><b>Capacidade instalada:</b> 10 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup></p> <p><b>Potência instalada:</b> 5.215 cv</p> <p><b>Conjuntos (vazão/potência):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 conjuntos de 0,750 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 350 cv</li> <li>• 3 conjuntos de 0,750 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 450 cv</li> <li>• 4 conjuntos de 1,500 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 760 cv</li> <li>• 1 conjunto de 0,250 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 125 cv</li> </ul>
Elevatória de Água Bruta (EAB)	<p><b>Vazão média:</b> 6,0 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup></p> <p><b>Altura manométrica:</b> 28 m</p> <p><b>Subestação elétrica (SE):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de transformadores: 9</li> <li>• Potência total: 5,45 MVA</li> <li>• Alimentação: 13,8 kV</li> </ul>
Adutoras de Água Bruta (AAB)	<p><b>Tipo:</b> recalque</p> <p><b>Extensão:</b> duas linhas com 527 m</p> <p><b>Material:</b> aço</p> <p><b>Diâmetro:</b> 1.800 mm</p>
Estação de Tratamento de Água (ETA)	<p><b>Tipo:</b> convencional completa</p> <p><b>Processos:</b> oxidação, coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e estabilização</p> <p><b>Produção:</b> 6,0 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup></p>

**Tabela 5.1 – Informações técnicas sobre o Sistema Rio das Velhas. (Continuação...)**

Unidade	Características
Adutoras de Água Tratada (AAT)	<b>1º trecho – ETA/EAT</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> gravidade</li> <li>• <b>Extensão:</b> 3.331 m</li> <li>• <b>Material:</b> concreto</li> <li>• <b>Diâmetro:</b> 2.400 mm</li> </ul>
	<b>2º trecho – EAT/Câmara de transição</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> recalque</li> <li>• <b>Extensão:</b> 3 linhas com 735 m</li> <li>• <b>Material:</b> aço</li> <li>• <b>Diâmetro:</b> linhas 1 e 2 – 1.220 mm, linha 3 – 1.520 mm</li> </ul>
	<b>3º trecho – Câmara de transição/Reservatório São Lucas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> gravidade</li> <li>• <b>Extensão:</b> 13.541 m</li> <li>• <b>Material:</b> concreto</li> <li>• <b>Diâmetro:</b> 2.400 mm</li> </ul>
Elevatória de Água Tratada (EAT)	<b>Capacidade instalada:</b> 6,75 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> <b>Potência instalada:</b> 23.400 cv <b>Conjuntos (vazão/potência):</b> 9 conjuntos de 0,75 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> e 2.600 cv <b>Vazão média:</b> 6,0 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> <b>Altura manométrica:</b> 193,50 m
Subestação elétrica (SE) (alimenta a EAB, ETA e EAT)	<b>Número de transformadores:</b> 3 <b>Potência total:</b> 37,5 MVA <b>Alimentação:</b> 138 kV

Fonte: COPASA (s.d.).

**Tabela 5.2 – Informações operacionais da estação de tratamento de água do rio das Velhas.**

Unidade	Características
Mistura rápida <sup>1</sup>	<b>Tipo:</b> Calha Parshall <b>Coagulante:</b> Sulfato ferroso (FeSO <sub>4</sub> ) <b>Corretor de pH:</b> Cal hidratada (Ca(OH) <sub>2</sub> ) <b>Tanques de mistura rápida:</b> 2 – dimensões 4,5 x 4,5 x 5,12 m
Floculador	<b>Tipo:</b> floculadores mecanizados com 4 câmaras em cada ( 4,90 x 4,50 x 3,90 m) <b>Quantidade:</b> 24 linhas de floculação <b>Tempo de floculação:</b> 23 minutos <b>Gradiente de velocidade de floculação:</b> ajustáveis – 58, 43, 35 e 24 s <sup>-1</sup>
Decantador	<b>Tipo:</b> decantador convencional com escoamento horizontal <b>Quantidade:</b> 6 <b>Taxa de aplicação superficial (TAS):</b> 48,9 m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>
Filtro	<b>Tipo:</b> rápido descendente, leito simples (areia) <b>Quantidade:</b> 24 <b>Taxa de filtração:</b> 308 m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>
Tanque de contato <sup>2</sup>	<b>Tipo:</b> canal <b>Quantidade:</b> 1 <b>Desinfetante:</b> Cloro gasoso <b>Dosagem do desinfetante:</b> 0,8 a 1,2 mg.L <sup>-1</sup> <b>Tempo de contato do desinfetante:</b> não informado <b>Desinfetante residual (valor médio):</b> 1,3 ppm

<sup>1</sup> Antes de ser conduzida à calha Parshall, a água bruta é pré-oxidada utilizando-se cloro gasoso (Cl<sub>2</sub>) com o objetivo primordial de oxidar metais, em especial ferro (Fe<sup>+2</sup>) e manganês (Mn<sup>+2</sup>). A dosagem de cloro aplicada varia de 2,4 a 3,2 mg.L<sup>-1</sup>, dependendo da qualidade da água bruta.

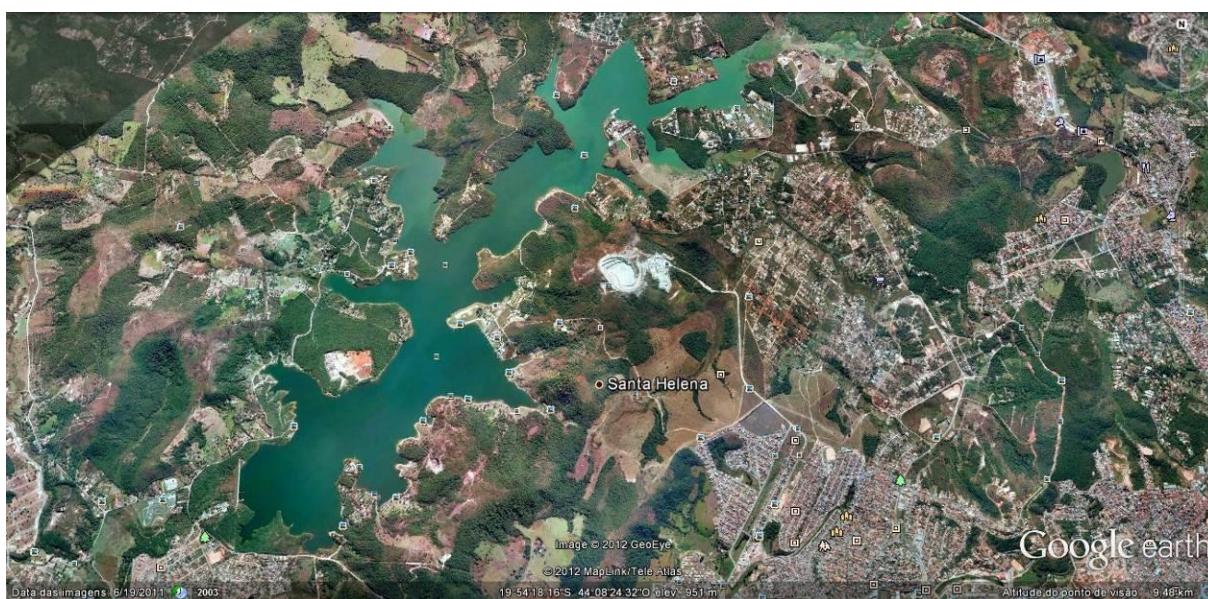
<sup>2</sup> Não há um tanque de contato convencional, o canal de água tratada (dimensões: 1,30 m x 3,90 m x 2,40 m) e a própria adutora funcionam como tanque de contato

Fonte: Informação pessoal (disponibilizada por Neider Baptista).

## 5.1.2 Sistema Vargem das Flores

### 5.1.2.1 O manancial

A represa de Vargem das Flores (Figura 5.4), inaugurada em 1972, localiza-se na parte sudoeste da RMBH. A água acumulada recebe contribuição dos córregos Água Suja, Morro Redondo, Bela Vista e Batatal e do ribeirão Betim, sendo que, com exceção do córrego Batatal, todos os outros recebem contribuição de esgotos. Atualmente, a represa possui espelho d'água de 5,25 km<sup>2</sup>, volume de 4,4x10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>, profundidades máxima e média de 25 m e 6,0 m, respectivamente, perímetro de 54,0 km, comprimento máximo de 7,2 km, largura máxima de 1,5 km e encontra-se na altitude de 856 m (SOUZA, 2003).



**Figura 5.4** – Visualização aérea da represa de Vargem das Flores.

**Fonte:** Google Earth (2012).

A represa de Vargem das Flores é contribuinte da sub-bacia do Paraopeba que, por sua vez, pertence à Bacia Federal do Rio São Francisco. Além disso, é um importante reservatório de abastecimento de água para os municípios de Contagem (que abriga 87% da área de ocupação da represa), Betim (em cujo território estão os 13% restantes da área de ocupação da represa) e Belo Horizonte (GOMES, 2008; LOPES, 2009).

O local, pela sua beleza natural, é utilizado pela população do entorno como área de lazer para pesca, banhos e esportes náuticos. Ao mesmo tempo, pessoas de classe média a alta têm construído residências em torno da represa, provocando o parcelamento de áreas (antigamente

constituídas por grandes fazendas), e, conseqüentemente, a execução de obras que provocam desmatamento, movimento de terra e alterações das condições de permeabilidade do solo. Estabeleceram-se, então, conflitos em relação ao uso da água, sendo eles: o abastecimento para consumo humano *versus* uso balneário como lazer. Dessa forma, devido aos usos múltiplos da represa (como abastecimento público e área de recreação da população do entorno para pesca, banhos e esportes náuticos), a bacia hidrográfica sofre pressões constantes de degradação, o que caracteriza o ambiente como estressado e perturbado (SOUZA, 2003; LOPES, 2009).

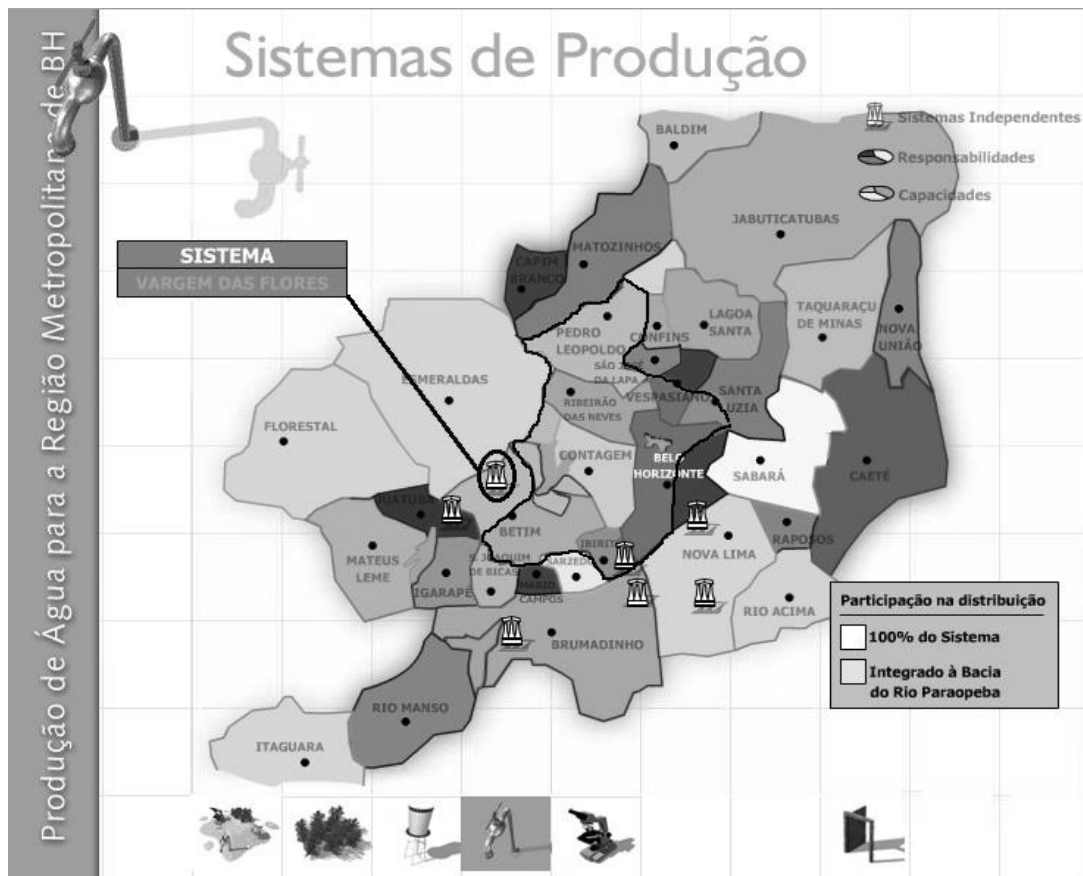
O tempo de detenção hidráulica da represa de Vargem das Flores é de onze meses nos períodos de seca e três meses nos períodos de chuva (SOUZA, 2003). Dessa forma, a represa de Vargem das Flores possui uma variação do nível d'água bastante expressiva, influenciando diretamente nas características limnológicas da represa (SOUZA, 2003; LOPES, 2009).

O clima da região da represa é tropical/mesotérmico semiúmido, apresentando sazonalidade regularizada e bem definida. A radiação solar na área da bacia é forte e intensa, com média anual de 2.600 horas/ano. Durante o período chuvoso (e quente), que ocorre entre os meses de outubro a março, as temperaturas variam, em média, de 17 °C a 28 °C; já no período seco (e frio), durante os meses de abril a setembro, as menores temperaturas, que variam de 11 °C a 24 °C, são registradas nos meses de junho e julho. A precipitação média anual em Vargem das Flores é de 1.500 mm, com umidade relativa do ar atingindo valores entre 65%, em agosto e setembro, e 80%, em dezembro (SOUZA, 2003).

#### 5.1.2.2 O sistema de produção

A estação de tratamento do Sistema Vargem das Flores foi inaugurada em 1978, tendo sido substituída a filtração direta descendente por tratamento de ciclo completo com flotação em 2009, devido à alta ocorrência de florações de cianobactérias. O SVF é responsável pelo abastecimento de cerca de 400 mil pessoas da RMBH (Figura 5.5), tratando uma vazão média de  $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Juntamente com os Sistemas Serra Azul e Rio Manso, o SVF compõe o Sistema Integrado da Bacia do Rio Paraopeba (COPASA, s. d.).





**Figura 5.5** – Abrangência de abastecimento do Sistema Vargem das Flores (mostrada pela área delimitada de preto).

Fonte: Adaptado de COPASA (s.d.)

Na Figura 5.6, é mostrada uma vista geral do SVF e nas Tabela 5.3 e Tabela 5.4 são apresentados os dados técnicos e operacionais, respectivamente, desse sistema.



**Figura 5.6** – Sistema Vargem das Flores: (A) vista geral, com posicionamento da Represa e da ETA Vargem das Flores; (B) detalhe da ETA Vargem das Flores: (b.1) captação, (b.2) floculadores, (b.3) flutuadores, (b.4) filtros.

Fonte: (A) Adaptado de Google Earth (2012); (B) Adaptado de arquivo de Nilson Ferreira.

**Tabela 5.3 – Informações técnicas sobre o Sistema Vargem das Flores.**

<b>Unidade</b>	<b>Características</b>
Captação	<b>Tipo:</b> superficial – barragem de acumulação
	<b>Lago</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Espelho d'água:</b> 5,5 km<sup>2</sup></li> <li>• <b>Volume:</b> 44 milhões de m<sup>3</sup></li> <li>• <b>Profundidade média:</b> 6 m</li> <li>• <b>Profundidade máxima:</b> 18 m</li> </ul>
	<b>Maciço da barragem</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> terra</li> <li>• <b>Altura máxima:</b> 25,5 m</li> <li>• <b>Comprimento:</b> 380 m</li> <li>• <b>Sistema de monitoramento:</b> medidores de vazão e nível d'água</li> </ul>
	<b>Vertedouro</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> não controlado</li> <li>• <b>Capacidade máxima de extravasamento:</b> 285 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup></li> <li>• <b>Altura:</b> 3,9 m</li> <li>• <b>Largura:</b> 10,5 m</li> <li>• <b>Descarga profunda:</b> tipo – comporta; vazão residual – 0,059 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup></li> </ul>
	<b>Torre de tomada</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Número de comportas:</b> 3</li> <li>• <b>Altura:</b> 22,0 m</li> </ul>
	Adutoras de Água Bruta (AAB – Trecho torre/ETA)
Estação de Tratamento de Água (ETA)	<b>Tipo:</b> convencional completa <b>Processos:</b> oxidação, coagulação, floculação, flotação, filtração, desinfecção, fluoretação e estabilização <b>Produção:</b> 1,08 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>
Adutora de Água Tratada (AAT)	<b>Tipo:</b> recalque/gravidade <b>Extensão:</b> 8.712 m <b>Material:</b> aço <b>Diâmetro:</b> 1.000 mm
Elevatória de Água Tratada-2 (EAT-2)	<b>Capacidade instalada:</b> 1,5 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> <b>Potência instalada:</b> 7.400 cv <b>Conjuntos (vazão/potência):</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 conjuntos de 0,800 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 2.500 cv</li> <li>• 2 conjuntos de 0,389 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 1.200 cv</li> </ul> <b>Vazão média:</b> 1,05 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> <b>Altura manométrica:</b> 196 m
Subestação elétrica (SE) (alimenta a ETA e EAT-2)	<b>Número de transformadores:</b> 4 <b>Potência total:</b> 8,0 MVA <b>Alimentação:</b> 69,0 kV

**Fonte:** COPASA (s.d.) e informação pessoal (disponibilizada por Nilson Ferreira).

**Tabela 5.4 – Informações operacionais da estação de tratamento de água de Vargem das Flores.**

<b>Unidade</b>	<b>Características</b>
Mistura rápida <sup>1</sup>	<b>Tipo:</b> Misturador mecânico tipo turbina axial <b>Coagulante:</b> sulfato de alumínio líquido (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ) <b>Corretor de pH:</b> cal hidratada (não aplicada temporariamente)
Floculador	<b>Tipo:</b> mecânico de turbina fluxo axial <b>Quantidade:</b> 4 <b>Tempo de floculação:</b> 22 minutos <b>Gradiente de velocidade de floculação:</b> único – aproximadamente 80 s <sup>-1</sup>
Flotador	<b>Tipo:</b> Flotação por ar dissolvido <b>Quantidade:</b> 4 câmaras <b>Taxa de aplicação superficial (TAS):</b> 213 a 286 m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>
Filtro	<b>Tipo:</b> rápido por gravidade, descendente, taxa declinante, leito simples de areia, lavado por ar e água de reservatório <b>Quantidade:</b> 8 <b>Taxa de filtração:</b> 199,0 m <sup>3</sup> .m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup>
Tanque de contato	<b>Tipo:</b> concreto, apoiado, capacidade 2.000 m <sup>3</sup> <b>Quantidade:</b> 1 <b>Desinfetante:</b> cloro gasoso <b>Tempo de contato do desinfetante:</b> 23 a 30 minutos <b>Desinfetante residual (valor médio):</b> 1,7 mg.L <sup>-1</sup>

<sup>1</sup> A água bruta é pré-oxidada, antes de ser submetida à mistura rápida, com dosagem de cloro de 4,5 a 8,0 mg.L<sup>-1</sup>.  
**Fonte:** Informação pessoal (disponibilizada por Nilson Ferreira).

## **5.2 Variáveis avaliadas, locais e frequência de coletas**

Durante os meses de janeiro e fevereiro de 2011, foram avaliadas, semanalmente, as águas bruta (entrada da ETA) e tratada (saída da ETA) dos sistemas de abastecimento selecionados, para monitoramento de turbidez, identificação e quantificação de oocistos de *Cryptosporidium* spp., cistos de *Giardia* spp. e bactérias esporogênicas aeróbias, além de contagem de *Escherichia coli* (somente na água bruta). A partir de março, até o mês de outubro do mesmo ano, as coletas para avaliação de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. passaram a ser quinzenais, devido ao alto custo das análises; enquanto para as outras variáveis continuaram a ser semanais. Foram obtidas, no total, 24 amostras de cada tipo de água e sistema para avaliação dos protozoários e 40 amostras de cada tipo de água e sistema para avaliação de turbidez, bactérias esporogênicas aeróbias e *E. coli*.

No SRV a água bruta foi amostrada na calha *Parshall* da ETA Rio das Velhas, enquanto a água tratada foi coletada na torneira de amostragem do canal de água tratada<sup>2</sup> da estação. Já no SVF, tanto a água bruta quanto a água tratada<sup>2</sup> foram coletadas nas respectivas torneiras de amostragem situadas no laboratório de análises físico-químicas da ETA Vargem das Flores.

<sup>2</sup> As águas tratadas de ambos os sistemas apresentavam características semelhantes às águas filtradas, pois nos locais de amostragem não havia tempo de contato suficiente com o desinfetante para haver influência do mesmo sobre os micro-organismos analisados. Ressalta-se que a escolha de amostragem da água tratada procedeu-se pela maior facilidade em relação à coleta de água filtrada.

Atente-se para o fato de que se procurou respeitar o tempo de detenção dos sistemas de abastecimento de água monitorados para realizar a coleta das águas bruta e tratada, a fim de ter uma avaliação mais próxima da real de análise de entrada e saída dos sistemas. Dessa forma, para o SRV a água bruta foi coletada em torno de duas horas antes da água tratada, enquanto para o SVF esse intervalo foi de uma hora e meia.

### **5.3 Métodos analíticos**

Para a análise de protozoários foi utilizado o Método 1623 (EPA, 2005), pois, em comparação com outros métodos, como floculação por carbonato de cálcio (VESEY *et al.*, 1993) e filtração em membrana (ALDOM; CHAGLA, 1995), por exemplo, é o mais confiável, com porcentagens de recuperação menos variáveis e com menor ocorrência de falsos positivo e negativo, como discutido por Martins *et al.* (2009). Além disso, é o método recomendado e utilizado por vários países, como Estados Unidos (EPA, 2006) e Nova Zelândia (NOVA ZELÂNDIA, 2008). Foram coletados 10 L de água bruta e em torno de 300 L de água tratada para análise de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. O valor de 300 L de água tratada foi obtido por meio de um cálculo simples, considerando a concentração média de oocistos indicada pela Portaria nº. 2.914/2011 (BRASIL, 2011) acima da qual é necessário reduzir a turbidez da água filtrada para 0,3 uT (3,0 oocistos/L), além da eficiência de remoção atribuída ao tratamento de ciclo completo pela LT2ESWTR (EPA, 2006) – 3,0 log. Logo, a remoção de 3,0 log da concentração média de 3,0 oocistos de *Cryptosporidium*/L resultaria, na água filtrada, a concentração de 0,003 oocisto/L. Assim, para se detectar pelo menos 1 organismo, seria necessário analisar em torno de 333 L de água. Portanto, foi considerado o valor de 300 L como volume para coleta da água tratada.

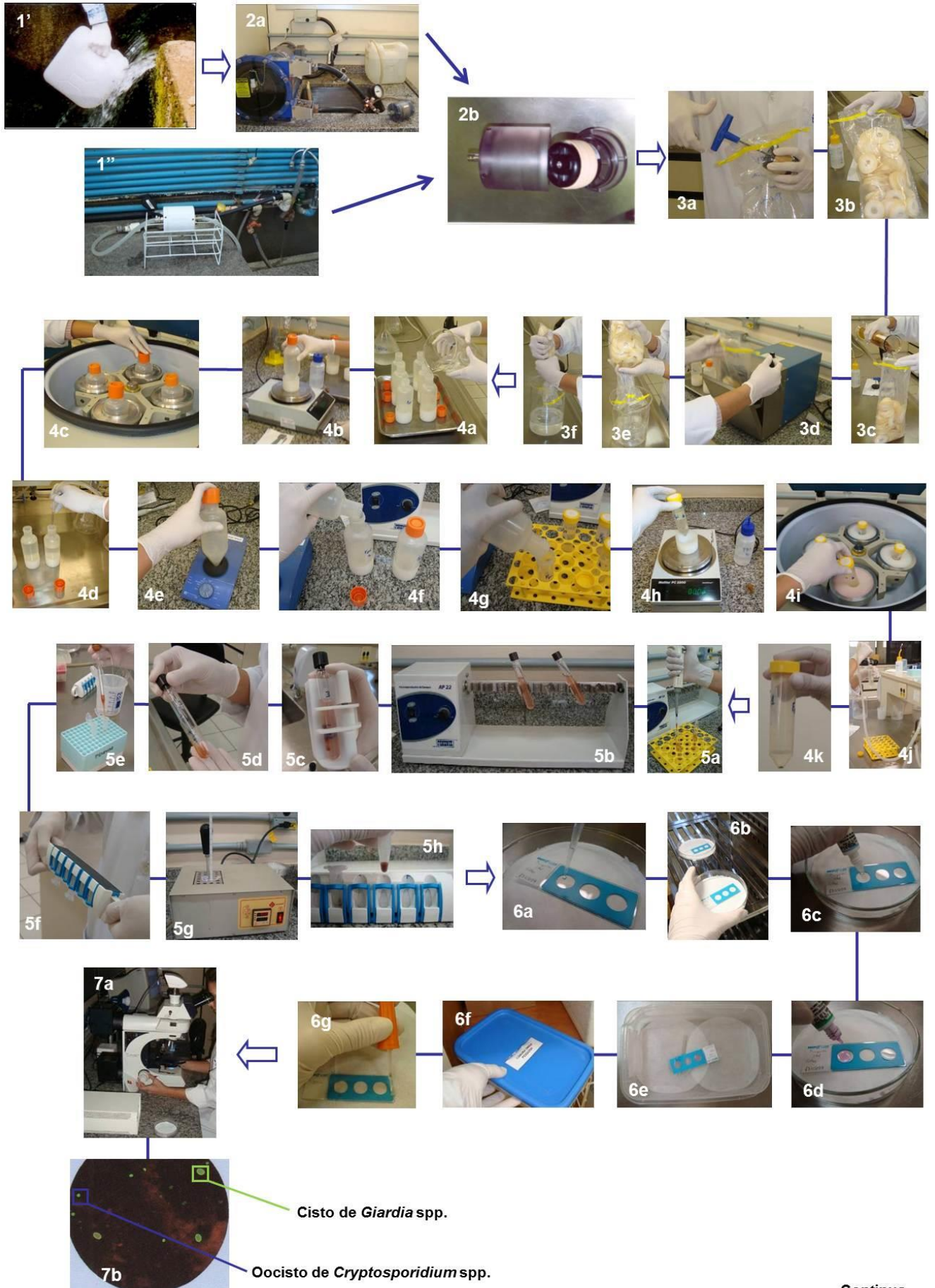
As determinações de bactérias esporogênicas aeróbias, turbidez e *E. coli* foram realizadas segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON *et al.*, 2005 – seções 9218-B, 2130-B e 9223-B, respectivamente), por meio da coleta de 250 mL de água bruta e 500 mL de água tratada para a primeira variável (expressando os resultados em UFC/L)<sup>3</sup>, 100 mL de água bruta e tratada para a segunda variável (expressando os resultados em uT)<sup>3</sup> e 100 mL de água bruta para a terceira variável (expressando os resultados em NMP/100 mL)<sup>3</sup>.

Por serem menos conhecidos, os métodos de análise para protozoários e bactérias esporogênicas aeróbias estão esquematizados através das Figura 5.7 e Figura 5.8.

---

<sup>3</sup> NMP = Número mais provável ; UFC = Unidades formadoras de colônias; uT = Unidades de turbidez.



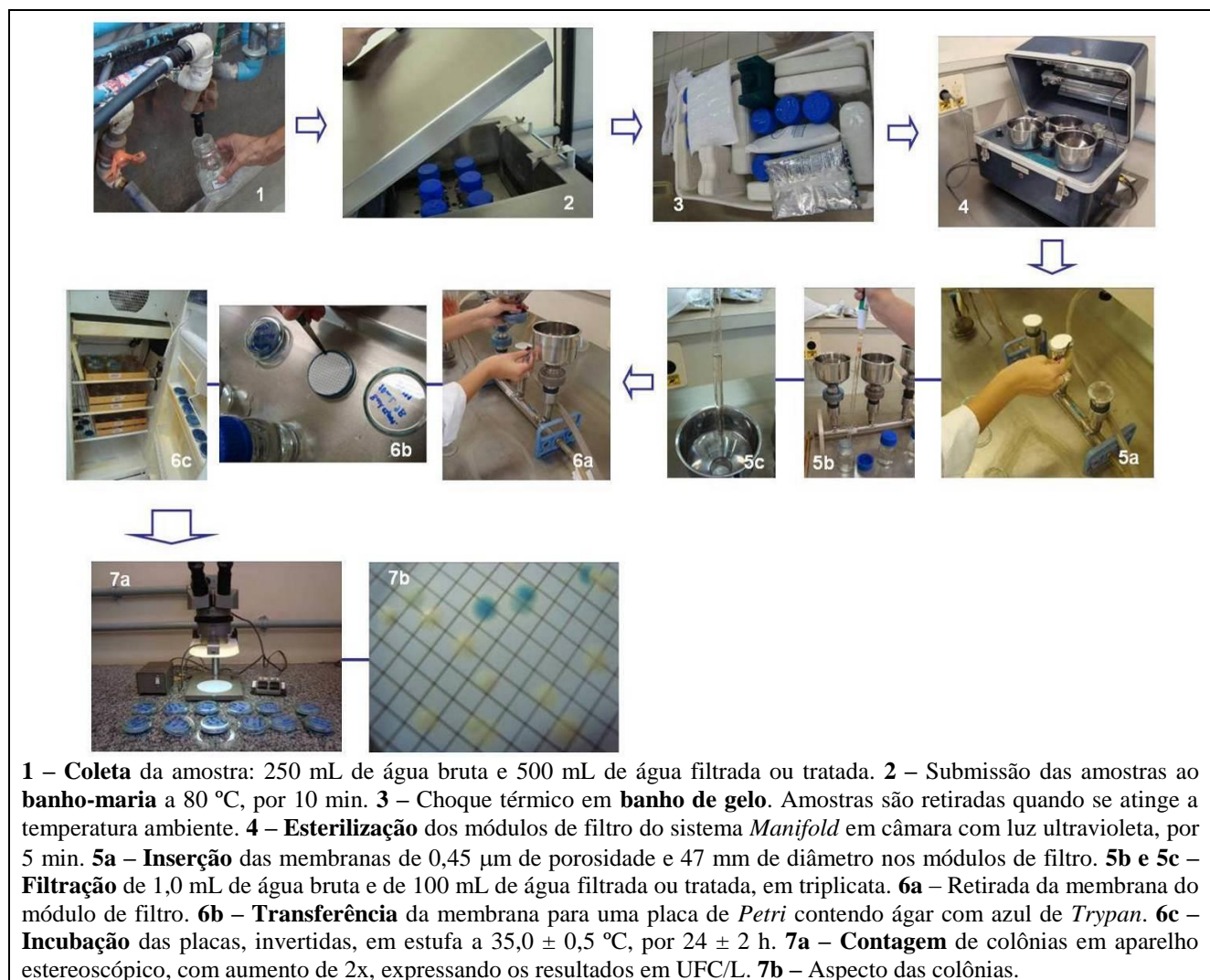


Continua...

**1'** – Coleta da água bruta: 10 L em galão de polietileno previamente homogeneizado com solução tampão fosfato com *Tween* (PBST) 1,0%. **1''** – Coleta e filtração da água filtrada ou tratada: em torno de 300 L de água; filtração em módulo de filtro em espuma (Filta-Max®) em *filter housing* acoplado diretamente à torneira de amostragem de água filtrada ou tratada da ETA. **2a** – Filtração da água bruta em módulo de filtro em espuma (Filta-Max®) por bomba peristáltica a 4,0 L/min. **2b** – Retenção do material particulado nos discos de espuma. **3a** – Retirada das tampas de contenção do módulo de espuma com auxílio de uma chave *Allen* 4,0 mm. **3b** – Expansão dos discos de espuma. **3c e 3d** – Eluição das amostras para promover o desprendimento do material retido. Adição de 600 mL de solução PBST 1,0% (por 2 vezes) e processamento em *Stomacher* durante 5 min (cada vez). **3e e 3f** – Transferência do líquido eluído para um béquer de 2,0 L, espremendo o máximo as espumas na bolsa plástica. **4a** – Transferência da amostra eluída para os tubos *Falcon* de centrífuga de 250 mL. **4b** – Balanceamento dos tubos de centrífuga de 250 mL. **4c** – Concentração das amostras: 15 min de centrifugação, a 1500 g. **4d** – Aspiração do sobrenadante, até a marca dos 10 mL, de todos os tubos de 250 mL. **4e e 4f** – Agitação em vórtex e transferência dos 10 mL de todos os tubos para apenas um tubo de 250 mL; submetendo novamente à centrifugação (15 min; 1500 g). **4g** – Transferência do conteúdo do tubo de 250 mL, após aspiração até 10 mL, para o tubo de 50 mL. **4h** – Balanceamento dos tubos de centrífuga de 50 mL. **4i** – Centrifugação: 15 min, a 1500 g. **4j e 4k** – Aspiração do sobrenadante até a marca de 5,0 mL e obtenção do *pellet* final (até 0,5 mL). **5a** – Separação imunomagnética. Ressuspensão do *pellet* com uso do vórtex, transferência da amostra para o tubo de lado chato (*Leighton*) e posterior adição dos reagentes do Sistema *Dynal/Biobeads*. **5b** – Rotação em homogeneizador a 18 rpm, durante 1 hora, para promoção da reação de ligação (os anticorpos presentes no kit *Biobeads* vão reagir com os antígenos contidos na amostra – oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp.). **5c** – Tubo *Leighton* é colocado no MPC-1<sup>4</sup> e com a rotação manual de 90°, durante 2 min, é promovido o arraste do conjugado – *Biobeads*-(oo)cistos – para a parede do tubo. Após isso, o sobrenadante é descartado. **5d** – O tubo de lado chato é lavado com 1,0 mL de solução tampão-A 1x e 0,5 mL de água destilada. **5e** – O lavado é transferido para um tubo *Eppendorf*. **5f** – O tubo *Eppendorf* é colocado no MPC-S e agitado a 180°, por 1 min. O sobrenadante é descartado e são adicionados 100 µL de água destilada no tubo *Eppendorf*. **5g** – Etapa de dissociação térmica: O tubo *Eppendorf* é submetido ao banho seco, a 80 °C, durante 10 min. Nessa etapa, o conjugado – *Biobeads*-(oo)cistos – se desprende. **5h** – O tubo *Eppendorf* é novamente colocado no MPC-S. Dessa vez somente os *Biobeads* serão arrastados, deixando, assim, os (oo)cistos livres na amostra. **6a** – A amostra com os (oo)cistos é transferida para um dos poços da lâmina. **6b** – A lâmina é levada à secagem em estufa, por aproximadamente 1 hora, à temperatura de 35 a 37 °C. **6c e 6d** – Imunofluorescência. Os reagentes do kit *Merifluor* são acrescentados ao poço da lâmina contendo a amostra. **6e e 6f** – A lâmina é levada à câmara úmida, por 30 min, em local escuro. **6g** – O excesso de reagentes e solução tampão fosfato sem *Tween* (PBS) 1,0% é sugado e a lâmina é selada com lamínula e esmalte. **7a** – A lâmina é levada ao microscópio óptico com epifluorescência para quantificação, expressando os resultados em (oo)cistos/L. **7b** – Visualização dos (oo)cistos em aumento de 400 x.

**Figura 5.7** – Resumo da análise para identificação e quantificação de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em águas bruta e tratada.

<sup>4</sup> MPC = *Magnetic Particle Concentrator* (Concentrador magnético de partículas).



**Figura 5.8** – Resumo da análise para quantificação de bactérias esporogênicas aeróbias.

Uma vez que o presente projeto de pesquisa foi realizado em parceria com a COPASA, as amostras foram analisadas no Laboratório Central da empresa e contou com fornecimento pela companhia de todos os recursos financeiros (logística de coleta; equipamentos, materiais e reagentes de análise) para o desenvolvimento da pesquisa.

#### 5.4 Análise dos resultados

Além da caracterização das águas bruta e tratada dos sistemas de abastecimento de água selecionados, quanto às concentrações ou valores de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e das variáveis física e biológicas adotadas como indicadores de ocorrência ou remoção desses protozoários, foram avaliadas, também, as eficiências de remoção (em unidades logarítmicas) (Equação 5.1) de cada variável.

$$\text{Eficiência de remoção (em log)} = -\log_{10}(\text{valor na água tratada} / \text{valor na água bruta}) \quad (5.1)$$

### 5.4.1 Tratamento inicial dos dados

Para eliminação de valores atípicos<sup>5</sup> nas triplicatas das análises de bactérias esporogênicas aeróbias foi realizado o teste Q de Dixon. Este consiste na ordenação dos dados de modo crescente, posterior cálculo da diferença entre o número suspeito e seu vizinho mais próximo e divisão (razão) dessa diferença pela amplitude total. Essa razão (Q) é, então, comparada com o valor tabelado de Q, sendo a observação suspeita rejeitada quando Q for igual ou maior que o valor tabelado (LOPES, 2003). Logo, no trio de resultados em que se detectou um valor atípico e este foi rejeitado pelo teste Q de Dixon, a média foi obtida entre os dois valores restantes. Os valores eliminados e os resultados finais, para os Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores, estão apresentados nas planilhas de resultados da seção 10: Tabela 10.1 e Tabela 10.5, respectivamente.

Visando permitir o cálculo estatístico, foram realizadas algumas substituições de valores. Dessa forma, para os dados de bactérias esporogênicas aeróbias, *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em que foram contabilizados tais organismos na água bruta, porém não o foram na água tratada (ou seja, nos casos em que a remoção foi de 100%), a eficiência de remoção em unidades logarítmicas foi estimada levando-se em conta a mudança de ordem de grandeza dos valores, conforme especificado na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5** – Remoção estimada (em unidades logarítmicas) de bactérias esporogênicas aeróbias, oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. de acordo com a ordem de grandeza nas águas bruta (AB) e tratada (AT).

Organismo	Ordem de grandeza da concentração na AB	Ordem de grandeza considerada da concentração na AT	Eficiência de remoção estimada (log)
Bactérias esporogênicas aeróbias	10 <sup>3</sup>	10 <sup>0</sup>	3,0
	10 <sup>4</sup>		4,0
	10 <sup>5</sup>		5,0
<i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp.	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>	2,0
	10 <sup>0</sup>		3,0
	10 <sup>1</sup>		4,0

De acordo com Helsel (2005) e Oliveira e Gomes (2011), quando a porcentagem de dados abaixo do limite de detecção (LD) é de no máximo 30%, recomenda-se a substituição dos valores pela metade do valor do LD. Dessa forma, para os resultados de concentração de *E. coli* na água bruta < 1,0 NMP/100 mL (27,5% do total), houve substituição por 0,5 NMP/100 mL.

<sup>5</sup> Foram considerados valores atípicos na triplicata aqueles que diferenciavam em ordem de grandeza dos outros dois dados (por exemplo, dois valores na ordem de grandeza de 10<sup>1</sup> e outro em ordem de grandeza de 10<sup>2</sup>, este último foi considerado atípico).

Outra questão também é que, para oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp., quando não foram detectados tais organismos na água bruta e na água tratada, não foi possível obter os valores de eficiência de remoção, portanto, tais dados não contabilizaram para o cálculo estatístico das taxas de remoção. Por isso, há número de dados válidos inferiores ao número total de amostras analisadas – que foram 40 para bactérias esporogênicas aeróbias, turbidez e *E. coli* e 24 para *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp.

#### **5.4.2 Estatística descritiva**

Os dados – concentrações e eficiências de remoção das variáveis – foram analisados por meio da estatística descritiva (cálculo de mínimo, máximo, médias aritmética e geométrica, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação e percentis 10%, 25%, 75% e 90%) e foram apresentados em tabelas, com o intuito de facilitar a visualização e interpretação dos resultados.

#### **5.4.3 Comparações entre as variáveis e os sistemas de abastecimento de água**

Após a correção dos dados, avaliou-se a distribuição dos mesmos a fim de se aplicarem os testes estatísticos mais adequados. Verificou-se que todos os conjuntos de dados (concentração de cada variável nas águas bruta e tratada – geral e nos períodos chuvoso e seco – e eficiências de remoção, para cada sistema) apresentaram distribuição diferente da normal, portanto, todos os resultados foram analisados através de testes não-paramétricos, com nível de significância de 5%.

Os resultados das variáveis, para cada manancial e ETA, entre os mananciais e estações de tratamento e entre os períodos chuvoso e seco (somente resultados na água bruta) foram comparados entre si através da aplicação de testes de hipóteses – com auxílio do *software* Statística (STATISTICA, 2004) – para se verificar a existência ou não de diferenças estatisticamente significativas.

As eficiências de remoção obtidas para os oocistos de *Cryptosporidium* spp. foram comparadas com aquela assumida para o tratamento convencional (3,0 log), conforme consta na norma norte-americana LT2ESWTR (EPA, 2006).

Também foram calculados os créditos atribuídos à demonstração de desempenho (DOP), através da Equação 5.2, utilizando os resultados de bactérias esporogênicas aeróbias, de acordo com o indicado por Brown e Cornwell (2007) e pela LT2ESWTR (EPA, 2006).



$$\text{Crédito DOP} = \log \left[ \frac{\text{concentração média ou mediana na água bruta}}{\text{concentração média ou mediana na água tratada}} \right] \quad (5.2)$$

Os testes de Spearman foram utilizados para a avaliação da correlação entre as eficiências de remoção e concentrações nas águas bruta e tratada de (oo)cistos e indicadores (bactérias esporogênicas aeróbias, turbidez e *E. coli*), em cada sistema de abastecimento, no sentido de identificar a sensibilidade desses indicadores como possíveis substitutos na avaliação da ocorrência/remoção de protozoários patogênicos.

#### **5.4.4 Predição das concentrações de protozoários através das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez**

As eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e de turbidez foram utilizadas para prever a concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. na água tratada e comparou-se, em seguida, com a concentração verdadeiramente encontrada. Para tanto, foram aplicadas duas abordagens:

- a) **A partir das remoções de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez acrescidas de 1,0 log:** Considerando que as bactérias esporogênicas aeróbias mostram, geralmente, em torno de 1,0 log de remoção a menos que os oocistos de *Cryptosporidium* spp., como discutido por Brown e Cornwell (2007), foram estimadas as concentrações de oocistos e cistos na água tratada a partir das eficiências de remoção para bactérias esporogênicas aeróbias acrescidas de 1,0. Com o intuito de comparação, realizou-se o mesmo procedimento para os valores de eficiência de remoção de turbidez. Somente foram utilizados os dados das amostras de água bruta em que foram detectados oocistos e cistos; e estes foram comparados com as eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e de turbidez obtidos no dia correspondente de análise. Ressalta-se que o cálculo foi realizado a partir de um rearranjo da Equação 5.1, isolando-se o “valor na água tratada” e substituindo-se o “log” pela eficiência de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias ou de turbidez acrescida de 1,0 e o “valor na água bruta” pela concentração de oocistos ou cistos na água bruta.
- b) **A partir de equações de regressão:** Foram construídos gráficos de dispersão entre as remoções dos protozoários e dos indicadores bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez e, a partir deles, obtiveram-se equações de regressão do tipo  $y = a + bx$ . Em

seguida, a partir dessas equações, foram calculados os valores esperados de remoção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. utilizando-se os resultados de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e de turbidez. A partir dos valores obtidos para remoção dos protozoários, utilizaram-se as concentrações na água bruta dos respectivos micro-organismos e calcularam-se as concentrações esperadas na água tratada.

#### 5.4.5 Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico

Foram estimadas as probabilidades diária (Equação 5.3) e anual (Equação 5.4) de infecção para cada protozoário investigado, segundo o modelo exponencial, de acordo com a metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (HAAS; ROSE; GERBA, 1999; BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009; LEAL *et al.*, 2009).

$$P_{I(d)} = 1 - \exp(-rN) \quad (5.3)$$

Na qual:

$P_{I(d)}$ : probabilidade de infecção diária para uma única exposição (nesse caso, volume de água consumido por dia)

r: coeficiente indicativo de dose-resposta (0,004 para *Cryptosporidium* e 0,02 para *Giardia*) (GERBA, 2000)

N: número de organismos ingeridos por exposição (dose)

$$P_{I(A)} = 1 - [1 - P_{I(d)}]^n \quad (5.4)$$

Na qual:

$P_{I(A)}$ : probabilidade anual de infecção decorrente de n exposições à mesma dose (N)

$P_{I(d)}$ : probabilidade de infecção diária para uma única exposição

n: número de exposições por ano

Considerando que a quantidade média de consumo de água por dia é de 2,0 L por pessoa, calculou-se o número de organismos ingeridos por exposição (N) a partir da concentração média de (oo)cistos na água tratada multiplicada por 2, para obtenção da probabilidade de infecção diária. Realizou-se também o cálculo de risco de infecção diária a partir dos resultados de concentração média de (oo)cistos na água bruta e de remoção média dos protozoários alcançada nesta pesquisa. E, por fim, calculou-se a probabilidade de infecção anual considerando-se o número de exposições por ano (n) igual a 365.



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 **Análise das concentrações e remoções dos protozoários, bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez**

#### 6.1.1 Estatística descritiva

Nas Tabela 6.1 e Tabela 6.2 estão apresentadas as estatísticas descritivas dos valores/concentrações e remoções de turbidez, *Escherichia coli*, oocistos de *Cryptosporidium* spp., cistos de *Giardia* spp. e bactérias esporogênicas aeróbias para os Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores, respectivamente.

Essas tabelas foram construídas a partir dos resultados apresentados na seção 10: Tabela 10.1, Tabela 10.2, Tabela 10.3 e Tabela 10.4, para o SRV, e Tabela 10.5, Tabela 10.6, Tabela 10.7 e Tabela 10.8, para o SVF.

Constatou-se que, de acordo com o recomendado pela Portaria nº. 2.914/2011 (BRASIL, 2011), apenas ao rio das Velhas seria imposto o monitoramento dos protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia*, uma vez que foi detectada média geométrica de *E. coli* acima de 1.000 NMP/100 mL. Porém, nesse manancial, a média de *Cryptosporidium* spp. foi 10% do valor indicado pela Portaria acima do qual se deve reduzir a turbidez do efluente de filtração rápida para 0,3 uT (3,0 oocistos/L). Por outro lado, apesar de não ser detectada tal média de *E. coli* em Vargem da Flores, foram quantificados (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na represa, o que reforça a necessidade de estudos e pesquisa mais específica devido à particularidade de cada manancial.

**Tabela 6.1** – Estatística descritiva das concentrações/valores e remoções de oocistos de *Cryptosporidium* spp., cistos de *Giardia* spp., bactérias esporogênicas aeróbias, turbidez e *Escherichia coli* no Sistema Rio das Velhas.

Variável	Unidade	Local coleta/E	N <sub>d</sub>	Mín	Méd	MédG	Medn	Máx	DP	CV	P10	P25	P75	P90
Bactérias esporogênicas aeróbias	UFC/L	AB	40	2,0x10 <sup>3</sup>	3,5x10 <sup>4</sup>	1,2x10 <sup>4</sup>	8,5x10 <sup>3</sup>	3,4x10 <sup>5</sup>	6,7x10 <sup>4</sup>	1,94	3,0x10 <sup>3</sup>	5,0x10 <sup>3</sup>	3,0x10 <sup>4</sup>	8,5x10 <sup>4</sup>
		AT	40	ND	1,9x10 <sup>2</sup>	NC	1,0x10 <sup>1</sup>	6,6x10 <sup>3</sup>	1,0x10 <sup>3</sup>	5,55	0	0	3,0x10 <sup>1</sup>	8,0x10 <sup>1</sup>
		E	40	1,4	2,9	2,8	3,0	5,0	0,7	0,25	2,1	2,5	3,1	3,9
<i>Cryptosporidium</i> spp.	Oocistos/L	AB	24	ND	0,3	NC	0,2	2,5	0,5	1,88	0	0	0,3	0,4
		AT	24	ND	0	NC	0	0,01	0	3,41	0	0	0	0
		E	16	2,0	2,0	2,0	2,0	2,6	0,2	0,07	2,0	2,0	2,0	2,0
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	AB	40	1,0x10 <sup>2</sup>	4,7x10 <sup>3</sup>	3,4x10 <sup>3</sup>	3,9x10 <sup>3</sup>	1,5x10 <sup>4</sup>	3,6x10 <sup>3</sup>	0,76	1,3x10 <sup>3</sup>	2,3x10 <sup>3</sup>	6,6x10 <sup>3</sup>	8,4x10 <sup>3</sup>
		AT	24	ND	6,7	NC	4,9	18,0	5,5	0,82	0,8	2,9	9,3	14,9
		E	23	0,4	2,9	2,8	3,0	4,0	0,7	0,25	2,4	2,9	3,1	3,9
<i>Giardia</i> spp.	Cistos/L	AB	40	2,71	25,00	9,86	6,44	250,00	53,67	2,15	3,53	4,32	15,75	49,52
		AT	40	0,11	0,51	0,37	0,37	5,13	0,78	1,53	0,18	0,27	0,48	0,60
		E	40	0,7	1,4	1,3	1,3	3,1	0,5	0,37	0,9	1,1	1,6	2,0
Turbidez	uT	AB	40	2,71	25,00	9,86	6,44	250,00	53,67	2,15	3,53	4,32	15,75	49,52
		AT	40	0,11	0,51	0,37	0,37	5,13	0,78	1,53	0,18	0,27	0,48	0,60
		E	40	0,7	1,4	1,3	1,3	3,1	0,5	0,37	0,9	1,1	1,6	2,0

**Legenda:** AB = Água bruta; AT = Água tratada; CV = Coeficiente de variação; DP = Desvio-padrão; E = Eficiência de remoção, em unidades logarítmicas; Máx = Máximo; Mín = Mínimo; Méd = Média aritmética; MédG = Média geométrica; Medn = Mediana; N<sub>d</sub> = número de dados válidos; NC = Não calculável; ND = Não detectado; NMP = Número mais provável; P10 = Percentil 10%; P25 = Percentil 25%; P75 = Percentil 75%; P90 = Percentil 90%; UFC = Unidades formadoras de colônias; uT = Unidade de turbidez.

**Notas:** <sup>1</sup>Durante o mês de janeiro, foi coletada água filtrada para análise das variáveis, porém, a partir de fevereiro, passou a ser coletada água tratada devido à maior facilidade e rapidez para a filtração em campo. No entanto, tal mudança de tipo de água não afeta os resultados, uma vez que ambas as águas apresentavam características semelhantes, pois a coleta de água tratada foi realizada em local onde não havia tempo de contato suficiente com o desinfetante. Portanto, para análise dos resultados, todas as amostras foram consideradas como sendo de água tratada. <sup>2</sup>Valores ND foram considerados zero nas análises estatísticas.

**Tabela 6.2** – Estatística descritiva das concentrações/valores e remoções de oocistos de *Cryptosporidium* spp., cistos de *Giardia* spp., bactérias esporogênicas aeróbias, turbidez e *Escherichia coli* no Sistema Vargem das Flores.

Variável	Unidade	Local coleta/E	N <sub>d</sub>	Mín	Méd	MédG	Medn	Máx	DP	CV	P10	P25	P75	P90
Bactérias esporogênicas aeróbias	UFC/L	AB	40	ND	8,1x10 <sup>3</sup>	NC	3,0x10 <sup>3</sup>	7,4x10 <sup>4</sup>	1,4x10 <sup>4</sup>	1,76	1,0x10 <sup>3</sup>	2,0x10 <sup>3</sup>	7,5x10 <sup>3</sup>	1,6x10 <sup>4</sup>
		AT	40	ND	9,3x10 <sup>1</sup>	NC	1,0x10 <sup>1</sup>	7,4x10 <sup>2</sup>	1,9x10 <sup>2</sup>	2,00	0	0	5,3x10 <sup>1</sup>	4,0x10 <sup>2</sup>
		E	39	0,7	2,3	2,2	2,3	4,0	0,8	0,35	1,3	1,9	3,0	3,1
<i>Cryptosporidium</i> spp.	Oocistos/L	AB	24	ND	0,1	NC	0	1,4	0,3	2,92	0	0	0,0	0,3
		AT	24	ND	0	NC	0	0,03	0,01	4,44	0	0	0	0
		E	6	1,6	1,9	1,9	2,0	2,0	0,2	0,08	1,8	2,0	2,0	2,0
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	AB	40	ND	3,7	NC	1,0	64,4	10,3	2,77	0,5	0,5	2,0	5,2
<i>Giardia</i> spp.	Cistos/L	AB	24	ND	0,1	NC	0	0,3	0,1	1,72	0	0	0,1	0,2
		AT	24	ND	0	NC	0	ND	0	-	0	0	0	0
		E	8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	0	0	2,0	2,0	2,0	2,0
Turbidez	uT	AB	40	0,88	2,39	2,10	2,03	7,53	1,34	0,56	1,10	1,44	2,99	3,84
		AT	40	0,11	0,36	0,29	0,30	1,08	0,25	0,68	0,13	0,16	0,46	0,71
		E	40	0,3	0,9	0,8	0,8	1,4	0,4	0,41	0,4	0,6	1,2	1,3

**Legenda:** AB = Água bruta; AT = Água tratada; CV = Coeficiente de variação; DP = Desvio-padrão; E = Eficiência de remoção, em unidades logarítmicas; Máx = Máximo; Mín = Mínimo; Méd = Média aritmética; MédG = Média geométrica; Medn = Mediana; N<sub>d</sub> = número de dados válidos; NC = Não calculável; ND = Não detectado; NMP = Número mais provável; P10 = Percentil 10%; P25 = Percentil 25%; P75 = Percentil 75%; P90 = Percentil 90%; UFC = Unidades formadoras de colônias; uT = Unidade de turbidez.

**Nota:** Valores ND foram considerados zero nas análises estatísticas.

Observa-se que as maiores concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* spp. ocorreram no rio das Velhas, variando de não detectado (ND) a 2,5 oocistos/L e de ND a 18 cistos/L, respectivamente. Na represa de Vargem das Flores, as concentrações foram inferiores, variando de ND a 1,4 oocistos/L para *Cryptosporidium* spp. e de ND a 0,3 cisto/L para *Giardia* spp. A porcentagem de ocorrência dos protozoários também foi superior no Rio das Velhas em comparação com a represa de Vargem das Flores, como apresentado na Tabela 6.3.

**Tabela 6.3** – Porcentagem de ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* spp. na água bruta dos sistemas de abastecimento avaliados.

Manancial	Porcentagem de ocorrência de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	Porcentagem de ocorrência de cistos de <i>Giardia</i> spp.
Rio das Velhas	66,7% (em 16 das 24 amostras analisadas)	95,8% (em 23 das 24 amostras analisadas)
Represa de Vargem das Flores	25% (em 6 das 24 amostras analisadas)	33,3% (em 8 das 24 amostras analisadas)

Essas ocorrências são próximas a concentrações e percentuais relatados em investigações nacionais e internacionais conduzidas em mananciais superficiais destinados ao abastecimento público, como, por exemplo: (1) Na área de captação do rio das Velhas, em Nova Lima-MG, verificaram-se percentuais de ocorrência de 96% e 100% para oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*, respectivamente (MACHADO; CERQUEIRA, 2003); (2) Leal (2005), realizando estudo de ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia* em dois subsistemas de abastecimento de água da cidade de Divinópolis-MG, encontrou concentrações de ND a 0,3 oocisto/L – com percentual de 50% de ocorrência – e 0,2 a 25 cistos/L – com percentual de 100% de ocorrência – no subsistema Itapecerica, enquanto no subsistema Pará não foi detectado oocisto algum e as concentrações de *Giardia* variaram de ND a 2,3 cistos/L, com percentual de 30% de ocorrência; (3) Em Xangai, na China, Feng *et al.* (2011), coletaram 50 amostras de água bruta e 30 de água tratada para avaliar a presença de *Cryptosporidium* e *Giardia*. Foram detectados (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* em 32% (16/50) e 18% (9/50) das amostras de água bruta, sendo que as concentrações dos protozoários variaram de 1,8 a 22,0 oocistos/10 L (média de 5,2 oocistos/10 L) e de 2,0 a 8,0 cistos/10 L (média de 4,0 cistos/10 L); (4) Em Luxemburgo, na Europa, foi monitorada, durante dois anos, a ocorrência de *Giardia duodenalis* e *Cryptosporidium parvum* no maior reservatório de água do país. As coletas foram realizadas em três locais: A – na entrada do reservatório (31 amostras), B – na entrada da ETA, a 18 km à jusante do ponto A e a 4 km à jusante de uma área recreacional (32 amostras) e C – efluente da ETA (28 amostras). Os

resultados mostraram que ambos os parasitas estão presentes no reservatório ao longo do ano, havendo maior ocorrência de cistos de *G. duodenalis* em comparação com oocistos de *C. parvum*. O local A foi o mais contaminado, sendo que 81% das amostras foram positivas para pelo menos um dos parasitas, com concentrações de até 76 e 14 (oo)cistos/10 L para *G. duodenalis* e *C. parvum*, respectivamente. No ponto B houve 53% de amostras positivas, com concentrações máximas de 2,0 oocistos/10 L e 1,0 cisto/10 L. E no ponto C não foram detectados nenhum dos protozoários (HELMI *et al.*, 2011).

Porém, outras pesquisas registraram ocorrências bem diferentes: (1) Hachich *et al.* (2000), monitoraram durante o ano de 1999 as concentrações dos protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia* em 28 mananciais da Rede Básica de Monitoramento em São Paulo, com o objetivo de avaliar a ocorrência e distribuição desses parasitas nas águas superficiais destinadas ao consumo humano. Das 162 amostras analisadas, 31,5% (51) foram positivas para *Giardia* e 5% (8) para *Cryptosporidium*. Dos 28 mananciais, detectou-se *Giardia* em 16 e *Cryptosporidium* em 8. Os mananciais com as maiores concentrações de *Giardia* foram: o rio Atibaia (máximo de 521 cistos/L), rio Cotia no canal da captação da estação de tratamento de água (máximo de 215 cistos/L) e ribeirão dos Cristais (máximo de 176 cistos/L); (2) Também no rio Atibaia, em Campinas-SP, Franco, Rocha-Eberhardt e Cantusio Neto (2001) verificaram a presença de (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia*, constatando a ocorrência dos protozoários em todas as amostras analisadas, sendo quantificados valores de 44,5 a 60,8 oocistos/0,5 L e de 33 a 95 cistos/0,5 L; (3) Em pesquisa realizada por Heller *et al.* (2004), por um período de 12 meses, em dois mananciais de abastecimento de água na cidade de Viçosa-MG, foram verificadas concentrações médias de *Giardia* e de *Cryptosporidium* da ordem de 4 a 7 cistos/L e 6 a 20 oocistos/L, respectivamente, sendo que nos eventos de pico as concentrações encontradas chegaram a 140 cistos/L e 510 oocistos/L. Os percentuais de ocorrência foram de 58% para *Giardia* e 67% para *Cryptosporidium* no primeiro manancial e de 92% para *Cryptosporidium* e *Giardia* no segundo manancial; (4) Karanis e outros pesquisadores (2006) analisaram 166 amostras de diferentes origens em regiões da Rússia e Bulgária quanto à presença de *Cryptosporidium* e *Giardia*. 16 (9,6%) amostras foram positivas para *Giardia*, enquanto 30 (18,1%) foram positivas para *Cryptosporidium*. Nas águas de rio da Rússia foram contabilizados de 70 a 357 cistos/10 L e de 5,0 a 113 oocistos/10 L. Já na Bulgária, as concentrações dos parasitas em água de rio variaram de 1,0 a 232 cistos/10 L e de 2 a 92 oocistos/10 L. Em nenhuma das regiões foram encontrados (oo)cistos em lagos.

Observou-se, também, que, em geral, as concentrações de cistos de *Giardia* spp. são superiores às concentrações de oocistos de *Cryptosporidium*, como constatado no rio das Velhas e como também já documentado por outros estudos (HÖRMAN *et al.*, 2004; BRIANCESCO; BONADONNA, 2005; Lee *et al.*, 2007; GIANGASPERO *et al.*, 2009; MONS *et al.*, 2009; CASTRO-HERMIDA *et al.*, 2010, HELMI *et al.*, 2011). Contudo, em Vargem das Flores ocorreu o contrário: maiores concentrações de oocistos em comparação com cistos, como também observado por Heller *et al.* (2004) e Feng *et al.* (2011), o que pode ser devido ao fato de os cistos de *Giardia* spp. apresentarem maior velocidade de sedimentação (na ordem de 2,4 mm/h) em comparação aos oocistos de *Cryptosporidium* spp. (na ordem de 1,0 mm/h) (DAI; BOLL, 2006).

As concentrações de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. encontradas na represa de Vargem das Flores foram relativamente baixas, quando comparadas com as concentrações encontradas em mananciais lóticos, como o rio das Velhas e outros já citados anteriormente. No entanto, foram similares aos resultados encontrados por Hachich *et al.* (2004), que, ao estudarem diversos mananciais para abastecimento público do estado de São Paulo, verificaram que, em geral, mananciais lênticos apresentavam menor ocorrência de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. que os mananciais lóticos.

Segundo Brookes *et al.* (2004), a menor ocorrência de protozoários em reservatórios pode ser atribuída aos fatores de remoção, inclusive sedimentação e inativação por temperatura, radiação ultravioleta e predação. De acordo com os autores, o destino e transporte dos patógenos ao longo do reservatório estão intimamente relacionados aos processos hidrodinâmicos que ocorrem em ambientes lênticos e, principalmente, à carga de patógenos afluente à represa. Além disso, a ressuspensão de agentes patogênicos dos sedimentos do fundo do curso d'água, pela turbulência, também influencia na distribuição dos protozoários no reservatório.

Em relação à concentração dos protozoários na água tratada, constataram-se baixos valores e baixa ocorrência – como também observado em outros estudos (HSU; YEH, 2003; KARANIS *et al.*, 2006; VERNILE *et al.*, 2009): no SRV foram encontrados de ND a 0,01 oocisto/L e de ND a 0,04 cisto/L, havendo resultados positivos em 8,3% das amostras (em duas das 24 amostras) para oocistos de *Cryptosporidium* spp. e 37,5% das amostras (em nove das 24 amostras) para cistos de *Giardia* spp. No SVF, foram contabilizados oocistos de

*Cryptosporidium* spp., com concentrações variando de ND a 0,03 oocisto/L, em 8,3% das amostras (em duas das 24 amostras) e nenhum cisto de *Giardia* spp. foi encontrado.

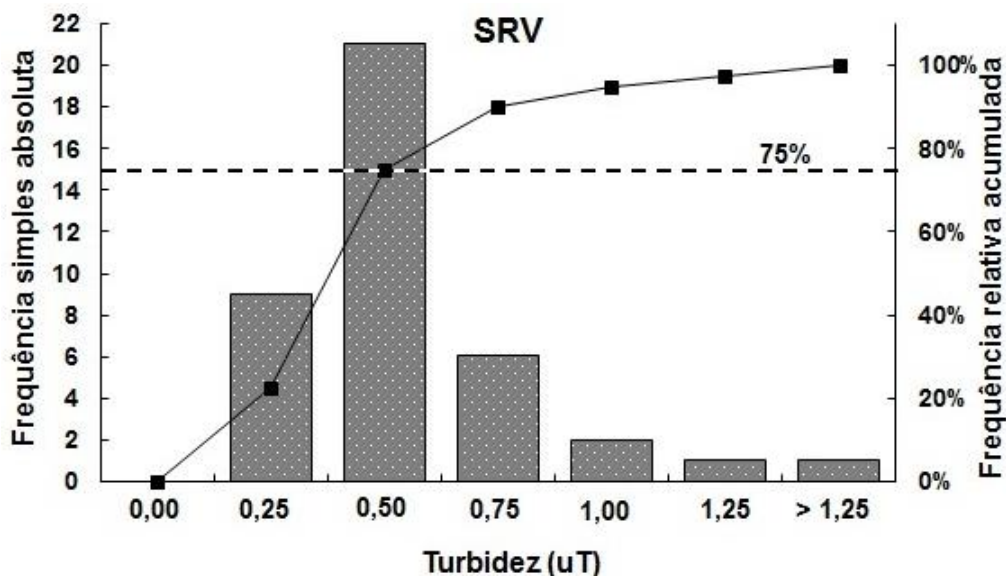
Analisando as taxas de remoção, observa-se que essas foram bem próximas para *Cryptosporidium* spp. em ambos os sistemas – média de 2,0 log no SRV (com mínimo de 2,0 log e máximo de 2,6 log) e de 1,9 log no SVF (com mínimo de 1,6 log e máximo de 2,0 log), porém bem diferentes para *Giardia* spp. – média de 2,9 log no SRV (com mínimo de 0,4 log e máximo de 4,0 log) e de 2,0 log no SVF (com mínimo e máximo de 2,0 log). Houve pouca variação desse micro-organismo no SVF porque houve baixa ocorrência na água bruta e nenhuma contagem na água tratada. Resultados semelhantes de eficiência de remoção foram obtidos por Mazoua e Chauveheid (2005) que constataram remoção de *Cryptosporidium* de > 1,5 a > 3,8 log e de *Giardia* de > 2,9 a > 4,4 log. Porém, vale ressaltar, que a literatura é vasta e amplamente variada.

Observa-se, também, que os valores de desvios-padrão e coeficientes de variação foram relativamente elevados para ambos os protozoários, tanto na água bruta quanto na água tratada.

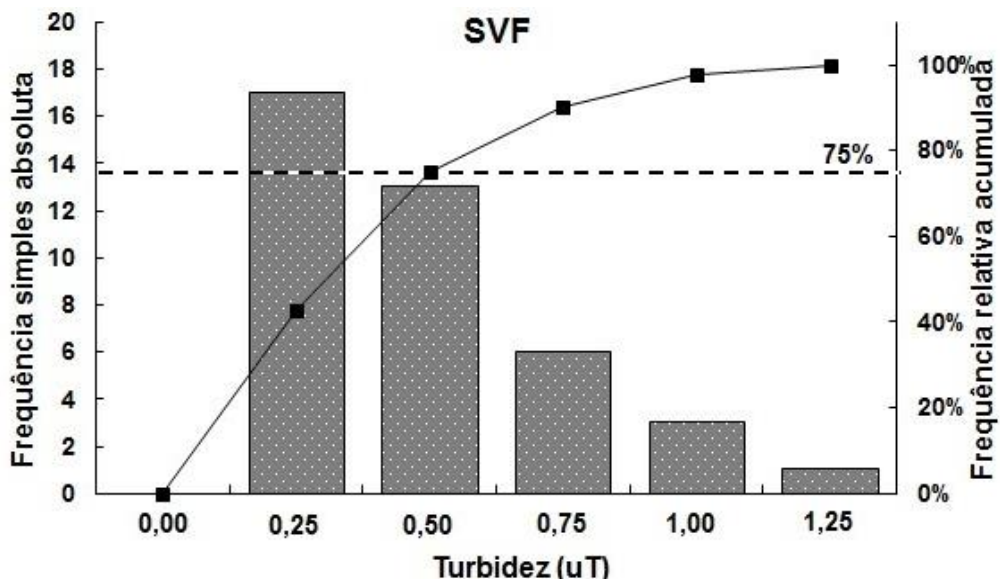
Também para os indicadores foram constatadas maiores concentrações no rio das Velhas em relação à represa de Vargem das Flores. As concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias variaram de  $2,0 \times 10^3$  a  $3,4 \times 10^5$  UFC/L no rio das Velhas e de ND a  $7,4 \times 10^4$  UFC/L em Vargem das Flores, contabilizando 100% e 97,5% (39 das 40 amostras), respectivamente, de ocorrência nos mananciais. A maior ocorrência em rio do que em lago também foi constatada por Brown e Cornwell (2003). Já na água tratada, as concentrações variaram de ND a  $6,6 \times 10^3$  UFC/L no SRV, com 72,5% de resultados positivos (29 das 40 amostras), e de ND a  $7,4 \times 10^2$  UFC/L no SVF, com 70% de positividade (28 das 40 amostras).

Os valores de turbidez variaram de 2,71 a 250 uT na água bruta e de 0,11 a 5,13 uT na água tratada do SRV, e entre 0,88 e 7,53 uT na água bruta e de 0,11 a 1,08 uT na água tratada do SVF. Como observado nas Figura 6.1 e Figura 6.2, tanto no SRV quanto no SVF, 75% das amostras de água tratada apresentaram valor de turbidez inferior a 0,5 uT, e, dentre essas amostras, 43,3% no SRV (32,5% do total) e 66,7% no SVF (50% do total) apresentaram turbidez menor que 0,3 uT. Dessa forma, ambos os sistemas terão que trabalhar nos próximos quatro anos para alcançar o valor máximo permitido de 0,5 uT em 95% das amostras de água filtrada determinado pela Portaria nº. 2.914/2011 (BRASIL, 2011). Além disso, também será necessário esforço adicional para evitar valores superiores a 1,0 uT, como foi constatado nos

dois sistemas de abastecimento de água. Vale lembrar que a comparação dos valores de turbidez de água tratada com o valor máximo permitido de turbidez na água filtrada preconizado pela Portaria n°. 2.914/2011 (BRASIL, 2011) pôde ser realizada uma vez que as características da água tratada coletada se assemelham às características da água filtrada nos sistemas avaliados.



**Figura 6.1** – Frequências simples e relativa dos valores de turbidez da água tratada do Sistema Rio das Velhas (SRV), evidenciando percentual de atendimento à Portaria n°. 2.914/2011.



**Figura 6.2** – Frequências simples e relativa dos valores de turbidez da água tratada do Sistema Vargem das Flores (SVF), evidenciando percentual de atendimento à Portaria n°. 2.914/2011.



Constatou-se que as maiores concentrações de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água bruta foram detectadas quando os valores de turbidez foram elevados, corroborando a ideia de associação desses protozoários a partículas de turbidez como meio de proteção ou substrato, como discutido por Medema *et al.* (1998). Porém, observou-se também que mesmo em amostras de água tratada com turbidez inferior a 0,5 uT foram detectados (oo)cistos dos protozoários – no SRV foram detectados oocistos em água tratada com turbidez de 0,38 e 0,16 uT e cistos em água tratada com 0,16 a 0,45 uT e no SVF oocistos foram detectados em água tratada com turbidez de 0,28 e 0,4 uT –, logo, nem sempre valores baixos de turbidez asseguram ausência ou baixa concentração de (oo)cistos.

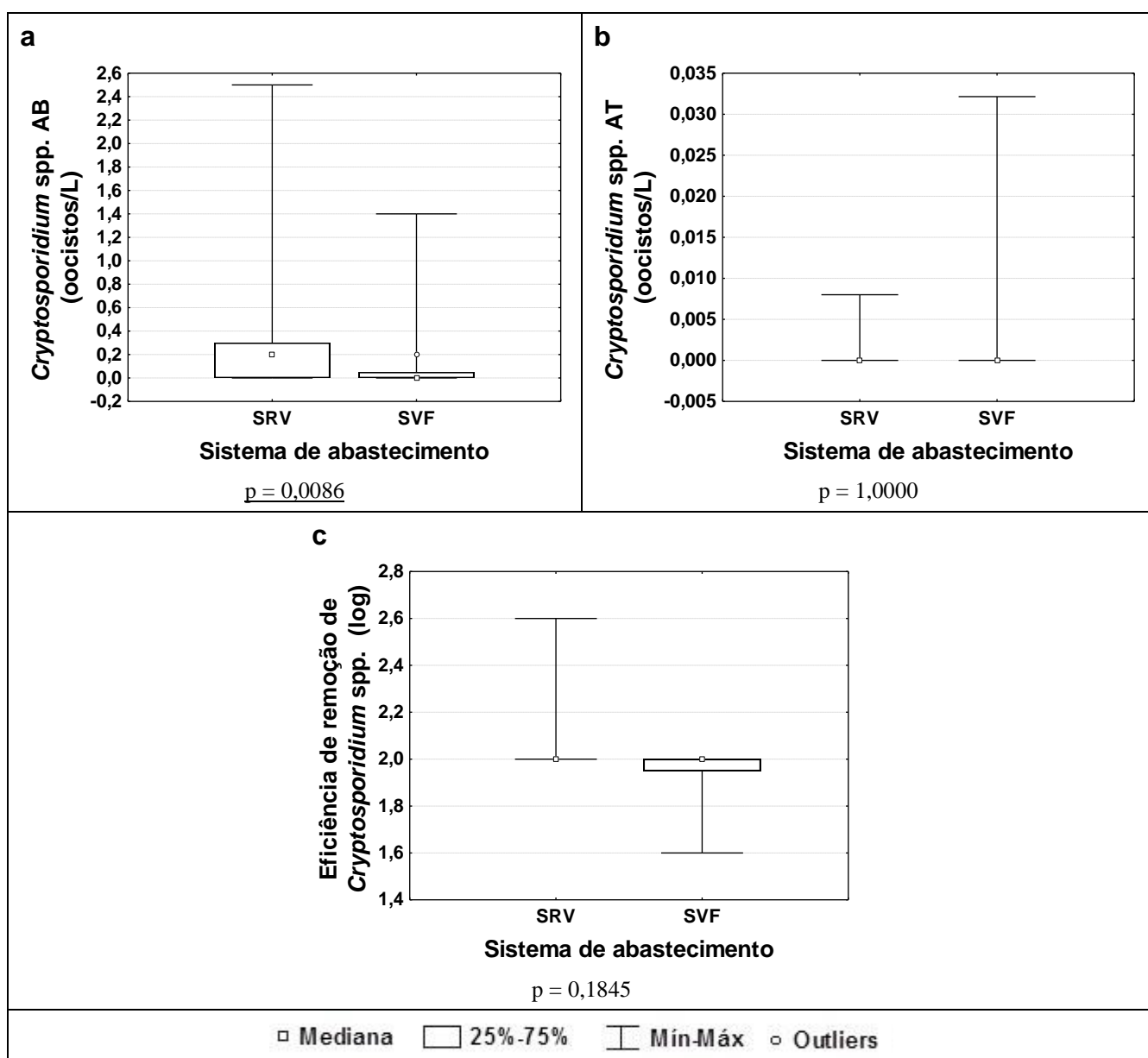
Tanto para as bactérias esporogênicas quanto para a turbidez, o SRV mostrou-se mais eficiente em suas remoções, o que é devido às/aos maiores concentrações/valores iniciais dessas variáveis nesse sistema. Porém, para turbidez, os valores remanescentes foram menores para o SVF. As taxas de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias foram bem próximas para ambos os sistemas – média de 2,9 log (99,63% de remoção) no SRV e de 2,3 log (98,09% de remoção) no SVF –, porém, para turbidez, houve bastante diferença – no SRV variou de 0,7 log (77,69% de remoção) a 3,1 log (99,93% de remoção) enquanto no SVF os valores estiveram entre 0,3 log (44,31% de remoção) e 1,4 log (96,34% de remoção) – o que pode ser devido à existência de instabilidade operacional em ambos os sistemas avaliados.

Observa-se também que os valores de desvio-padrão e coeficiente de variação foram elevados para essas variáveis, tanto na água bruta quanto na água tratada, principalmente no SRV.

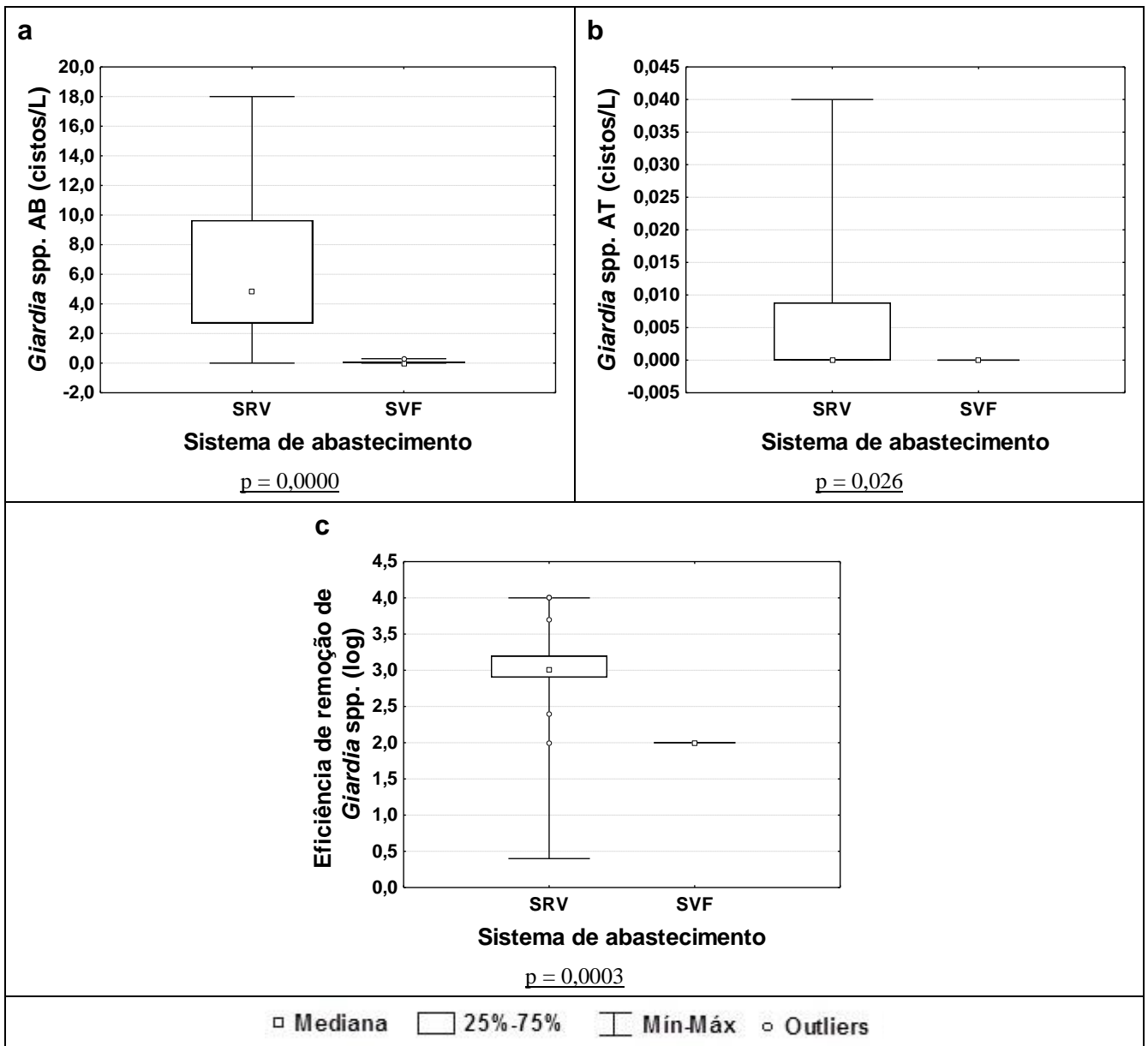
Quanto às concentrações de *Escherichia coli* na água bruta, foram constatados valores mais elevados no rio das Velhas, o que sinaliza contaminação fecal mais intensa nesse sistema lótico. As concentrações variaram de  $1,0 \times 10^2$  a  $1,5 \times 10^4$  NMP/100 mL no rio das Velhas e de ND a 64,4 NMP/100 mL na represa de Vargem das Flores. As altas concentrações no rio das Velhas foram detectadas em grande número de amostras, uma vez que 90% delas resultaram em valores até  $8,4 \times 10^3$  NMP/100 mL, enquanto no SVF, 90% das amostras apresentaram concentrações de *E. coli* abaixo de 5,2 NMP/100 mL. Lopes (2009) também encontrou baixas concentrações de *E. coli* no ponto de captação da represa de Vargem das Flores, sendo que na profundidade em que também coletou amostras para *Cryptosporidium* e *Giardia* foram detectados de < 1,0 a 29,2 NMP/100 mL de *E. coli*.

### 6.1.2 Comparação das concentrações e remoções de cada variável entre os sistemas de abastecimento de água

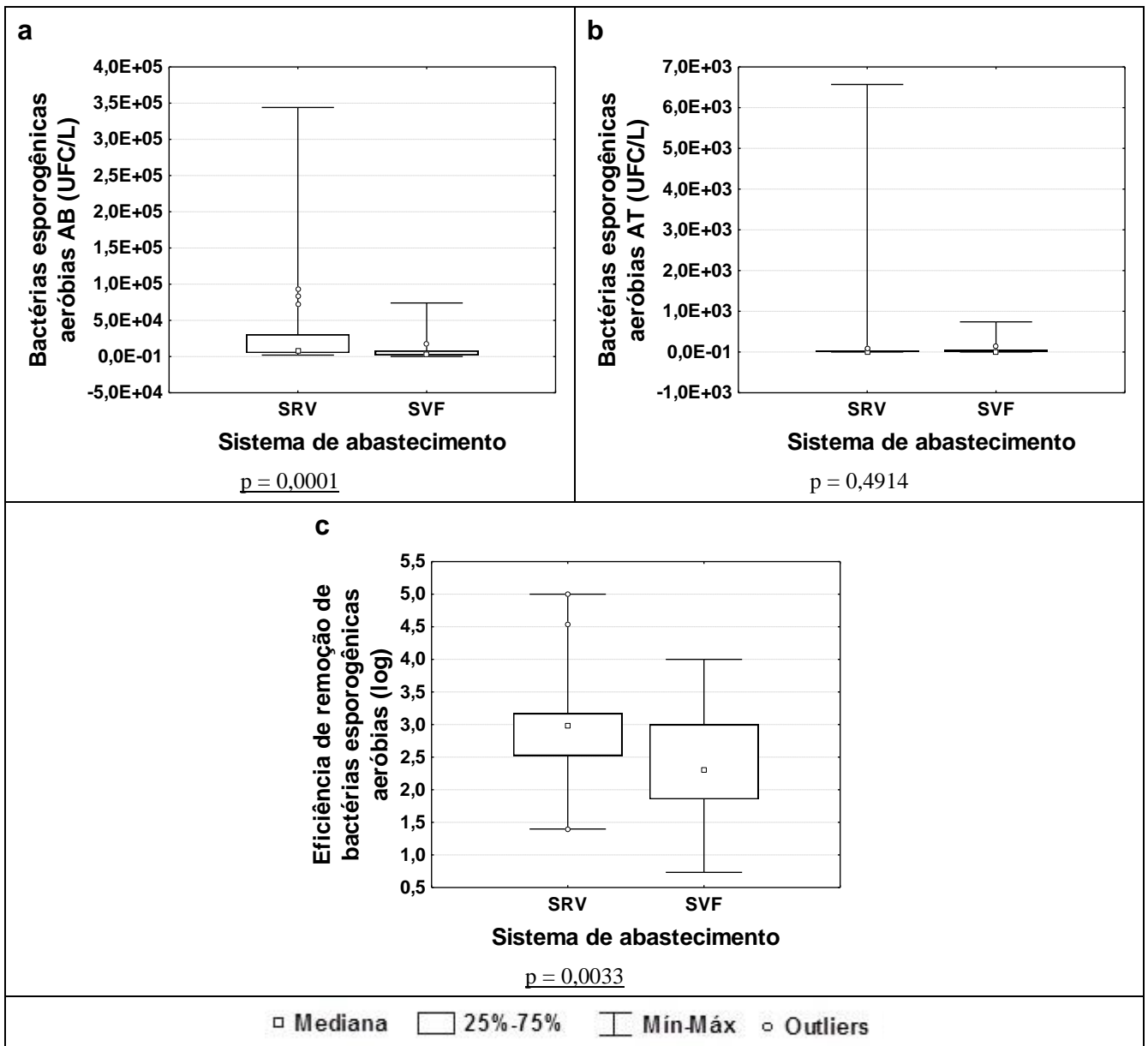
Foi aplicado o teste *U* de Mann-Whitney para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas com relação aos/às valores/concentrações nas águas bruta e tratada e às remoções de cada variável. Nas Figura 6.3, Figura 6.4, Figura 6.5, Figura 6.6 e Figura 6.7 são apresentados os gráficos box-whisker resultantes do teste estatístico. Os valores de *p* sublinhados indicam existência de diferença estatisticamente significativa.



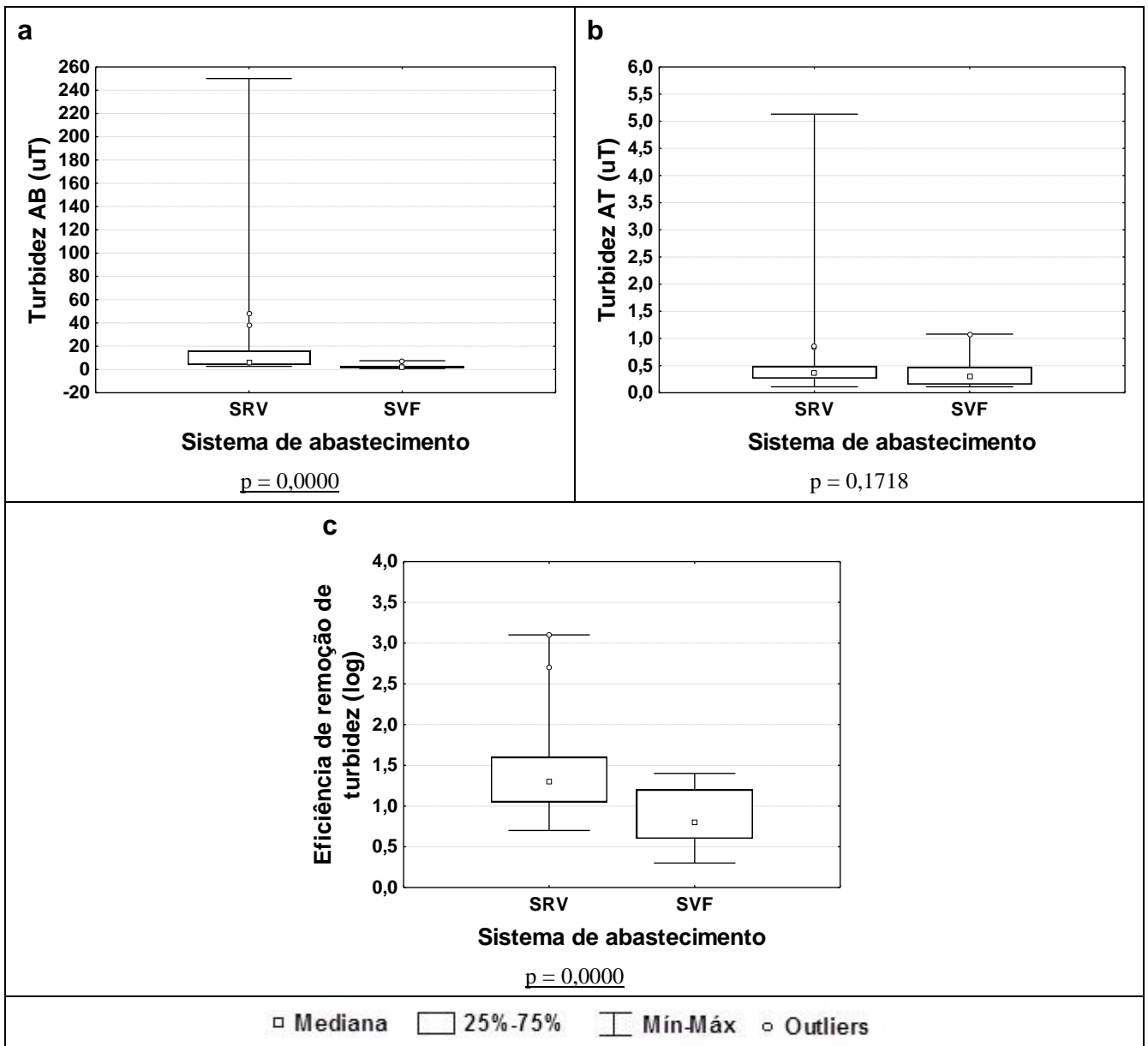
**Figura 6.3** – Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações (a) na água bruta (AB) e (b) na água tratada (AT) e às (c) eficiências de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp.



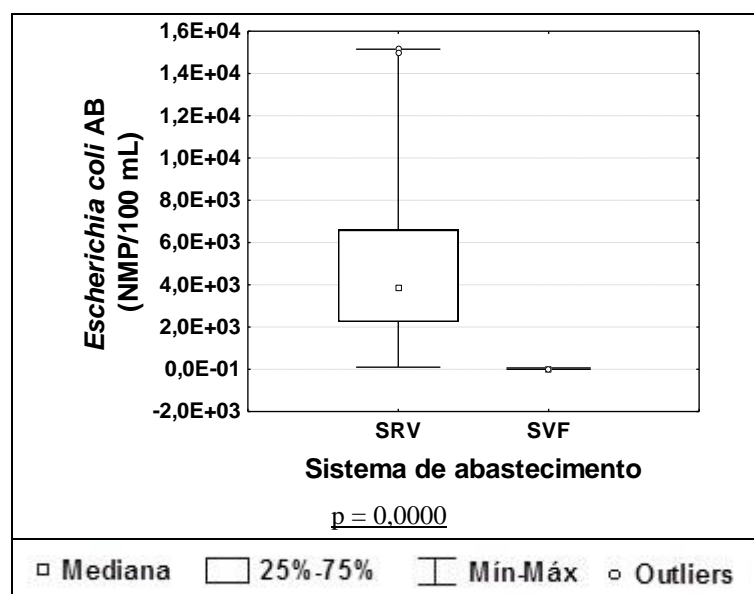
**Figura 6.4** – Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações (a) na água bruta (AB) e (b) na água tratada (AT) e às (c) eficiências de remoção de *Giardia* spp.



**Figura 6.5** – Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações (a) na água bruta (AB) e (b) na água tratada (AT) e às (c) eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias.



**Figura 6.6** – Gráficos box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações (a) na água bruta (AB) e (b) na água tratada (AT) e às (c) eficiências de remoção de turbidez.



**Figura 6.7** – Gráfico box-whisker de comparação entre os sistemas de abastecimento de água quanto às concentrações na água bruta (AB) de *Escherichia coli*.

Constatou-se que apenas não houve diferença estatisticamente significativa entre os sistemas para os valores medianos e distribuição dos dados de: concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de bactérias esporogênicas aeróbias e valores de turbidez na água tratada e eficiência de remoção de oocistos.

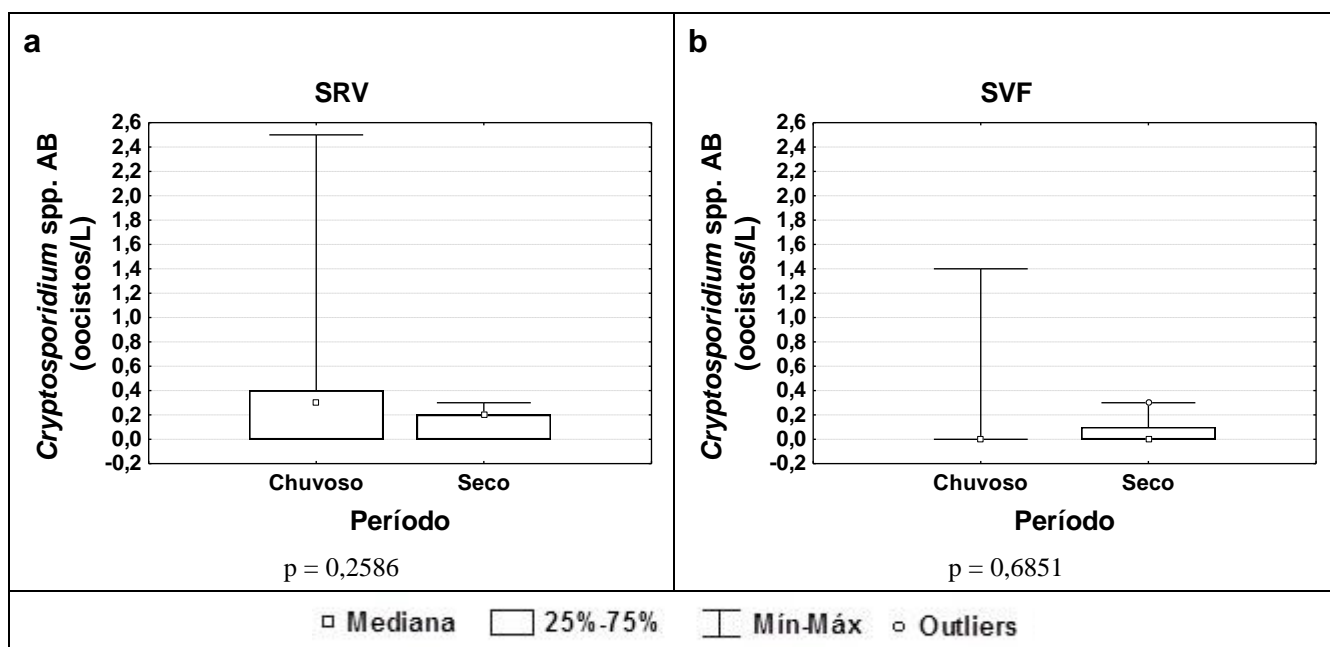
A não existência de diferença significativa entre as eficiências de remoção de oocistos (Figura 6.3c) indica que os dois sistemas foram igualmente eficientes na remoção do protozoário *Cryptosporidium* spp. Porém, vale ressaltar que, em muitas amostras, não foi possível calcular as taxas de remoção, tanto de oocistos de *Cryptosporidium* spp. quanto de cistos de *Giardia* spp., reduzindo o número de dados que foram comparados, portanto, as conclusões são parciais e restritas para os sistemas em estudo. Em relação às concentrações de oocistos na água tratada (Figura 6.3b), percebe-se, também, que ambos os sistemas obtiveram valores baixos e próximos, justificando a não existência de diferença estatisticamente significativa. Assim, também podem ser interpretados os resultados para concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e valores de turbidez na água tratada (Figura 6.5b e Figura 6.6b). Porém, ao observar o gráfico de concentração de cistos na água tratada (Figura 6.4b), percebem-se maiores valores para o SRV, justificando a existência de diferença estatisticamente significativa. No entanto, vale lembrar que no SVF não foram detectados cistos em nenhuma das amostras, por isso toda a estatística se concentrou no valor zero e diferenciou dos valores do SRV. Já quando se observam os resultados da água bruta, constata-se que para todas as variáveis (Figura 6.3a, Figura 6.4a, Figura 6.5a, Figura 6.6a, Figura 6.7)

houve diferença estatisticamente significativa entre os sistemas, sendo que sempre o SRV apresentou maiores valores/concentrações e estes/as com maior variabilidade, o que corrobora as observações já descritas na seção 6.1.1.

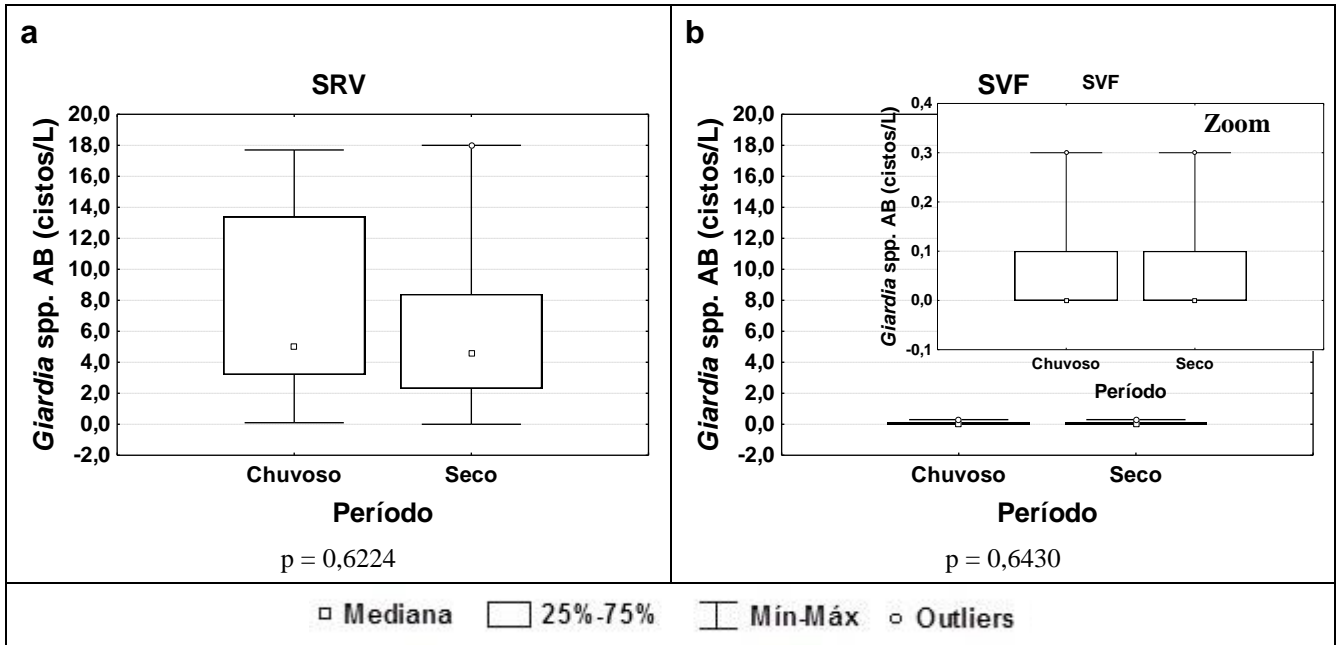
### 6.1.3 Avaliação das concentrações na água bruta de cada variável nos períodos chuvoso e seco

Também foi realizada avaliação comparativa das concentrações na água bruta das variáveis monitoradas nos períodos chuvoso (janeiro a março e outubro) e seco (abril a setembro). Foi aplicado o teste *U* de Mann-Whitney para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas. Nas Figura 6.8, Figura 6.9, Figura 6.10, Figura 6.11 e Figura 6.12, estão apresentados os gráficos box-whisker resultantes dessa análise.

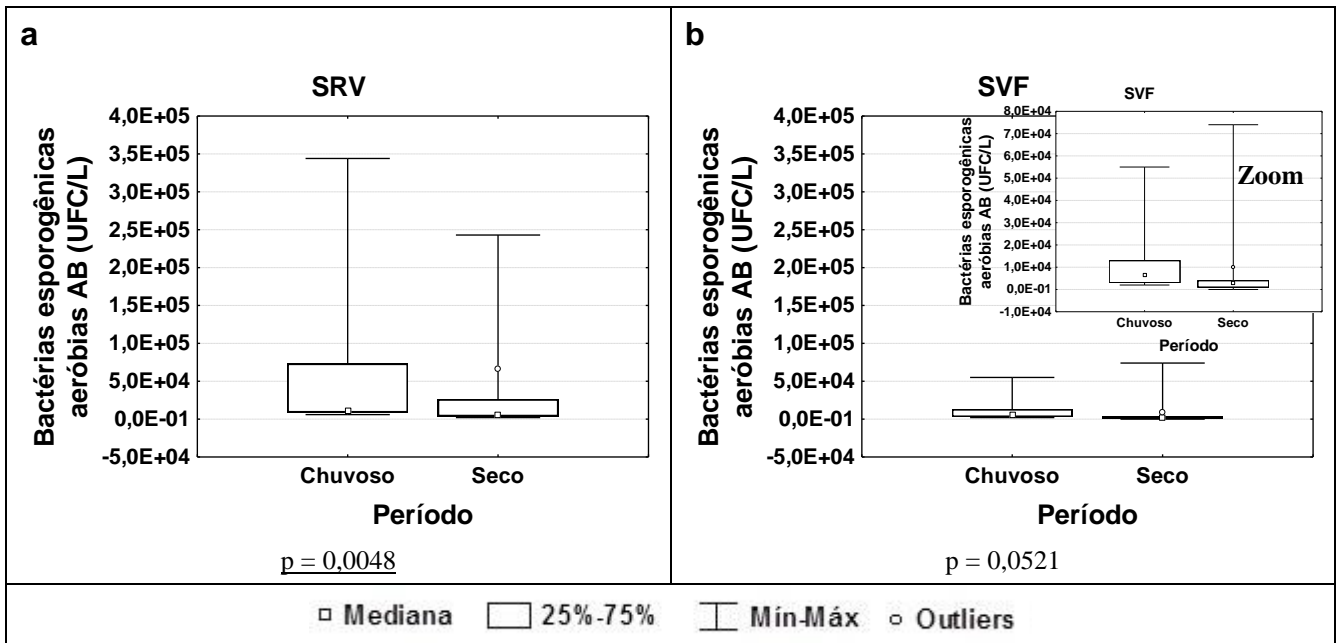
Observa-se que, para a maioria das variáveis – exceto para bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez no SRV – não houve diferença estatisticamente significativa entre concentrações/valores na água bruta durante os períodos chuvoso e seco, uma vez que as medianas dessas/desses concentrações/valores apresentam-se em patamares próximos ou muito próximos.



**Figura 6.8** – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF).

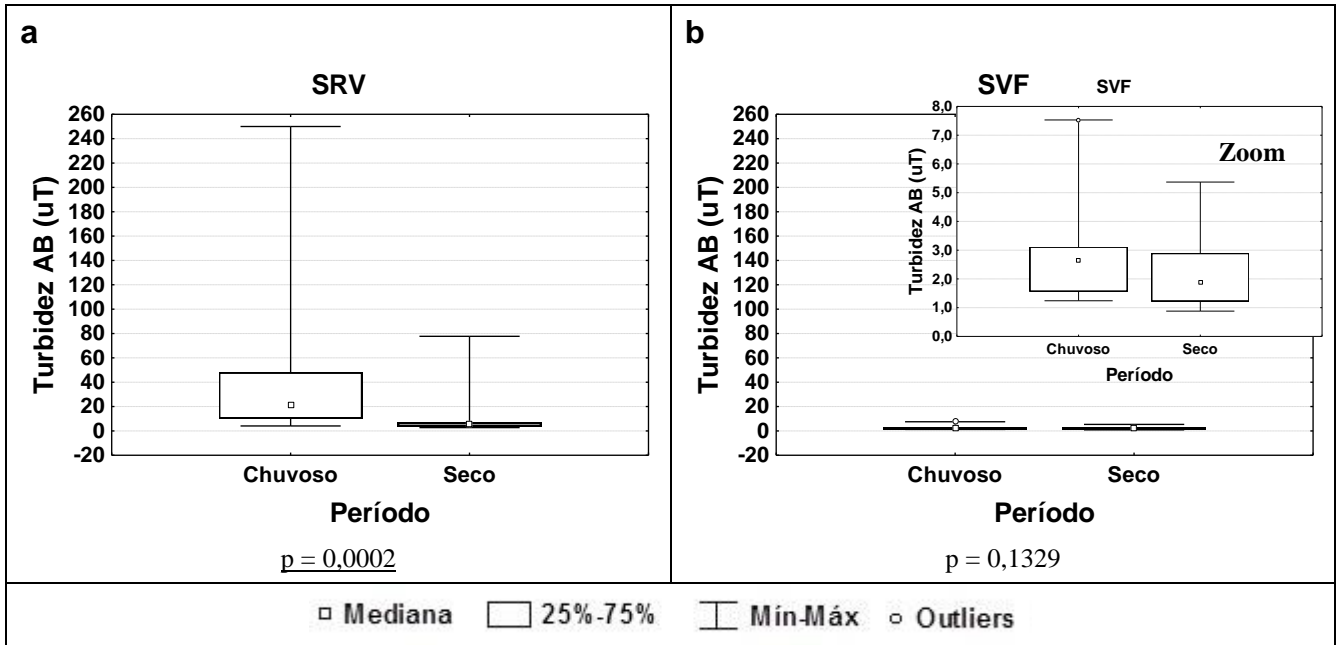


**Figura 6.9** – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de cistos de *Giardia* spp. nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF).

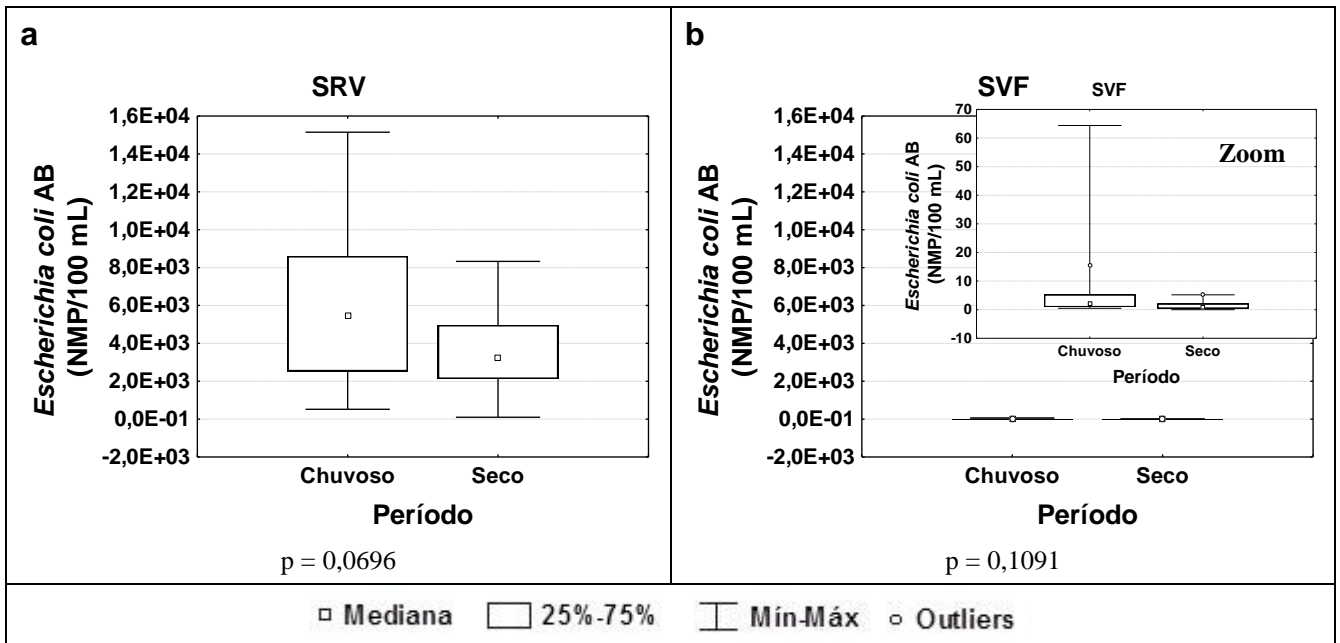


**Figura 6.10** – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF).





**Figura 6.11** – Gráficos box-whisker de comparação entre os valores de turbidez nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF).



**Figura 6.12** – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de *Escherichia coli* nos períodos chuvoso e seco para os Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF).

Como já era esperado, o valor mediano para a turbidez da água do rio das Velhas (Figura 6.11a) no período chuvoso foi significativamente superior ao valor verificado para o período

seco. Tal fato pode ser explicado pelo maior carreamento de partículas sólidas durante as chuvas, fenômeno que é acentuado principalmente em ambientes sem cobertura vegetal ou cujo solo foi impermeabilizado (o que acelera a velocidade de escoamento superficial da água). Vale ressaltar que, além do aumento da turbidez, tudo isso contribui para o assoreamento dos cursos d'água. Já para o SVF não houve diferença significativa entre os valores de turbidez nos períodos chuvoso e seco (Figura 6.11b). Isso pode ser devido ao fato de o manancial ser uma represa e, portanto, há sedimentação prévia das partículas antes de chegarem ao ponto de captação, o que atenua os picos de turbidez.

Já para as concentrações de *E. coli*, as expectativas foram contrariadas, uma vez que os testes estatísticos revelaram ausência de diferença significativa ao compararem as concentrações nos períodos seco e chuvoso para ambos os sistemas (Figura 6.12a e Figura 6.12b). Era esperado que sua concentração fosse significativamente inferior no período chuvoso, principalmente no rio das Velhas, baseando-se no raciocínio de que o aumento da vazão promove a diluição dos poluentes. Todavia, a concentração mediana foi maior no período chuvoso do que no seco (apesar da ausência de diferença estatisticamente significativa), em ambos os sistemas. Apesar do efeito da diluição citado anteriormente, com as chuvas também ocorre maior carreamento de carga poluidora para os cursos d'água, principalmente nas primeiras horas de precipitação, como é explicado por Brites e Gastaldini (2005), que avaliaram as concentrações de coliformes termotolerantes na bacia hidrográfica de Cancela, localizada em Santa Maria-RS. Segundo esses autores, as redes de drenagem urbana veiculam elevadas cargas de poluentes aos cursos de água, sendo uma das principais fontes de degradação dos mesmos. Com o escoamento superficial em áreas urbanas, os poluentes depositados de maneira esparsa sobre a área contribuinte da bacia hidrográfica são arrastados para o curso d'água, caracterizando um dos exemplos de poluição difusa. A intensidade dessa poluição dependerá, dentre outros fatores, do tipo de ocupação e uso do solo na bacia de drenagem e da duração do período de estiagem (BRITES; GASTALDINI, 2005).

A respeito dos protozoários, suas concentrações medianas aumentaram no período chuvoso no SRV (Figura 6.8a e Figura 6.9a), assim como os percentis 75% e 25% foram maiores nesta época do que no período seco (apesar da ausência de diferença significativa revelada pelos testes estatísticos). Além da maior turbulência da água, na época das chuvas também ocorre maior carreamento de fezes de animais ao curso d'água, contribuindo assim para o aumento das concentrações dos micro-organismos patogênicos, mas principalmente nas primeiras precipitações. Logo, a mesma explicação para o que ocorreu com as concentrações de *E. coli*

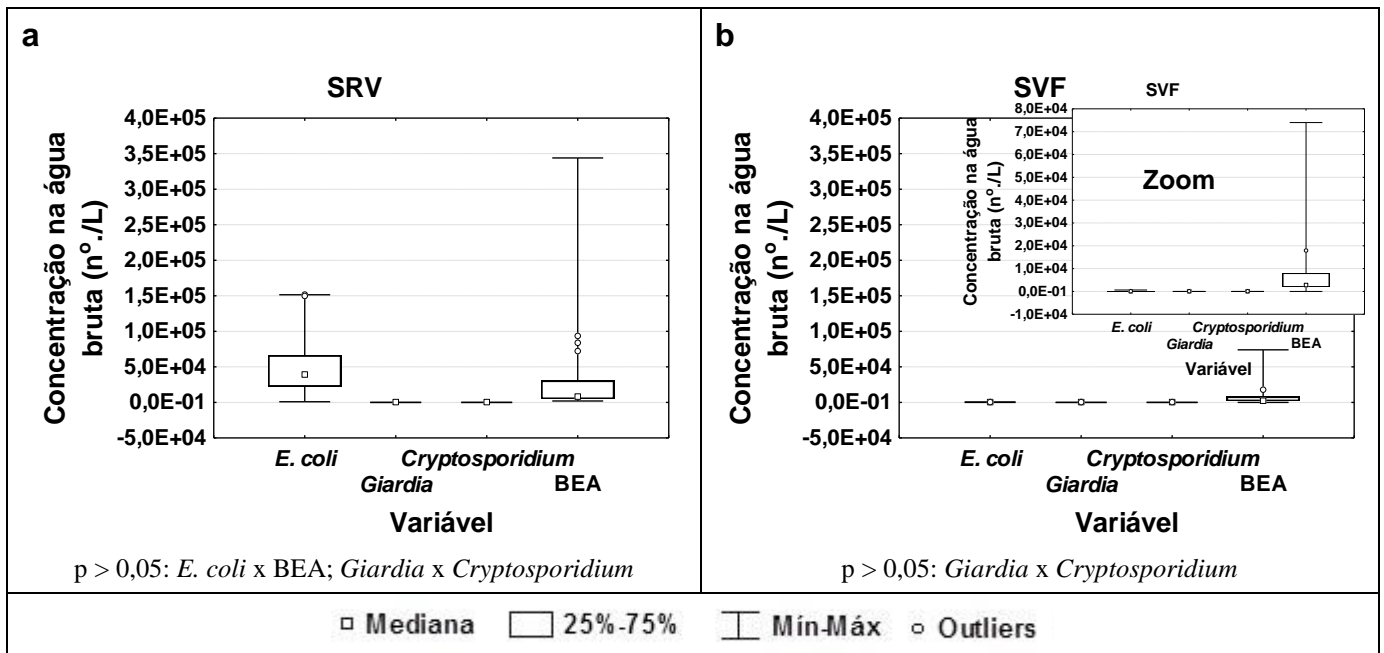
se aplica aqui (BRITES; GASTALDINI, 2005). No SVF, foram encontradas pequenas e próximas concentrações nos períodos chuvoso e seco tanto de *Cryptosporidium* spp. (Figura 6.8b) quanto de *Giardia* spp. (Figura 6.9b), por isso a ausência de diferença estatisticamente significativa.

Com relação às concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias, observa-se o mesmo comportamento da turbidez. Apenas para o SRV (Figura 6.10a) houve diferença estatisticamente significativa entre os períodos chuvoso e seco, sendo que no período chuvoso as concentrações foram superiores, o que pode ser explicado, novamente, pelo maior carregamento de partículas do solo (onde as bactérias esporogênicas aeróbias também estão presentes) ocasionadas nesse período. Já no SVF (Figura 6.10b) não foi constatada diferença estatisticamente significativa, devido, provavelmente, à característica lântica do manancial e, portanto, sua menor susceptibilidade à sazonalidade.

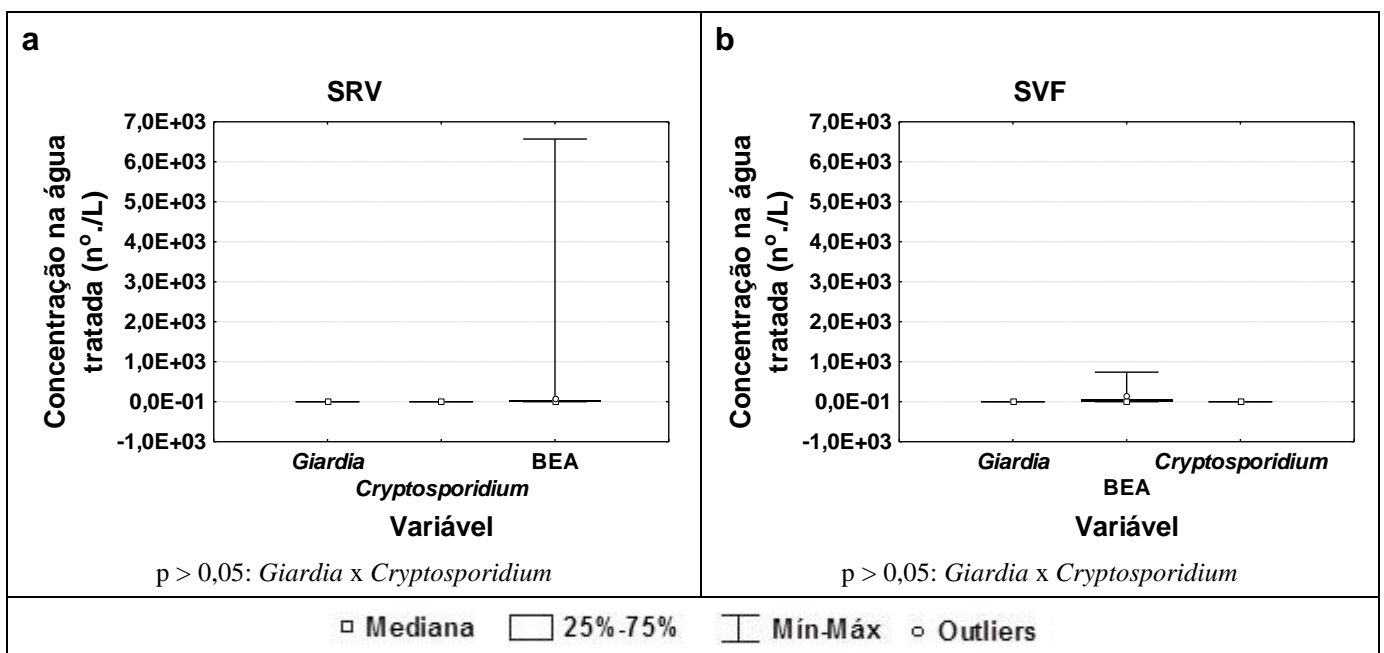
#### **6.1.4 Comparação entre as concentrações e remoções das variáveis para cada sistema de abastecimento de água**

Com o intuito de avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as concentrações nas águas bruta e tratada e as remoções das variáveis para cada sistema, realizou-se o teste de Kruskal-Wallis. Posteriormente foi aplicado o teste de comparações múltiplas de p valores, quando o primeiro teste apontava existência de diferença significativa entre as medianas e distribuições do conjunto de dados das variáveis (para avaliar entre quais pares de comparação havia diferença estatisticamente significativa), e elaboraram-se gráficos box-whisker para facilitar a visualização, conforme apresentado nas Figura 6.13, Figura 6.14 e Figura 6.15.

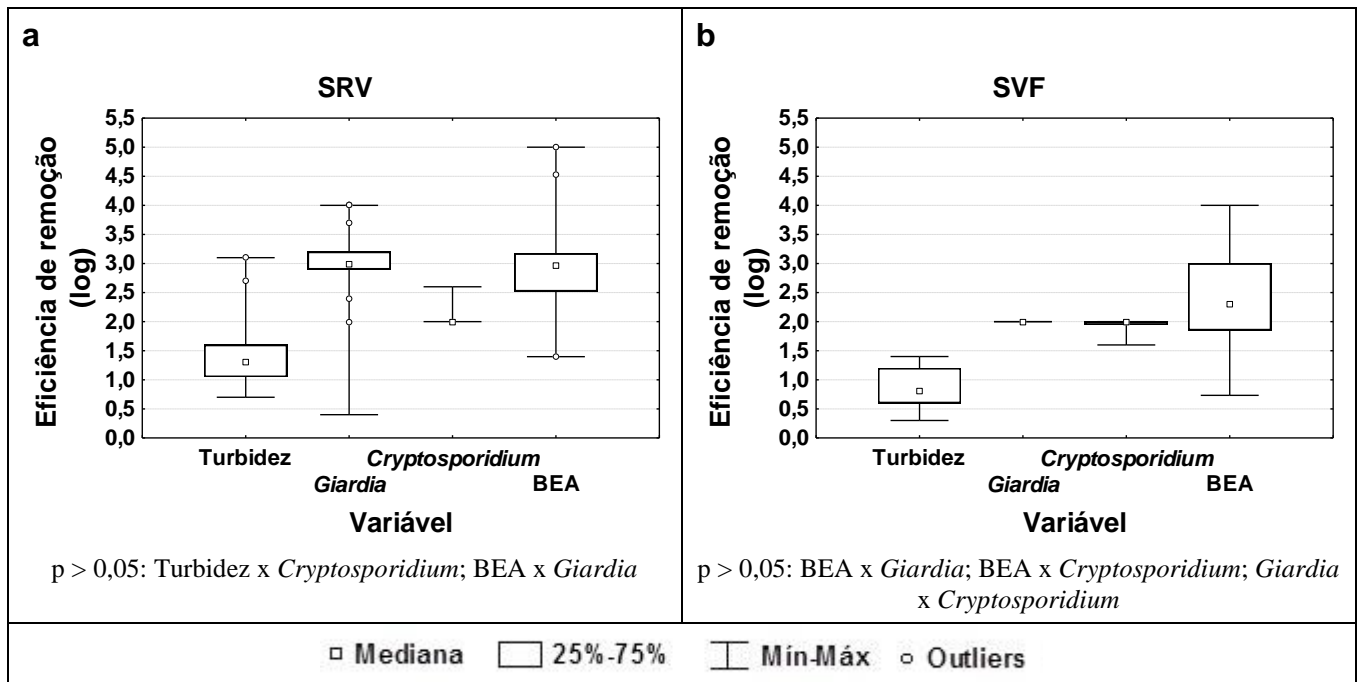
Atenta-se para o fato de que as comparações só são possíveis quando as variáveis encontram-se na mesma unidade (concentração ou log), portanto, na água bruta foi feita a análise somente de todos os micro-organismos, sendo que a concentração da *E. coli* foi primeiramente transformada para n<sup>o</sup>/L; na água tratada não foi incluída a *E. coli*, pois esta não foi avaliada nessas amostras; e em relação às eficiências de remoção a turbidez pôde ser acrescentada já que, agora sim, estava na mesma unidade que as outras variáveis.



**Figura 6.13** – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de *Escherichia coli*, *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp. e bactérias esporogênicas aeróbias (BEA) na água bruta dos Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF).



**Figura 6.14** – Gráficos box-whisker de comparação entre as concentrações de *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp. e bactérias esporogênicas aeróbias (BEA) na água tratada dos Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF).



**Figura 6.15** – Gráficos box-whisker de comparação entre as eficiências de remoção de turbidez, *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp. e bactérias esporogênicas aeróbias (BEA) nos Sistemas (a) Rio das Velhas (SRV) e (b) Vargem das Flores (SVF).

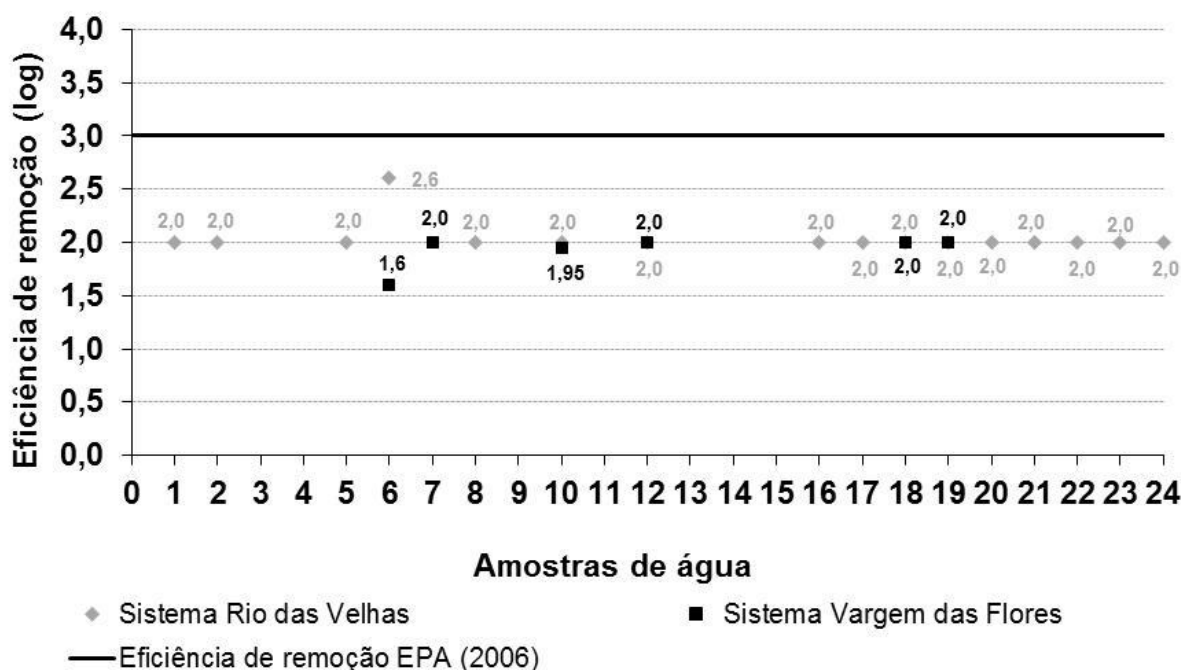
Nas Figura 6.13 e Figura 6.14, observa-se que, tanto para a água bruta quanto para a água tratada, para ambos os sistemas analisados, não houve diferença estatisticamente significativa entre as concentrações de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. (valor de p maior que 0,05 para este par), pois ambos os protozoários estavam presentes em concentrações próximas. No SRV, também não houve diferença significativa entre as concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e *Escherichia coli* na água bruta, pois ambas as variáveis foram encontradas em grandes quantidades no rio das Velhas. A existência de diferença estatisticamente significativa entre as bactérias esporogênicas aeróbias e os protozoários, tanto na água bruta quanto na água tratada, provavelmente ocorreu porque as bactérias esporogênicas aeróbias estiveram, geralmente, presentes em maiores concentrações e com maior variabilidade.

Já em relação às eficiências de remoção em unidades logarítmicas, Figura 6.15, apenas houve diferença estatisticamente significativa entre *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. no SRV e entre a turbidez e todas as outras variáveis, em ambos os sistemas (exceto entre turbidez e *Cryptosporidium* spp. no SRV). Além disso, percebe-se que a remoção de turbidez foi sempre inferior a dos micro-organismos, o que aponta para o fato de que a otimização da remoção

desse indicador pode promover melhoria na remoção dos organismos avaliados. A remoção de bactérias esporogênicas aeróbias demonstrou ser semelhante e muitas vezes superior a dos protozoários em ambos os sistemas avaliados, porém, vale ressaltar que essa variável apresentou concentrações muito superiores na água bruta e concentrações menos elevadas na água tratada, justificando os altos valores de remoção; o que não ocorreu com *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., pois as concentrações de (oo)cistos foram, em geral, baixas tanto na água bruta quanto na água tratada, justificando os baixos valores de eficiências de remoção. Ao contrário desta pesquisa, alguns estudos (RICE *et al.*, 1996; DUGAN *et al.*, 2001; CORNWELL *et al.*, 2003; MAZOUA; CHAUVEHEID, 2005) demonstram que a remoção de bactérias esporogênicas aeróbias é, em geral, inferior a de protozoários, corroborando a teoria de que tais bactérias são indicadores conservadores da remoção de *Cryptosporidium* e *Giardia*.

## 6.2 Comparação das eficiências de remoção de *Cryptosporidium* spp. com o valor estabelecido pela LT2ESWTR

Os sistemas obtiveram, em todas as análises em que foi possível o cálculo, eficiências de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. inferiores à estabelecida pela regulamentação norte-americana LT2ESWTR, que é de 3,0 log para o ciclo completo (EPA, 2006), como observado na Figura 6.16.



**Figura 6.16** – Comparação das eficiências de remoção de *Cryptosporidium* spp. dos sistemas de abastecimento de água avaliados com o valor estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (2006).

No SRV, somente em uma amostra foi obtida eficiência próxima (com valor de 2,6 log), enquanto nas outras quinze as eficiências foram de 2,0 log. Já no SVF em duas amostras foram obtidas eficiências de 1,6 log e 1,95 log, respectivamente, enquanto nas quatro amostras restantes foram alcançadas remoções de 2,0 log.

### 6.3 Cálculo de crédito por demonstração de desempenho (DOP)

Para o cálculo dos créditos atribuídos à demonstração de desempenho (DOP), através da Equação 5.2, utilizaram-se os resultados de bactérias esporogênicas aeróbias, de acordo com o indicado por Brown e Cornwell (2007) e pela LT2ESWTR (EPA, 2006). Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4** – Créditos em log adquiridos pelo DOP a partir das concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias nos Sistemas Rio das Velhas (SRV) e Vargem das Flores (SVF).

Sistema	Crédito log por DOP	
	Utilizando média	Utilizando mediana
SRV	2,3	2,9
SVF	1,9	2,5

Tais resultados indicam que os sistemas de abastecimento avaliados nesta pesquisa demonstraram capacidade de remoção de *Cryptosporidium* na ordem de 2,0 log. De acordo com a LT2ESWTR (EPA, 2006), os mananciais avaliados nessa pesquisa seriam classificados na categoria Bin 2 (já que as concentrações médias desse protozoário em ambos os sistemas estiveram entre 0,075 e 1,0 oocisto/L), portanto, os sistemas de abastecimento deveriam alcançar 1,0 log de remoção adicional do protozoário, além do tratamento convencional. Ainda segundo EPA (2006), são creditados 3,0 log de remoção de *Cryptosporidium* ao tratamento convencional. Assim, os sistemas analisados deveriam alcançar remoção mínima de oocistos de *Cryptosporidium* spp. na ordem de 4,0 log. Dessa forma, considerando o acima exposto e o crédito em DOP calculado, ambos os sistemas devem adotar medidas adicionais (como proteção dos mananciais, redução da turbidez da água filtrada para 0,15 uT em 95% das amostras mensais, entre outras) que lhes forneça, no mínimo, mais 1,1 a 1,7 log (para o SRV) e 1,5 a 2,1 log (para o SVF) de remoção do micro-organismo, para atender aos requisitos da LT2ESWTR (EPA, 2006).

## 6.4 Análise das correlações entre os protozoários, bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez

Nessa seção, serão apresentados os resultados do teste de Spearman para a avaliação da correlação entre as concentrações na água bruta e tratada e eficiências de remoção de (oo)cistos e indicadores (bactérias esporogênicas aeróbias, turbidez e *E. coli*), em cada sistema de tratamento avaliado nesta pesquisa. As correlações foram consideradas estatisticamente significativas quando o valor de p foi menor que 0,05.

### 6.4.1 Correlações entre concentrações/valores na água bruta de oocistos de *Cryptosporidium* spp., cistos de *Giardia* spp., bactérias esporogênicas aeróbias, *Escherichia coli* e turbidez

Na Tabela 6.5, são apresentadas as matrizes de correlação de Spearman para as relações entre as concentrações na água bruta de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., respectivamente, em comparação com as concentrações de bactérias esporogênicas e *E. coli* e valores de turbidez para os Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores.

**Tabela 6.5** – Coeficientes de correlação de Spearman resultantes das comparações entre as concentrações de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. com as concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e *Escherichia coli* e valores de turbidez na água bruta dos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores.

Comparação		SRV			SVF		
Eixo x	Eixo y	N <sub>p</sub>	r <sub>s</sub>	p valor	N <sub>p</sub>	r <sub>s</sub>	p valor
Bactérias esporogênicas aeróbias (UFC/L)	<i>Cryptosporidium</i> spp. (oocistos/L)	24	0,1784	0,4042	24	0,1815	0,3960
Turbidez (uT)		24	-0,0953	0,6579	24	0,0343	0,8735
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)		24	-0,3837	0,0642	24	-0,3694	0,0756
Bactérias esporogênicas aeróbias (UFC/L)	<i>Giardia</i> spp. (cistos/L)	24	0,1388	0,5176	24	-0,0706	0,7432
Turbidez (uT)		24	-0,1035	0,6304	24	0,4272	0,0374
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)		24	-0,3783	0,0684	24	-0,3891	0,0602

**Legenda:** N<sub>p</sub> = número de pares comparados; r<sub>s</sub> = coeficiente de correlação de Spearman; SRV = Sistema Rio das Velhas; SVF = Sistema Vargem das Flores.

**Nota:** O valor da célula sombreada de cinza representa correlação estatisticamente significativa entre as variáveis.

Observa-se que apenas houve correlação estatisticamente significativa (positiva e moderada) entre as concentrações de *Giardia* spp. e os valores de turbidez na água bruta do Sistema Vargem das Flores, o que pode ser devido à maior facilidade de associação desse protozoário



a partículas responsáveis pela turbidez. Porém, observa-se, também, que as relações (negativas e moderadas) entre as concentrações de *E. coli* com as de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., em ambos os sistemas, poderiam ser consideradas estatisticamente significativas se o nível de significância subisse para 10% (pois os p valores desses pares foram inferiores a 0,1).

Na literatura, há afirmações controversas sobre as correlações entre protozoários patogênicos e indicadores físicos e biológicos. Lopes (2009) e Nieminski *et al.* (2010), por exemplo, encontraram correlação negativa e fraca entre as concentrações de *E. coli* e protozoários patogênicos em água bruta, concluindo que a *E. coli* (assim como a turbidez) não é um bom indicador de ocorrência de protozoários patogênicos. Por outro lado, apesar de também encontrarem correlações fracas entre protozoários e *E. coli*, Brookes *et al.* (2005) encontraram correlações significativas entre protozoários e turbidez, apontando-a como importante indicador de transporte e sedimentação de *Cryptosporidium* spp.

#### 6.4.2 Correlações entre concentrações/valores na água tratada de oocistos de *Cryptosporidium* spp., cistos de *Giardia* spp., bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez

Na Tabela 6.6 são apresentadas as matrizes de correlação de Spearman para as relações entre as concentrações na água tratada de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., respectivamente, em comparação com os valores de turbidez e as concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias para os Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores.

**Tabela 6.6** – Coeficientes de correlação de Spearman resultantes das comparações entre as concentrações de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. com as concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e valores de turbidez na água tratada dos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores.

Comparação		SRV			SVF		
Eixo x	Eixo y	N <sub>p</sub>	r <sub>s</sub>	p valor	N <sub>p</sub>	r <sub>s</sub>	p valor
Bactérias esporogênicas aeróbias (UFC/L)	<i>Cryptosporidium</i> spp. (oocistos/L)	24	0,0377	0,8613	24	0,1078	0,6162
Turbidez (uT)		24	-0,2277	0,2847	24	0,1125	0,6008
Bactérias esporogênicas aeróbias (UFC/L)	<i>Giardia</i> spp. (cistos/L)	24	-0,0877	0,6836	24	-	-
Turbidez (uT)		24	-0,1681	0,4324	24	-	-

**Legenda:** N<sub>p</sub> = número de pares comparados; r<sub>s</sub> = coeficiente de correlação de Spearman; SRV = Sistema Rio das Velhas; SVF = Sistema Vargem das Flores.

**Nota:** Valores não apresentados do SVF representam más condições numéricas para a estatística, devido à uniformidade dos resultados de concentração de *Giardia* spp. na água tratada.

Para nenhum dos sistemas houve correlação estatisticamente significativa entre os valores de turbidez e as concentrações dos protozoários, o que reforça ainda mais a ideia de que valores baixos de turbidez na água tratada não significam, necessariamente, que serão encontradas baixas concentrações de parasitos. E também não houve correlação estatisticamente significativa entre as concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água tratada de nenhum dos sistemas de abastecimento de água.

#### 6.4.3 Correlações entre as remoções de oocistos de *Cryptosporidium* spp., cistos de *Giardia* spp., bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez

Na Tabela 6.7, são apresentadas as matrizes de correlação de Spearman para as relações entre as eficiências de remoção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., respectivamente, em comparação com as eficiências de remoção de bactérias esporogênicas e turbidez para ambos os sistemas de abastecimento.

**Tabela 6.7** – Coeficientes de correlação de Spearman resultantes das comparações entre as eficiências de remoção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. com as eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez nos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores.

Comparação		SRV			SVF		
Eixo x	Eixo y	N <sub>p</sub>	r <sub>s</sub>	p valor	N <sub>p</sub>	r <sub>s</sub>	p valor
Bactérias esporogênicas aeróbias (log)	<i>Cryptosporidium</i> spp. (log)	16	0,3738	0,1538	6	0,2704	0,6042
Turbidez (log)		16	0,0566	0,8352	6	-0,4395	0,3832
Bactérias esporogênicas aeróbias (log)	<i>Giardia</i> spp. (log)	23	0,2011	0,3575	7	-	-
Turbidez (log)		23	0,0213	0,9231	7	-	-

**Legenda:** N<sub>p</sub> = número de pares comparados; r<sub>s</sub> = coeficiente de correlação de Spearman; SRV = Sistema Rio das Velhas; SVF = Sistema Vargem das Flores.

**Nota:** Valores não apresentados do SVF representam más condições numéricas para a estatística, devido à uniformidade dos resultados de remoção de *Giardia* spp.

Apesar de nenhuma das correlações ter sido estatisticamente significativa, observa-se que no SRV os valores de r<sub>s</sub> para os pares *Cryptosporidium* spp. x bactérias esporogênicas aeróbias e *Giardia* spp. x bactérias esporogênicas aeróbias foram, aproximadamente, 7 a 10 vezes superiores àqueles obtidos para os pares protozoários x turbidez, indicando tendência de melhor aplicabilidade das bactérias esporogênicas aeróbias, em detrimento da turbidez, como

indicadores da remoção de protozoários patogênicos em sistemas de abastecimento de água. Porém, esta é uma conclusão apenas ilustrativa e restrita aos dados avaliados.

## 6.5 Predição das concentrações dos protozoários através das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez

### 6.5.1 Cálculo das concentrações esperadas de protozoários na água tratada a partir das remoções de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez acrescidas de 1,0 log

Foram calculadas as concentrações esperadas de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. na água tratada de ambos os sistemas de abastecimento de água a partir das remoções de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez acrescidas de 1,0 log. Nas Tabela 6.8 e Tabela 6.9 estão apresentados os resultados esperados e a comparação com os dados observados.

**Tabela 6.8** – Cálculo das concentrações esperadas de oocistos de *Cryptosporidium* spp. na água tratada a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez.

Sistema	Log <sub>r</sub> BEA + 1	Log <sub>r</sub> T + 1	Crypto AB (oocistos/L)	Crypto <sub>e</sub> por log <sub>r</sub> BEA (oocistos/L)	Crypto <sub>e</sub> por log <sub>r</sub> T (oocistos/L)	Crypto observado (oocistos/L)
SRV	4,5	4,1	0,3	0,000	0,000	0,000
SRV	2,9	3,0	0,2	0,000	0,000	0,000
SRV	4,9	3,0	0,3	0,000	0,000	0,000
SVF	1,9	2,3	1,4	0,018	0,007	0,032
SRV	5,5	2,4	2,5	0,000	0,010	0,006
SVF	5,0	1,4	0,2	0,000	0,008	0,000
SRV	4,0	2,3	0,3	0,000	0,002	0,000
SVF	3,7	1,8	0,3	0,000	0,005	0,003
SRV	5,0	3,2	0,1	0,000	0,000	0,000
SVF	1,7	1,3	0,3	0,006	0,015	0,000
SRV	6,0	2,0	0,2	0,000	0,002	0,000
SRV	4,0	2,6	0,2	0,000	0,001	0,000
SRV	4,0	2,0	0,2	0,000	0,002	0,000
SRV	4,0	2,2	0,3	0,000	0,002	0,000
SVF	4,0	1,7	0,1	0,000	0,002	0,000
SVF	3,1	2,4	0,1	0,000	0,000	0,000
SRV	2,6	2,0	0,3	0,001	0,003	0,000
SRV	3,2	2,0	0,2	0,000	0,002	0,000
SRV	4,0	1,7	0,1	0,000	0,002	0,000
SRV	2,4	2,3	0,3	0,001	0,002	0,000
SRV	4,0	2,4	0,4	0,000	0,002	0,000
SRV	3,6	3,3	0,4	0,000	0,000	0,000

**Legenda:** AB = água bruta; BEA = bactérias esporogênicas aeróbias; Crypto<sub>e</sub> = concentração esperada de oocistos de *Cryptosporidium* spp.; log<sub>r</sub> = eficiência de remoção, em unidades logarítmicas; SRV = Sistema Rio das Velhas; SVF = Sistema Vargem das Flores; T = turbidez.

**Tabela 6.9** – Cálculo das concentrações esperadas de cistos de *Giardia* spp. na água tratada a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez.

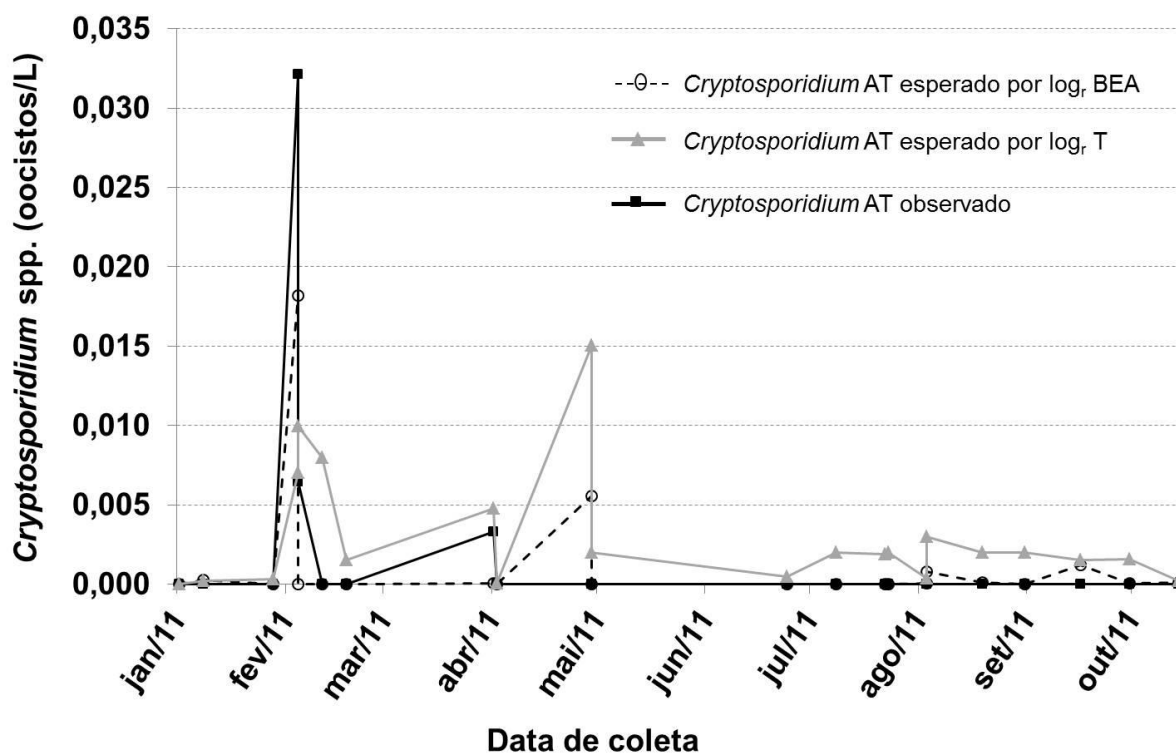
Sistema	Log <sub>r</sub> BEA + 1	Log <sub>r</sub> T + 1	<i>Giardia</i> AB (cistos/L)	<i>Giardia</i> <sub>e</sub> por log <sub>r</sub> BEA (cistos/L)	<i>Giardia</i> <sub>e</sub> por log <sub>r</sub> T (cistos/L)	<i>Giardia</i> encontrada (cistos/L)
SRV	4,5	4,1	0,7	0,000	0,000	0,000
SRV	2,9	3,0	4,7	0,007	0,005	0,000
SVF	3,5	2,3	0,1	0,000	0,001	0,000
SRV	3,7	2,1	5,0	0,001	0,040	0,000
SRV	3,7	3,0	0,1	0,000	0,000	0,040
SRV	4,9	3,0	10,3	0,000	0,010	0,000
SVF	1,9	2,3	0,3	0,004	0,002	0,000
SRV	5,5	2,4	15,5	0,000	0,062	0,000
SRV	4,0	3,0	3,5	0,000	0,004	0,000
SVF	3,0	1,4	0,1	0,000	0,004	0,000
SRV	4,0	2,3	7,0	0,001	0,035	0,009
SRV	3,5	2,5	3,2	0,001	0,010	0,012
SRV	5,0	3,2	7,1	0,000	0,004	0,000
SVF	4,0	1,8	0,3	0,000	0,005	0,000
SRV	3,5	2,2	3,1	0,001	0,020	0,000
SVF	1,7	1,3	0,1	0,002	0,005	0,000
SRV	6,0	2,0	18,0	0,000	0,180	0,000
SVF	3,0	1,6	0,1	0,000	0,003	0,000
SRV	4,4	2,1	1,2	0,000	0,010	0,000
SRV	3,4	2,6	1,0	0,000	0,003	0,000
SRV	4,0	2,6	2,3	0,000	0,006	0,000
SRV	4,0	2,0	9,0	0,001	0,090	0,000
SRV	4,0	2,2	4,6	0,000	0,029	0,013
SVF	3,1	2,4	0,2	0,000	0,001	0,000
SRV	2,6	2,0	8,3	0,022	0,083	0,000
SRV	3,2	2,0	8,4	0,006	0,084	0,011
SRV	4,0	1,7	4,2	0,000	0,084	0,013
SVF	-	1,7	0,1	-	0,002	0,000
SRV	2,4	2,3	12,1	0,048	0,061	0,007
SRV	4,0	2,4	13,4	0,001	0,053	0,009
SRV	3,6	3,3	17,7	0,005	0,009	0,003

**Legenda:** AB = água bruta; BEA = bactérias esporogênicas aeróbias; *Giardia*<sub>e</sub> = concentração esperada de cistos de *Giardia* spp.; log<sub>r</sub> = eficiência de remoção, em unidades logarítmicas; SRV = Sistema Rio das Velhas; SVF = Sistema Vargem das Flores; T = turbidez.

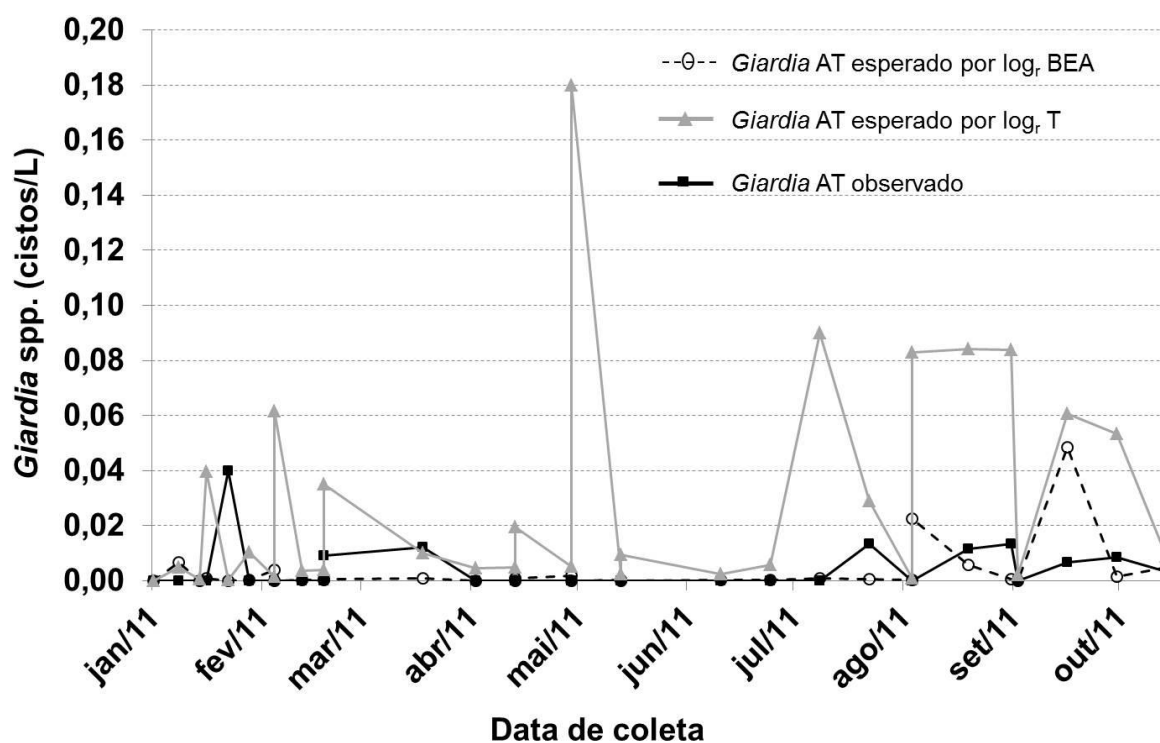
As concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. encontradas nas análises de água tratada não diferiram significativamente (pois o valor de p foi igual a 0,84 para *Cryptosporidium* e 0,73 para *Giardia* nos testes de Mann-Whitney) daquelas calculadas a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias, enquanto a partir das eficiências de remoção de turbidez as concentrações calculadas diferiram significativamente (pois o valor de p foi menor que 0,05 para *Cryptosporidium* e *Giardia* nos testes de Mann-Whitney) das concentrações encontradas para os protozoários. Portanto, os resultados obtidos indicam a maior potencialidade do emprego das bactérias esporogênicas como indicadoras da eficiência de ETAs na remoção de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e

*Giardia* spp. Mazoua e Chauveheid (2005) também concluíram que as bactérias esporogênicas são importantes variáveis na avaliação da remoção de *Cryptosporidium* e *Giardia*.

Foram elaborados gráficos de linhas para comparação das concentrações esperadas e observadas de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. para facilitar a visualização e compreensão da maior correspondência dessas concentrações quando se utiliza as eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias. Nas Figura 6.17 e Figura 6.18 são apresentados esses gráficos.



**Figura 6.17** – Comparação das concentrações esperadas a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias ( $\log_r$  BEA) e de turbidez ( $\log_r$  T) com as concentrações observadas de oocistos de *Cryptosporidium* spp. na água tratada (AT).

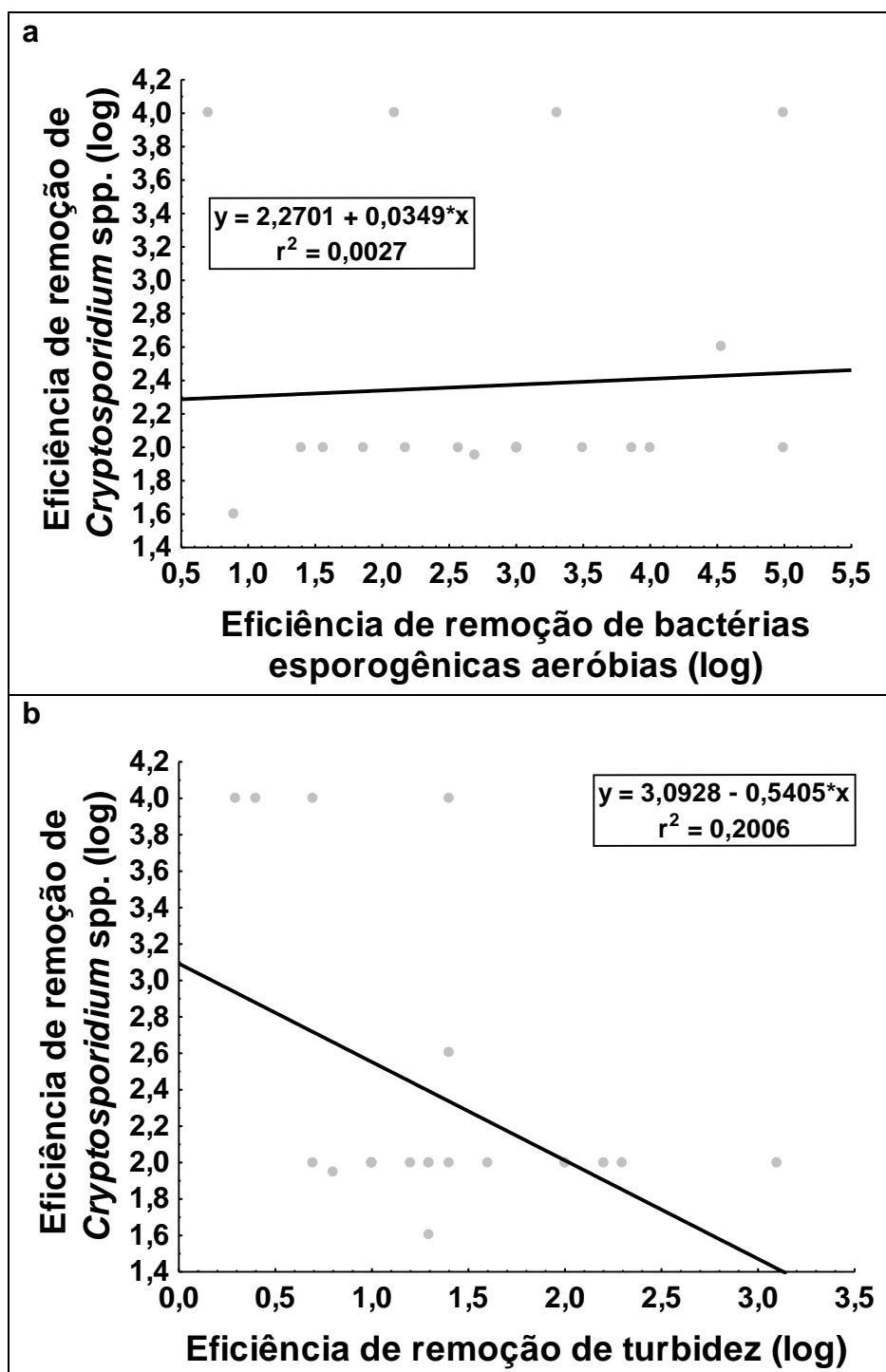


**Figura 6.18** – Comparação das concentrações esperadas a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias ( $\log_r$  BEA) e de turbidez ( $\log_r$  T) com as concentrações observadas de cistos de *Giardia* spp. na água tratada (AT).

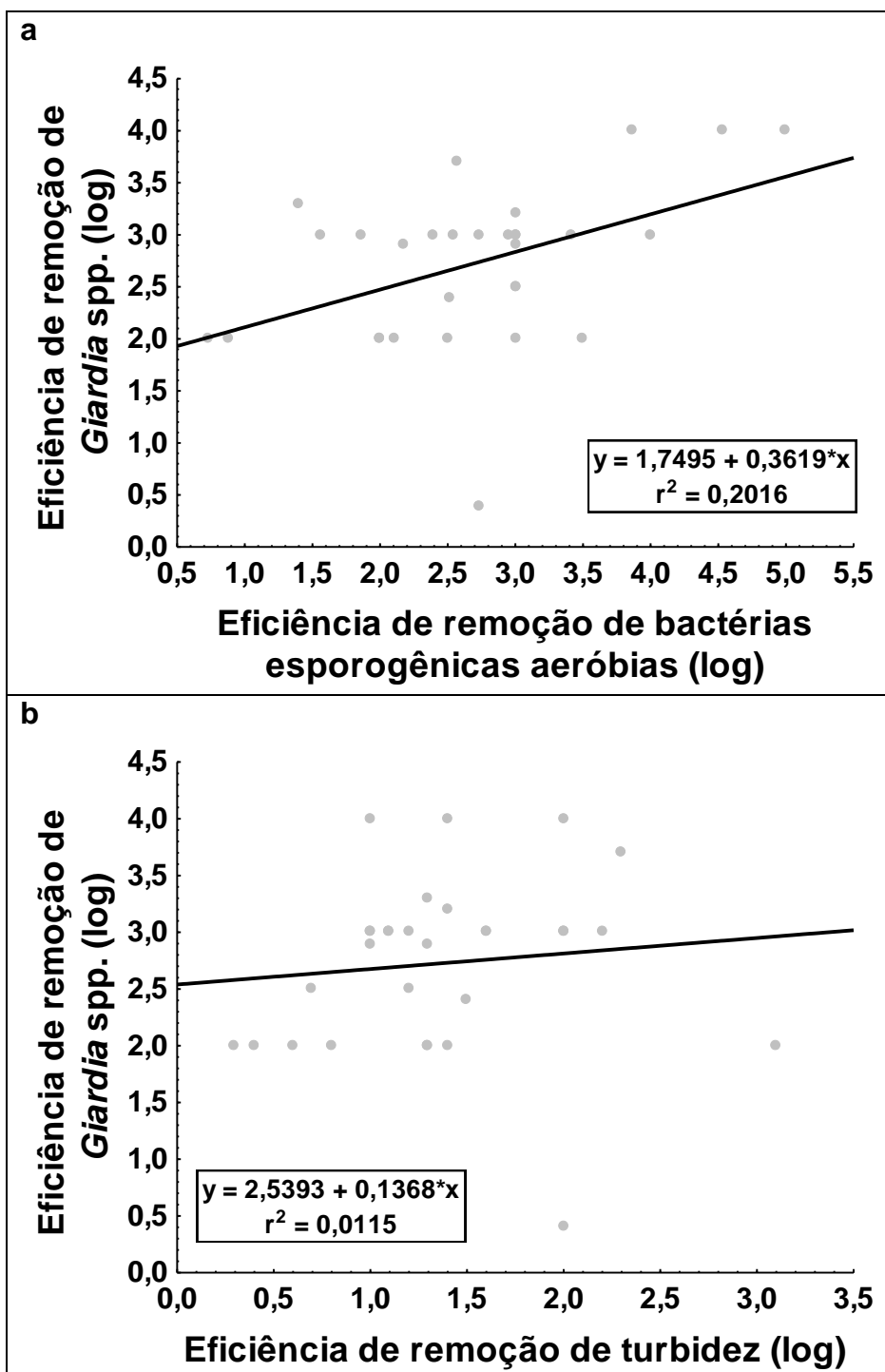
Vale ressaltar que uma análise para detecção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. utilizando-se o Método 1623 da EPA (EPA, 2005), com todos os equipamentos já instalados, custa, em média, de R\$800,00 a R\$1.200,00, e necessita de cerca de oito a doze horas de trabalho para alcançar o resultado final. Já para a quantificação de bactérias esporogênicas, o custo de uma análise é de cerca de R\$25,00 e necessita apenas de três a quatro horas de trabalho laboratorial, apesar de precisar de 24 horas de incubação para leitura. Mesmo assim, sua metodologia de identificação e quantificação é mais fácil e simples de se realizar. Assim, torna-se vantajosa a utilização de bactérias esporogênicas aeróbias como variáveis auxiliares no estudo de remoção de protozoários.

### 6.5.2 Cálculo das concentrações esperadas de protozoários na água tratada a partir das equações de regressão

Inicialmente, foram elaborados gráficos de dispersão, conforme apresentado nas Figura 6.19 e Figura 6.20, com cálculo das equações de regressão, entre as eficiências de remoção dos protozoários e as eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez.



**Figura 6.19** – Gráficos de dispersão entre as eficiências de remoção de *Cryptosporidium* spp. e as eficiências de remoção de (a) bactérias esporogênicas aeróbias e (b) turbidez e suas respectivas equações de regressão.



**Figura 6.20** – Gráficos de dispersão entre as eficiências de remoção de *Giardia* spp. e as eficiências de remoção de (a) bactérias esporogênicas aeróbias e (b) turbidez e suas respectivas equações de regressão.



Através da análise dos gráficos, observa-se que a relação dos protozoários com as bactérias esporogênicas aeróbias é positiva, enquanto a relação de *Cryptosporidium* spp. com a turbidez é negativa, indicando, mais uma vez, a maior tendência das bactérias esporogênicas aeróbias como indicadoras mais eficientes da remoção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. Além disso, observa-se que os coeficientes de correlação para todas as análises foram baixos. Porém, como também já ressaltado, tais observações restringem-se ao conjunto de dados analisados e aos sistemas avaliados, em contrapartida, não deixam de ser conclusões importantes e relevantes que vêm somar a observações realizadas por diversos outros autores.

De posse das equações de regressão, foram feitos os cálculos das concentrações esperadas de protozoários na água tratada a partir das remoções de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez. Os resultados desses cálculos estão apresentados nas Tabela 6.10 e Tabela 6.11.

**Tabela 6.10** – Cálculo das concentrações esperadas de oocistos de *Cryptosporidium* spp. na água tratada a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez utilizando equações de regressão das relações entre as variáveis.

Log <sub>r</sub> BEA	Log <sub>r</sub> T	Log <sub>r</sub> Crypto por log <sub>r</sub> BEA	Log <sub>r</sub> Crypto por log <sub>r</sub> T	Crypto AB (oocistos/L)	Crypto <sub>e</sub> por log <sub>r</sub> BEA (oocistos/L)	Crypto <sub>e</sub> por log <sub>r</sub> T (oocistos/L)	Crypto encontrado (oocistos/L)
3,5	3,1	2,4	1,4	0,3	0,001	0,013	0,000
1,9	2,0	2,3	2,0	0,2	0,001	0,002	0,000
3,9	2,0	2,4	2,0	0,3	0,001	0,003	0,000
0,9	1,3	2,3	2,4	1,4	0,007	0,006	0,032
4,5	1,4	2,4	2,3	2,5	0,009	0,012	0,006
4,0	0,4	2,4	2,9	0,2	0,001	0,000	0,000
3,0	1,3	2,4	2,4	0,3	0,001	0,001	0,000
2,7	0,8	2,4	2,7	0,3	0,001	0,001	0,003
4,0	2,2	2,4	1,9	0,1	0,000	0,001	0,000
0,7	0,3	2,3	2,9	0,3	0,002	0,000	0,000
5,0	1,0	2,4	2,6	0,2	0,001	0,001	0,000
3,0	1,6	2,4	2,2	0,2	0,001	0,001	0,000
3,0	1,0	2,4	2,6	0,2	0,001	0,001	0,000
3,0	1,2	2,4	2,4	0,3	0,001	0,001	0,000
3,0	0,7	2,4	2,7	0,1	0,000	0,000	0,000
2,1	1,4	2,3	2,3	0,1	0,000	0,000	0,000
1,6	1,0	2,3	2,6	0,3	0,001	0,001	0,000
2,2	1,0	2,3	2,6	0,2	0,001	0,001	0,000
3,0	0,7	2,4	2,7	0,1	0,000	0,000	0,000
1,4	1,3	2,3	2,4	0,3	0,001	0,001	0,000
3,0	1,4	2,4	2,3	0,4	0,002	0,002	0,000
2,6	2,3	2,4	1,8	0,4	0,002	0,006	0,000

**Legenda:** AB = água bruta; BEA = bactérias esporogênicas aeróbias; Crypto<sub>e</sub> = concentração esperada de oocistos de *Cryptosporidium* spp.; log<sub>r</sub> = eficiência de remoção, em unidades logarítmicas; T = turbidez.

**Tabela 6.11** – Cálculo das concentrações esperadas de cistos de *Giardia* spp. na água tratada a partir das eficiências de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez utilizando equações de regressão das relações entre as variáveis.

Log <sub>r</sub> BEA	Log <sub>r</sub> T	Log <sub>r</sub> <i>Giardia</i> por log <sub>r</sub> BEA	Log <sub>r</sub> <i>Giardia</i> por log <sub>r</sub> T	<i>Giardia</i> AB (cistos/L)	<i>Giardia</i> <sub>e</sub> por log <sub>r</sub> BEA (cistos/L)	<i>Giardia</i> <sub>e</sub> por log <sub>r</sub> T (cistos/L)	<i>Giardia</i> encontrada (cistos/L)
3,5	3,1	3,0	3,0	0,7	0,001	0,001	0,000
1,9	2,0	2,4	2,8	4,7	0,018	0,007	0,000
2,5	1,3	2,7	2,7	0,1	0,000	0,000	0,000
2,7	1,1	2,7	2,7	5,0	0,009	0,010	0,000
2,7	2,0	2,7	2,8	0,1	0,000	0,000	0,040
3,9	2,0	3,1	2,8	10,3	0,007	0,016	0,000
0,9	1,3	2,1	2,7	0,3	0,003	0,001	0,000
4,5	1,4	3,4	2,7	15,5	0,006	0,029	0,000
3,0	2,0	2,8	2,8	3,5	0,005	0,005	0,000
2,0	0,4	2,5	2,6	0,1	0,000	0,000	0,000
3,0	1,3	2,8	2,7	7,0	0,010	0,013	0,009
2,5	1,5	2,7	2,7	3,2	0,007	0,006	0,012
4,0	2,2	3,2	2,8	7,1	0,005	0,010	0,000
3,0	0,8	2,8	2,6	0,3	0,000	0,001	0,000
2,5	1,2	2,7	2,7	3,1	0,007	0,006	0,000
0,7	0,3	2,0	2,6	0,1	0,001	0,000	0,000
5,0	1,0	3,6	2,7	18,0	0,005	0,038	0,000
2,0	0,6	2,5	2,6	0,1	0,000	0,000	0,000
3,4	1,1	3,0	2,7	1,2	0,001	0,002	0,000
2,4	1,6	2,6	2,8	1,0	0,002	0,002	0,000
3,0	1,6	2,8	2,8	2,3	0,003	0,004	0,000
3,0	1,0	2,8	2,7	9,0	0,013	0,019	0,000
3,0	1,2	2,8	2,7	4,6	0,007	0,009	0,013
2,1	1,4	2,5	2,7	0,2	0,001	0,000	0,000
1,6	1,0	2,3	2,7	8,3	0,040	0,017	0,000
2,2	1,0	2,5	2,7	8,4	0,024	0,018	0,011
3,0	0,7	2,8	2,6	4,2	0,006	0,010	0,013
-	0,7	-	2,6	0,1	-	0,000	0,000
1,4	1,3	2,3	2,7	12,1	0,067	0,023	0,007
3,0	1,4	2,8	2,7	13,4	0,020	0,025	0,009
2,6	2,3	2,7	2,9	17,7	0,037	0,025	0,003

**Legenda:** AB = água bruta; BEA = bactérias esporogênicas aeróbias; *Giardia*<sub>e</sub> = concentração esperada de cistos de *Giardia* spp.; log<sub>r</sub> = eficiência de remoção, em unidades logarítmicas; T = turbidez.

As concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. encontradas nas análises de água tratada diferiram significativamente (pois valor de p foi menor que 0,05 tanto para *Cryptosporidium* quanto para *Giardia* nos testes de Mann-Whitney) daquelas calculadas a partir das eficiências de remoção tanto de bactérias esporogênicas aeróbias quanto de turbidez. Portanto, o uso de equações de regressão pode não ser uma estratégia adequada para estimar as concentrações de protozoários na água tratada a partir de remoções de indicadores.

## 6.6 Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico nos sistemas de abastecimento de água avaliados

Para realização da avaliação do risco associado à ocorrência de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. nos sistemas de abastecimento de água considerados, calcularam-se as probabilidades de infecção diária e anual (aplicando-se as Equações 5.3 e 5.4 – Seção 5.4.5) para cada um desses protozoários a partir da concentração média encontrada na água tratada (Tabela 6.12) e também a partir da concentração média encontrada na água bruta e das remoções obtidas nos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores (Tabela 6.13).

**Tabela 6.12** – Cálculo das probabilidades de infecção diária e anual pelos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. nos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores, a partir das concentrações médias na água tratada obtidas para estes micro-organismos.

Sistema	Micro-organismo	Concentração média na AT	N	r	P <sub>I</sub> diária	P <sub>I</sub> anual
SRV	<i>Cryptosporidium</i> spp.	0,001 oocisto/L	0,002	0,004	$8,0 \times 10^{-6}$	$2,9 \times 10^{-3}$
	<i>Giardia</i> spp.	0,005 cisto/L	0,01	0,02	$2,0 \times 10^{-4}$	$7,0 \times 10^{-2}$
SVF	<i>Cryptosporidium</i> spp.	0,001 oocisto/L	0,002	0,004	$8,0 \times 10^{-6}$	$2,9 \times 10^{-3}$
	<i>Giardia</i> spp.	0 cisto/L	0	0,02	$0,0 \times 10^0$	$0,0 \times 10^0$

**Legenda:** N = dose (3ª. coluna x 2); P<sub>I</sub> = probabilidade de infecção; r = coeficiente de dose-resposta, SRV = Sistema Rio das Velhas; SVF = Sistema Vargem das Flores.

Observa-se que as probabilidades de infecção para *Cryptosporidium* spp. foram idênticas para os dois sistemas de abastecimento avaliados, uma vez que as concentrações médias na água tratada foram iguais. Já em relação à *Giardia* spp., as probabilidades de infecção foram nulas para o SVF porque a concentração média na água tratada desse sistema foi 0 cisto/L (mas deve-se levar em conta as limitações do método de quantificação). Por isso, nesse sistema, os riscos de infecção para *Cryptosporidium* foram superiores ao calculado para *Giardia*. No SRV, assim como também observado por Ryu e Abbaszadegan (2008) nas águas do Arizona, o risco de infecção para *Giardia* foi superior àquele encontrado para *Cryptosporidium*, pois a concentração média na água tratada de *Giardia* spp. foi maior que de *Cryptosporidium* spp..

Para ambos os sistemas, o risco de infecção anual calculado foi superior àquele aceito pela norma estadunidense (EPA, 2006), que é de  $10^{-4}$  (1 caso de infecção a cada 10.000 pessoas expostas por ano), em contrapartida, é próximo, e em alguns casos até inferior, ao risco aceitável no Canadá (CANADÁ, 2010), que adota o mesmo limite da OMS (WHO, 2011), que é de  $10^{-3}$  (1 caso de infecção a cada 1.000 pessoas expostas por ano).

Com intuito de comparação, também foi realizado o cálculo de probabilidades de infecção a partir das concentrações dos protozoários encontradas na água bruta dos dois sistemas de

abastecimento, aplicando as remoções médias encontradas para estimar a concentração final ingerida. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.13.

**Tabela 6.13** – Cálculo das probabilidades de infecção diária e anual pelos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. nos Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores, a partir das concentrações na água bruta e remoções médias obtidas para estes micro-organismos.

Sistema	Micro-organismo	Concentração média na AB	Remoção média (log)	Concentração final	N	r	P <sub>I</sub> diária	P <sub>I</sub> anual
SRV	<i>Cryptosporidium</i> spp.	0,3 oocisto/L	2,0	0,003	0,006	0,004	2,4x10 <sup>-5</sup>	8,7x10 <sup>-3</sup>
	<i>Giardia</i> spp.	6,7 cistos/L	2,9	0,008	0,017	0,02	3,4x10 <sup>-4</sup>	1,2x10 <sup>-1</sup>
SVF	<i>Cryptosporidium</i> spp.	0,1 oocisto/L	1,9	0,001	0,003	0,004	1,0x10 <sup>-5</sup>	3,7x10 <sup>-3</sup>
	<i>Giardia</i> spp.	0,1 cisto/L	2,0	0,001	0,002	0,02	4,0x10 <sup>-5</sup>	1,4x10 <sup>-2</sup>

**Legenda:** AB = água bruta; N = dose (5ª. coluna x 2); P<sub>I</sub> = probabilidade de infecção; r = coeficiente de dose-resposta, SRV = Sistema Rio das Velhas; SVF = Sistema Vargem das Flores.

**Nota:** O cálculo da concentração final se deu a partir de um rearranjo da Equação 5.1: valor água tratada = 10<sup>log</sup>[log(valor água bruta) – remoção média].

Observa-se que os valores de probabilidade de infecção obtidos a partir das concentrações reais de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água tratada foram menores que aqueles obtidos através da aplicação das remoções alcançadas pelos sistemas. Entretanto, é importante salientar que, em geral, nem sempre é técnica e economicamente viável realizar análises dos protozoários na água tratada. Portanto, também se pode considerar a aplicação das taxas de remoção conferidas pela LT2ESWTR (EPA, 2006) a cada tecnologia de tratamento ou o crédito em log adquirido pelo DOP ou até mesmo a média das concentrações esperadas dos protozoários a partir da eficiência de remoção de bactérias esporogênicas para se ter uma ideia da probabilidade de infecção estimada.

Vale ressaltar que também é importante obter informações sobre a viabilidade e a infecciosidade dos (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. para que seja realizada uma AQRM completa e, assim, conhecer melhor o risco que os sistemas de abastecimento apresentam para a população atendida.

## 7 CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- Os Sistemas Rio das Velhas e Vargem das Flores apresentaram baixas concentrações de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em comparação com outros estudos em mananciais dos mesmos tipos (lóticos e lênticos);
- Em geral, as concentrações de cistos de *Giardia* spp. foram superiores às de oocistos de *Cryptosporidium* spp. no rio das Velhas, como constatado em outros estudos, porém, na represa de Vargem das Flores ocorreu o contrário, o que pode ser devido à maior velocidade de sedimentação da *Giardia* spp.;
- Foram encontradas baixas concentrações e percentuais de ocorrência dos protozoários na água tratada dos dois sistemas de abastecimento avaliados: ND a 0,008 oocisto de *Cryptosporidium* spp./L (com 8,3% das amostras positivas) e ND a 0,04 cisto de *Giardia* spp./L (com 37,5% das amostras positivas), no SRV; ND a 0,032 oocisto de *Cryptosporidium* spp./L (com 8,3% das amostras positivas) e nenhum cisto de *Giardia* spp., no SVF;
- O rio das Velhas apresentou maiores concentrações de todas as variáveis em comparação com a represa de Vargem das Flores, destacando maior comprometimento da bacia daquele manancial por poluição fecal e assoreamento;
- Somente para turbidez e bactérias esporogênicas aeróbias no rio das Velhas houve maiores concentrações no período chuvoso, evidenciando maior carreamento de partículas do solo para as águas dessa manancial na época de chuva;
- As maiores concentrações de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água bruta foram detectadas quando os valores de turbidez foram elevados, corroborando a ideia de associação desses protozoários a partículas de turbidez. Porém, também se observou que mesmo em amostras de água tratada com turbidez

inferior a 0,5 uT foram detectados (oo)cistos dos protozoários, evidenciando que nem sempre valores baixos de turbidez asseguram ausência ou baixa concentração de (oo)cistos;

- As eficiências de remoção de todas as variáveis foram superiores para o Sistema Rio das Velhas, devido às maiores concentrações iniciais no manancial e às baixas concentrações na água tratada;
- Ambos os sistemas de abastecimento de água avaliados mostraram-se eficientes na remoção dos protozoários em estudo, porém em remoções inferiores àquelas conferidas às técnicas de tratamento de água pela norma norte-americana (LT2ESWTR), não reduzindo suficientemente o risco de infecção por esses micro-organismos;
- Por meio da análise de correlação, constatou-se que apenas foi estatisticamente significativa a relação entre as concentrações de *Giardia* spp. e os valores de turbidez na água bruta. Não houve correlação estatisticamente significativa entre nenhum outro par de comparações: água bruta – concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. x indicadores (concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e *E. coli* e valores de turbidez); concentrações de cistos de *Giardia* spp. x concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e *E. coli*; água tratada – concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. x indicadores (concentrações de bactérias esporogênicas aeróbias e valores de turbidez); remoção – eficiências de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. x eficiências de remoção de indicadores (bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez);
- Constatou-se que a estimativa das concentrações de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água tratada a partir das remoções de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez pode ser realizada tanto pela relação direta entre as variáveis ou pela aplicação de equações de regressão, porém, ressalta-se que as equações de regressão são restritas a um determinado conjunto de dados e, portanto, não se pode extrapolar para todos os estudos;

- Ainda são necessários mais estudos que demonstrem a efetividade do uso de bactérias esporogênicas aeróbias e turbidez como indicadores de remoção de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., assim como a avaliação de outras variáveis que auxiliem nos estudos de remoção de protozoários patogênicos, levando em consideração, principalmente, o menor custo e maior facilidade de análise para implantação nos laboratórios de monitoramento da qualidade da água destinada ao consumo humano;
- As concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. encontradas na água de consumo dos sistemas de abastecimento estudados não se enquadram no risco aceitável pela norma dos Estados Unidos, mas são próximas ao risco aceitável adotado pelo Canadá e sugerido pela OMS.

## 8 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa e na experiência adquirida sobre o tema durante o desenvolvimento deste trabalho, recomendam-se:

- Coleta de amostras em etapas intermediárias do tratamento da água para análise de bactérias esporogênicas aeróbias para avaliação da eficiência dos processos e operações unitárias, o que auxiliará na constatação de falhas e, por conseguinte, na otimização de todo o sistema.
- Realização de estudos que avaliem a viabilidade e a infectividade dos oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. encontrados em águas bruta e tratada para complementar a avaliação de risco associada a esses protozoários.
- Utilização dos kits EasySeed™ e ColorSeed™ para avaliar o grau de recuperação do método 1623 durante o monitoramento de sistemas (de forma a se obter uma média da recuperação), antes de realizar o tratamento estatístico dos dados.
- Continuação dos estudos de avaliação de ocorrência e remoção dos protozoários patogênicos *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. no Brasil, com maior número de dados e realizados por períodos de tempo superiores, a fim de se acumularem conhecimentos a respeito da dinâmica desses organismos nos mananciais e na água tratada no nosso país, além da continuação de pesquisas que realmente comprovem a eficiência de outras variáveis na indicação de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp.



## 9 REFERÊNCIAS

ABRAHAMSEN, M. S.; TEMPLETON, T. J.; ENOMOTO, S.; ABRAHANTE, J. E.; ZHU, G.; LANCTO, C. A.; DENG, M.; LIU, C.; WIDMER, G.; TZIPORI, S.; BUCK, G. A.; XU, P.; BANKIER, A. T.; DEAR, P. H.; KONFORTOV, B. A.; SPRIGGS, H. F.; IYER, L.; ANANTHARAMAN, V.; ARAVIND, L.; KAPUR, V. Complete genome sequence of the Apicomplexan, *Cryptosporidium parvum*. *Science*, v. 304, n. 5669, p. 441-445, 2004.

ADAM, R. D. Biology of *Giardia lamblia*. *Clinical Microbiology Reviews*, v. 14, n. 3, p. 447-475, July 2001.

AHMAD, R. A.; LEE, E.; TAN, I. T. L.; MOHAMAD-KAMEL, A. G. Occurrence of *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in raw and treated water from two water treatment plants in Selangor, Malaysia. *Water Research*, v. 31, n. 12, p. 3132-3136, 1997.

AJEAGAH, G.; NJINE, T.; FOTO, S.; BILONG BILONG, C. F.; KARANIS, P. Enumeration of *Cryptosporidium* sp. and *Giardia* sp. (oo)cysts in a tropical eutrophic lake. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 4, n. 2, p. 223-232, 2007.

ALARCÓN, M. A.; BELTRÁN, M.; CÁRDENAS, M. L.; CAMPOS, M. C. Recuento y determinación de viabilidad de *Giardia* spp. y *Cryptosporidium* spp. en aguas potables y residuales en la cuenca alta del río Bogotá. *Biomédica*, v. 25, n. 3, p. 353-365, 2005.

ALDOM, J. E.; CHAGLA, A. H. Recovery of *Cryptosporidium* oocysts from water by membrane filter dissolution method. *Letters in Applied Microbiology*, v. 20, n. 3, p. 186-187, March 1995.

ALMEIDA, A.; MOREIRA, M. J.; SOARES, S.; DE DELGADO, M. L.; FIGUEIREDO, J.; SILVA, E.; CASTRO, A.; DA COSA, J. M. C. Presence of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia duodenalis* in drinking water samples in the North of Portugal. *Korean Journal of Parasitology*, v. 48, n. 1, p. 43-48, 2010.

AUSTRÁLIA. National Health and Medical Research Council. Natural Resource Management Ministerial Council. National Water Quality Management Strategy. *Australian Drinking Water Guidelines 6*, v. 1. 2011. 1241 p.

BAQUE, R. H.; GILLIAM, A. O.; ROBLES, L. D.; JAKUBOWSKI, W.; SLIFKO, T. R. A real-time RT-PCR method to detect viable *Giardia lamblia* cysts in environmental waters. *Water Research*, v. 45, n. 10, p. 3175-3184, 2011.

BARBEAU, B.; BOULOS, L.; DESJARDINS, R.; COALLIER, J.; PRÉVOST, M. Examining the use of aerobic spore-forming bacteria to assess the efficiency of chlorination. *Water Research*, v. 33, n. 13, p. 2941-2948, 1999.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; HELLER, L.; VIEIRA, M. B. C. M.; BRITO, L. L. A. Abordagem sanitário-epidemiológica do tratamento e da qualidade parasitológica da água para consumo humano: entre o desejável e o possível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa-PB. *Anais...* João Pessoa : ABES, 2001. 21 p.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; MIERZWA, J. C. Análise de risco aplicada ao abastecimento de água para consumo humano. In: PÁDUA, V. L. (Coord.). *Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Projeto Prosab. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Cap. 9, p.327-360.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E.; CARVALHO, G. R. M.; SILVA, C. V. Coliformes como indicadores da qualidade da água: Alcance e limitações. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII., 2000, Porto Alegre-RS, Brasil. *Anais...* Porto Alegre : AIDIS/ABES, 2000. 12 p.

BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; VIEIRA, M. B. M.; BRITO, L. A.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E. *Giardia* sp. cysts and *Cryptosporidium* spp. oocysts dynamics in southeast Brazil: Occurrence in surface water and removal in water treatment processes. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 4, n. 2, p. 15-22, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília-DF: Diário Oficial da União, p. 39-46, 2011.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. *Portaria MS n.º 518/2004*. Brasília-DF: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 28 p. (Série E. Legislação em Saúde).

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde*. Brasília-DF: Editora do Ministério da Saúde, 2006. 252 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos)

BRIANCESCO, R.; BONADONNA, L. An italian study on *Cryptosporidium* and *Giardia* in wastewater, fresh water and treated water. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 104, n. 1-3, p. 445-457, 2005.

BRITES, A. P. Z.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da carga difusa da drenagem pluvial urbana na bacia hidrográfica de Cancela. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande : ABES. 8 p.

BROOKES, J. D.; ANTENUCCI, J.; HIPSEY, M.; BURCH, M. D.; ASHBOLT, N. J.; FERGUSON, C. Fate and transport of pathogens in lakes and reservoirs. *Environment International*, v. 30, n. 5, p. 741-759, 2004.

BROOKES, J. D.; HIPSEY, M. R.; BURCH, M. D.; REGEL, R. H.; LINDEN, L. G.; FERGUSON, C. M.; ANTENUCCI, J. P. Relative value of surrogate indicators for detecting pathogens in lakes and reservoirs. *Environmental Science and Technology*, v. 39, n. 22, p. 8614-8621, November 2005.

BROWN, R. A.; CORNWELL, D. A. Using spore removal to monitor plant performance for *Cryptosporidium* removal. *Journal American Water Works Association*, v. 99, n. 3, p. 95-109, March 2007.

CABELLI, V. J. Microbial indicators system for assessing water quality. *Antonie van Leeuwenhoek*, n. 48, p. 613-617, 1982 *apud* BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E.; CARVALHO, G. R. M.; SILVA, C. V. Coliformes como indicadores da qualidade da água: Alcance e limitações. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII., 2000, Porto Alegre-RS, Brasil. *Anais...* Porto Alegre : AIDIS/ABES, 2000. 12 p.

CACCIÒ, S. M.; SPRONG, H. Epidemiology of giardiasis in humans. In: LUJÁN, H. D.; SVÄRD, S. (Eds.). *Giardia: A model organism*. 1<sup>st</sup> ed. New York: Springer, 2011. Cap. 2, p.17-28.

CACCIÒ, S. M.; THOMPSON, R. C. A.; MCLAUCHLIN, J.; SMITH, H. V. Unravelling *Cryptosporidium* and *Giardia* epidemiology. *Trends in Parasitology*, v. 21, n. 9, p. 430-437, September 2005.

CANADÁ. Health Canada. Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water. *Enteric protozoa: Giardia and Cryptosporidium*. Document for public comment. August, 2010. 92 p.

CARDOSO, L. S.; BERINO, E.; DEUS, A. B. S.; DE LUCA, S. J. *Cryptosporidium* e *Giardia* em águas e efluentes: Estado da arte. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVIII., 2002, Cancún-México. *Anais...* Cancún : AIDIS/ABES, 2002. 8 p.

CAREY, C. M.; LEE, H.; TREVORS, J. T. Biology, persistence and detection of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* oocyst. *Water Research*, v. 38, n. 4, p. 818-862, February 2004.

CARTIER, C.; BESNER, M. C.; BARBEAU, B.; LAVOIE, J.; DESJARDINS, R.; PRÉVOST, M. Evaluating aerobic endospores as indicators of intrusion in distribution systems. *Journal American Water Works Association*, v. 101, n. 7, p. 46-58, 2009.

CASTRO-HERMIDA, J. A.; GARCÍA-PRESEDO, I.; ALMEIDA, A.; GONZÁLEZ-WARLETA, M.; CORREIA DA COSTA, J. M.; MEZO, M. *Cryptosporidium* spp. and *Giardia duodenalis* in two areas of Galicia (NW Spain). *Science of the Total Environment*, v. 409, n. 13, p. 2451-2459, 2011.

CASTRO-HERMIDA, J. A.; GARCÍA-PRESEDO, I.; GONZÁLEZ-WARLETA, M.; MEZO, M. *Cryptosporidium* and *Giardia* detection in water bodies of Galicia, Spain. *Water Research*, v. 44, n. 20, p. 5887-5896, December 2010.

CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). Cryptosporidiosis Surveillance – United States, 2006-2008 and Giardiasis Surveillance – United States, 2006-2008. *Surveillance Summaries*, v. 59, n. SS-6, June 11, 2010a, 25 p. (Série Morbidity and Mortality Weekly Report).

\_\_\_\_\_. Parasites – *Cryptosporidium* – Biology. Atualizado em novembro de 2010b. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/parasites/crypto/biology.html>>. Acesso em 16 de janeiro de 2012.

\_\_\_\_\_. Parasites – *Giardia* – Biology. Atualizado em novembro de 2010c. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/parasites/giardia/biology.html>>. Acesso em 16 de janeiro de 2012.

\_\_\_\_\_. Surveillance for Waterborne Disease Outbreaks Associated with Drinking Water – United States, 2007–2008. *Surveillance Summaries*, v. 60, n. 12, September 23, 2011, p. 38-75 (Série Morbidity and Mortality Weekly Report)

CERQUEIRA, Daniel Adolpho. *Remoção de oocistos de Cryptosporidium parvum e de indicadores no tratamento de água por ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração, em escala piloto*. 2008. 214 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2008.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS (CBH RIO DAS VELHAS). *A Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas*. Disponível em: <<http://www.cbhvelhas.org.br/index.php/more-about-joomla/a-bacia>>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). Produção de Água para a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Disponível em: <[http://www.copasa.com.br/Producao\\_de\\_agua/PAGINA/Principal\\_prodagua.htm](http://www.copasa.com.br/Producao_de_agua/PAGINA/Principal_prodagua.htm)>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2011.

CORNWELL, D. A.; BROWN, R. A.; MACPHEE, M. J.; WICHSER, R. C. Applying the LT2ESWTR microbial toolbox. *Journal American Water Works Association*, v. 95, n. 9, p. 76-79, 2003.

CRAIK, S. A.; SMITH, D. W.; BELOSEVIC, M.; CHANDRAKANTH, M. Use of *Bacillus subtilis* spores as model-microorganisms for ozonation of *Cryptosporidium parvum* in drinking water treatment. *Journal of Environmental Engineering and Science*, v. 1, n. 3, p. 173-186, 2002.

DAI, X.; BOLL, J. Settling velocity of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia*. *Water Research*, v. 40, n. 6, p. 1321 - 1325, March 2006.

DIAS, G. M. F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; OLIVEIRA, A. A.; CAMPOS, G. M. M. *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. em água de manancial superficial de abastecimento contaminada por dejetos humano e animal. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 60, n. 6, p. 1291-1300, dezembro de 2008.

DUGAN, N. R.; FOX, K. R.; OWENS, J. H.; MILTNER, R. J. Controlling *Cryptosporidium* oocysts using conventional treatment. *Journal American Water Works Association*, v. 93, n. 12, p. 64-76, December 2001.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21<sup>st</sup> ed. Washington, D. C.: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 2005. 1600 p.

EGYED, Z.; SRÉTER, T.; SZÉLL, Z.; VARGA, I. Characterization of *Cryptosporidium* spp. – recent developments and future needs. *Veterinary Parasitology*, v. 111, n. 2–3, p. 103–104, 2003.

EMELKO, M. B.; HUCK, P. M.; DOUGLAS, I. P. *Cryptosporidium* and microsphere removal during late in-cycle filtration. *Journal American Water Works Association*, v. 95, n. 5, p. 173-182, may 2003.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Method 1623: Cryptosporidium and Giardia in water by filtration/IMS/FA*. (EPA 815-R-05-002). Office of Water (4607). 76 p. December 2005. Disponível em: <<http://www.epa.gov/microbes/>>.

\_\_\_\_\_. National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule; Final Rule. *Federal Register*, v. 71, n. 3, p. 654-786. Part II – 40CFR, Parts 9, 141 and 142, Thursday, January 5, 2006.

FACILE, N.; BARBEAU, B.; PRÉVOST, M.; KOUDJONOU, B. Evaluating bacterial aerobic spores as a surrogate for *Giardia* and *Cryptosporidium* inactivation by ozone. *Water Research*, v. 34, n. 12, p. 3238-3246, August 2000.

FAYER, R.; SANTÍN, M.; TROUT, J. M. *Cryptosporidium ryanae* n. sp. (Apicomplexa: Cryptosporidiidae) in cattle (*Bos taurus*). *Veterinary Parasitology*, v. 156, n. 3-4, p. 191-198, 2008.

FENG, Y.; ZHAO, X.; CHEN, J.; JIN, W.; ZHOU, X.; LI, N.; WANG, L.; XIAO, L. Occurrence, source, and human infection potential of *Cryptosporidium* and *Giardia* spp. in source and tap water in Shanghai, China. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 77, n. 11, p. 3609-3616, June 2011.

FRANCO, R. M. B. Protozoários de veiculação hídrica: relevância em saúde pública. *Revista Panamericana de Infectología*, v. 9, n. 4, p. 36-43, outubro de 2007.

FRANCO, R. M. B.; ROCHA-EBERHARDT, R.; CANTUSIO NETO, R. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in raw water from the Atibaia river, Campinas, Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, v. 43, n. 2, p. 109-111, March-April 2001.

FREITAS, C. M.; PORTO, M. F. S.; MOREIRA, J. C. Segurança química, saúde e ambiente: perspectivas para a governança no contexto brasileiro. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 18, n. 1, p. 249-256, 2002.

GERBA, C. P. Risk Assessment. In: MAIER, R. M.; PEPPER, I. L.; GERBA, C. P. *Environmental Microbiology*. Canadá: Academic Press, 2000. Cap. 24, p. 557-573

GIANGASPERO, A.; CIRILLO, R.; LACASELLA, V.; LONIGRO, A.; MARANGI, M.; CAVALLO, P.; BERRILLI, F.; DI CAVE, D.; BRANDONISIO, O. *Giardia* and *Cryptosporidium* in inflowing water and harvested shellfish in a Lagoon in Southern Italy. *Parasitology International*, v. 58, n. 1, p. 12-17, March 2009.

GOMES, Lenora Nunes Ludolf. *Estudo da associação entre parâmetros bióticos e abióticos e a ocorrência de florações de cianobactérias no reservatório de Vargem das Flores-MG*. 2008. 198 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2008.

GOOGLE EARTH. Modelo tridimensional do globo terrestre. Europa Technologies, US Department of State Geographer, Google, MapLink/Tele Atlas, 2012.

HAAS, C. N.; ROSE, J. B.; GERBRA, C. P. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. John Wiley & Sons: New York, 1999. 449 p.

HACHICH, E. M.; GALVANI, A. T.; PADULA, J. A.; MENEGON, N.; SATO, M. I. Z. Importância do controle dos parasitas patogênicos *Giardia* e *Cryptosporidium* em águas captadas para consumo humano. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII., 2000, Porto Alegre-RS, Brasil. *Anais...* Porto Alegre : AIDIS/ABES, 2000. 6 p.

HACHICH, E. M.; SATO, M. I. Z.; GALVANI, A. T.; MENEGON, J. R. N.; MUCCI, J. L. N. *Giardia* and *Cryptosporidium* in source waters of São Paulo State, Brazil. *Water Science and Technology*, v. 50, n. 1, p. 239-245, 2004.

HELLER, L.; BASTOS, R. K. X.; VIEIRA, M. B. C. M.; BEVILACQUA, P. D.; BRITO, L. L. A.; MOTA, S. M. M.; OLIVEIRA, A. A.; MACHADO, P. M.; SALVADOR, D. P.; CARDOSO, A. B. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 13, n. 2, p. 79-92, junho de 2004.

HELMI, K.; SKRABER, S.; BURNET, J. B.; LEBLANC, L.; HOFFMANN, L. CAUCHIE, H. M. Two-year monitoring of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia* occurrence in a recreational and drinking water reservoir using standard microscopic and molecular biology techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 179, n. 1-4, p. 163-175, August 2011.

HELSEL, D. R. *Nondetects and data analysis: Statistics for censored environmental data*. New York: Wiley, 2005b. 250 p.

HÖRMAN, A.; RIMHANEN-FINNE, R.; MAUNULA, L.; VON BONSDORFF, C. H.; TORVELA, N.; HEIKINHEIMO, A.; HÄNNINEN, M. L. *Campylobacter* spp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., Noroviruses, and indicator organisms in surface water in Southwestern Finland, 2000-2001. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 70, n. 1, p. 87-95, January 2004.

HOWE, A. D.; FORSTER, S.; MORTON, S.; MARSHALL, R.; OSBORN, K. S.; WRIGHT, P.; HUNTER, P. R. *Cryptosporidium* oocysts in a water supply associated with a cryptosporidiosis outbreak. *Emerging Infectious Diseases*, v. 8, n. 6, p. 619-624, June 2002.

HSU, B.-M.; YEH, H.-H. Removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in drinking water treatment: A pilot-scale study. *Water Research*, v. 37, n. 5, p. 1111-1117, March 2003.

HUBER, F.; DA SILVA, S.; BOMFIM, T. C. B.; TEIXEIRA, K. R. S.; BELLO, A. R. Genotypic characterization and phylogenetic analysis of *Cryptosporidium* sp. from domestic animals in Brazil. *Veterinary Parasitology*, v. 150, n. 1-2, p. 65-74, November 2007.

HUNTER, P. R.; SYLOR, M. A.; RISEBRO, H. L.; NICHOLS, G. L.; KAY, D.; HARTEMANN, P. Quantitative Microbial Risk Assessment of cryptosporidiosis and giardiasis from very small private water supplies. *Risk Analysis*, v. 31, n. 2, p. 228-236, February 2011.

HUNTER, P. R.; THOMPSON, R. C. A. The zoonotic transmission of *Giardia* and *Cryptosporidium*. *International Journal for Parasitology*, v. 35, n. 11-12, p. 1181-1190, October 2005.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). *Monitoramento da qualidade das águas superficiais na sub-bacia do rio das Velhas em 2009*. Belo Horizonte: Igam, dezembro de 2010. 206p. Disponível em: <[http://www.4shared.com/dir/RFun5SFn/guas\\_de\\_Minas.html](http://www.4shared.com/dir/RFun5SFn/guas_de_Minas.html)>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

KARANIS, P. *Giardia* and *Cryptosporidium*: Occurrence in water supplies. In: NRIAGU, J. O. (Ed.). *Encyclopedia of Environmental Health*, v. 2. Burlington: Elsevier, 2011. p. 946-954.

KARANIS, P.; KOURENTI, C.; SMITH, H. Waterborne transmission of protozoan parasites: A worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 1, p. 1-38, March 2007.

KARANIS, P.; SOTIRIADOU, I.; KARTASHEV, V.; KOURENTI, C.; TSVETKOVA, N.; STOJANOVA, K. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in water supplies of Russia and Bulgaria. *Environmental Research*, v. 102, n. 3, p. 260-271, November 2006.

KENT, G. P.; GREENSPAN, J. R.; HERNDON, J. L.; MOFENSON, L. M.; HARRIS, J. A. S.; ENG, T. R.; WASKIN, H. A. Epidemic giardiasis caused by a contaminated public water supply. *American Journal of Public Health*, v. 78, n. 2, p. 139-143, February 1988.

LEAL, Patrícia Maria Ribeiro Machado. *Avaliação do risco microbiológico associado à ocorrência de protozoários em sistemas de abastecimento de água: Um estudo na cidade de Divinópolis, Minas Gerais*. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2005.

LEAL, P. M. R. M.; HELLER, L.; CERQUEIRA, D. A.; QUEIROZ, J. T. M. Avaliação quantitativa do risco à saúde: protozoários em água de consumo, um estudo em Divinópolis - MG. *Cadernos Saúde Coletiva*, v. 17, n. 2, p. 391-408, 2009.

LEE, S.-H.; LEE, C.-H.; KIM, Y.-H.; DO, J.-H.; KIM, S.-H. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in the Nakdong River and their removal during water treatment. *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 1, p. 163-169, 2007.



LIM, Y. A. L.; AHMAD, R. A.; SMITH, H. V. Current status and future trends in *Cryptosporidium* and *Giardia* epidemiology in Malaysia. *Journal of Water and Health*, v. 6, n. 2, p. 239-254, June 2008.

LIMA, E. C.; STAMFORD, T. L. M. *Cryptosporidium* spp. no ambiente aquático: aspectos relevantes da disseminação e diagnóstico. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 8, n. 3, p. 791-800, 2003.

LIMA, J. D. *Sarcocysts, Isospora e Cryptosporidium*. In: NEVES, D. P.; MELO, A. L.; LINARDI, P. M.; VITOR, R. W. A. (Eds.). *Parasitologia Humana*. 11<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Atheneu, 2005. Cap. 19, p. 173-179.

LOPES, P. A. Estatística aplicada à análise de resultados de ensaios de proficiência na avaliação de laboratórios. *Estatística aplicada e excelência em gestão. Caderno de atividades*. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Instituto Adolpho Lutz. 11 a 15 de agosto de 2003.

LOPES, Ana Maria Moreira Batista. *Avaliação da ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* spp. e sua associação com indicadores bacteriológicos e turbidez na represa de Vargem das Flores – MG*. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2009.

MACHADO, E. C. L.; STAMFORD, T. L. M.; MACHADO, E. H. L.; SOARES, D. S.; ALBUQUERQUE, M. N. L. Ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. em águas superficiais na região metropolitana de Recife-PE. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 61, n. 6, p. 1459-1462, 2009.

MACHADO, P. M. R.; CERQUEIRA, D. A. Ocorrência de (oo) cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* na área de captação e sua remoção no sistema de tratamento de água do rio das Velhas COPASA - Nova Lima - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville-SC. *Anais...* Joinville : ABES 2003.

MAC KENZIE, W. R.; HOXIE, N. J.; PROCTOR, M. E.; GRADUS, M. S.; BLAIR, K. A.; PETERSON, D. E.; KAZMIERCZAK, J. J.; ADDISS, D. G.; FOX, K. R.; ROSE, J. B.; DAVIS, J. P. A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *The New England Journal of Medicine*, v. 331, n. 3, p. 161-167, 1994.

MARTINS, F. C.; BATISTA, A. M. M.; CERQUEIRA, D. A.; PÁDUA, V. L.; HELLER, L. Identificação e quantificação de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* sp. em águas bruta e tratada – Prós e contras do Método 1623 da USEPA. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife-PE. *Anais...* Recife : ABES, 2009. 9 p.

MAZOUA, S.; CHAUVEHEID, E. Aerobic spore-forming bacteria for assessing quality of drinking water produced from surface water. *Water Research*, v. 39, n. 20, p. 5186-5198, December 2005.

MEDEMA, G. J.; SCHETS, F. M.; TEUNIS, P. F. M.; HAVELAAR, A. H. Sedimentation of free and attached *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in water. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 64, n. 11, p. 4460-4466, November 1998.

MEISEL, J. L.; PERERA, D. R.; MELIGRO, C.; RUBIN, C. E. Overwhelming watery diarrhea associated with *Cryptosporidium* in an immunosuppressed patient. *Gastroenterology*, v. 70, n. 6, p. 1156-1160, June 1976.

MEYER, E. A.; RADULESCU, S. *Giardia* and Giardiasis. *Advances in Parasitology*, v. 17, p. 1-47, 1979.

MEYER, W. T. Epidemic giardiasis: a continued elusive entity. *Rocky Mountain Medical Journal*, v. 70, n. 10, p. 48-49, October 1973 *apud* KARANIS, P.; KOURENTI, C.; SMITH, H. Waterborne transmission of protozoan parasites: A worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 1, p. 1-38, 2007.

MONIS, P. T.; CACCIÒ, S. M.; THOMPSON, R. C. A. Variation in *Giardia*: towards a taxonomic revision of the genus. *Trends in Parasitology*, v. 25, n. 2, p. 93-100, February 2009.

MONS, C.; DUMÈTRE, A.; GOSSELIN, S.; GALLIOT, C.; MOULIN, L. Monitoring of *Cryptosporidium* and *Giardia* river contamination in Paris area. *Water Research*, v. 43, n. 1, p. 211-217, January 2009.

MUHAMMAD, N.; SINHA, R.; KRISHNAN, E. R.; PATTERSON, C. L. Evaluating surrogates for *Cryptosporidium* removal in point-of-use systems. *Journal American Water Works Association*, v. 100, n. 12, p. 98-107, December 2008.

NASCIMENTO, Marcelly Ferreira. *Remoção de oocistos de Cryptosporidium por meio da filtração direta ascendente em areia: avaliação em escala piloto*. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2009.

NEWMAN, R. D.; MOORE, S. R.; LIMA, A. A. M.; NATARO, J. P.; GUERRANT, R. L.; SEARS, C. L. A longitudinal study of *Giardia lamblia* infection in north-east Brazilian children. *Tropical Medicine and International Health*, v. 6, n. 8, p. 624-634, August 2001.

NIEMINSKI, E. C.; BELLAMY, W. D.; MOSS, L. R. Using surrogates to improve plant performance. *Journal American Water Works Association*, v. 92, n. 3, p. 67-78, March 2000.

NIEMINSKI, E.; DURRANT, G. C.; HOYT, M. B.; OWENS, M. E.; PETERSON, L.; PETERSON, S.; TANNER, W. D.; ROSEN, J.; CLANCY, J. L. Is *E. coli* an appropriate surrogate for *Cryptosporidium* occurrence in water? *Journal American Water Works Association*, v. 102, n. 3, p. 65-68, March 2010.

NIME, F. A.; BUREK, J. D.; PAGE, D. L.; HOLSCHER, M. A.; YARDLEY, J. H. Acute enterocolitis in a human being infected with the protozoan *Cryptosporidium*. *Gastroenterology*, v. 70, n. 4, p. 592-598, April 1976.

NOVA ZELÂNDIA. Ministry of Health. *Drinking-water Standards for New Zealand 2005 (Revised 2008)*. October 2008. 172 p.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; GOMES, L. L. Consequências da utilização de métodos de substituição de valores censurados nos resultados das análises de dados de monitoramento ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011, Porto Alegre-RS. *Anais...* Porto Alegre : ABES, 2011. 6 p.

PERALTA, Cristiane Campos. *Remoção do indicador Clostridium perfringens e de oocistos de Cryptosporidium parvum por meio da filtração lenta – Avaliação em escala piloto*. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2005.

PLUTZER, J.; ONGERTH, J.; KARANIS, P. *Giardia* taxonomy, phylogeny and epidemiology: Facts and open questions. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 213, n. 5, p. 321-333, September 2010.

POLITI, F. A. S.; MAJEROWICZ, J.; CARDOSO, T. A. O.; PIETRO, R. C. L. R.; SALGADO, H. R. N. Caracterização de biotérios, legislação e padrões de biossegurança. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, v. 29, n.1, p. 17-28, 2008.

POWER, M. L.; RYAN, U. M. A new species of *Cryptosporidium* (Apicomplexa: Cryptosporidiidae) from eastern grey kangaroos (*Macropus giganteus*). *Journal of Parasitology*, v. 94, n. 5, p. 1114-1117, 2008.

REINO UNIDO. Drinking Water Inspectorate. *Guidance on the implementation of the water supply (water quality) regulations 2000 (as amended) in England*. September 2010a. 97 p.

\_\_\_\_\_. *Guidance on the implementation of the water supply (water quality) regulations 2010 in Wales*. September 2010b. 100 p.

\_\_\_\_\_. *Guidance on the water supply (water quality) regulations 2000 (England) incorporating the water supply (water quality) regulations 2000 (Amendment) regulations 2007 and the water supply (water quality) regulations 2001 (Wales) incorporating the water supply (water quality) regulations 2001 (Amendment) regulations 2007*. 3<sup>rd</sup> Edition, October 2008. 80 p.

RICE, E. W.; FOX, K. R.; MILTNER, R. J.; LYTLE, D. A.; JOHNSON, C. H. Evaluating plant performance with endospores. *Journal American Water Works Association*, v. 88, n. 9, p. 122-130, 01 September 1996.

ROACH, P. D.; OLSON, M. E.; WHITLEY, G.; WALLIS, P. M. Waterborne *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts in the Yukon, Canada. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 59, n. 1, p. 67-73, January 1993.

ROBERTSON, L. J.; FORBERG, T.; HERMANSEN, L.; GJERDE, B. K.; ALVSVÅG, J. O.; LANGELAND, N. *Cryptosporidium parvum* infections in Bergen, Norway, during an extensive outbreak of waterborne giardiasis in autumn and winter 2004. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 72, n. 3, p. 2218-2220, March 2006a.

ROBERTSON, L. J.; HERMANSEN, L.; GJERDE, B. K.; STRAND, E.; ALVSVÅG, J. O.; LANGELAND, N. Application of genotyping during an extensive outbreak of waterborne giardiasis in Bergen, Norway, during autumn and winter 2004. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 72, n. 3, p. 2212-2217, March 2006b.

ROBERTSON, L. J.; LIM; Y. A. L. Waterborne and environmentally-borne giardiasis. In: LUJÁN, H. D.; SVÄRD, S. (Eds.). *Giardia: A model organism*. 1<sup>st</sup> ed. New York: Springer, 2011. Cap. 3, p. 29-70.

RYAN, U. M.; POWER, M.; XIAO, L. *Cryptosporidium fayeri* n. sp. (Apicomplexa: Cryptosporidiidae) from the Red Kangaroo (*Macropus rufus*). *Journal of Eukaryotic Microbiology*, v. 55, n. 1, p. 22-26, 2008.

RYU, H.; ABBASZADEGAN, M. Long-term study of *Cryptosporidium* and *Giardia* occurrence and quantitative microbial risk assessment in surface waters of Arizona in the USA. *Journal of Water and Health*, v. 6, n. 2, p. 263-273, June 2008.

SCHAEFER, III, F. W. *Giardia lamblia*. In: AWWA. *Waterborne pathogens*. Manual of water supply practices, M48. 1<sup>st</sup> ed. USA: AWWA, 1999. Cap. 29, p. 177-182.

SIMMONS, O. D.; SOBSEY, M. D. Survival of *Cryptosporidium* oocysts in environmental water samples. In: WATER QUALITY TECHNOLOGY CONFERENCE, 2000, Salt Lake City, USA. *Proceedings...* Salt Lake City : AWWA, 2000.

SMITH, A.; REACHER, M.; SMERDON, W.; ADAK, G. K.; NICHOLS, G.; CHALMERS, R. M. Outbreaks of waterborne infectious intestinal disease in England and Wales, 1992-2003. *Epidemiology and Infection*, v. 134, n. 6, p. 1141-1149, 2006.

SMITH, H. V.; MANK, T. G. Diagnosis of human giardiasis. In: LUJÁN, H. D.; SVÄRD, S. (Eds.). *Giardia: A model organism*. 1<sup>st</sup> ed. New York: Springer, 2011. Cap. 22, p. 353-378

SNEL, S. J.; BAKER, M. G.; VENUGOPAL, K. The epidemiology of giardiasis in New Zealand, 1997-2006. *The New Zealand Medical Journal*, v. 122, n. 1290, p. 62-75, 2009.

SOGAYAR, M. I. T. L.; GUIMARÃES, S. *Giardia*. In: NEVES, D. P.; MELO, A. L.; LINARDI, P. M.; VITOR, R. W. A. (Eds.). *Parasitologia Humana*. 11<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Atheneu, 2005. Cap. 14, p. 121-126.

SOUZA, Amilton Diniz. *Variações espaciais e temporais de parâmetros de qualidade de água em um reservatório tropical (represa de Vargem das Flores – Contagem – MG) e suas implicações com aspectos limnológicos*. 2003. 245 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

STANDRIDGE, J. *E. coli* as a public health indicator of drinking water quality. *Journal American Water Works Association*, v. 100, n. 2, p. 65-75, 2008.

STATISTICA 7.0. Tulsa, USA: StatSoft, Inc. 2004.

STERLING, C. R.; MARSHALL, M. M. *Cryptosporidium parvum*. In: AWWA. *Waterborne pathogens*. Manual of water supply practices, M48. 1<sup>st</sup> ed. USA: AWWA, 1999. Cap. 25, p. 159-162.

STEVENS, M.; ASHBOLT, N.; CUNLIFE, D. *Recommendations to change the use of coliforms as microbial indicators of drinking water quality*. Austrália: National Health and Medical Research Council, 2003. 41 p. Disponível em: <[http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/\\_files/eh32.pdf](http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/_files/eh32.pdf)>. Acesso em: 9 de outubro de 2010.

SUNNOTEL, O.; LOWERY, C. J.; MOORE, J. E.; DOOLEY, J. S. G.; XIAO, L.; MILLAR, B. C.; ROONEY, P. J.; SNELLING, W. J. *Cryptosporidium*. *Letters in Applied Microbiology*, v. 43, n. 1, p. 7-16, July 2006.

TALLON, P.; MAGAJNA, B.; LOFRANCO, C.; KAM, T. L. Microbial indicators of faecal contamination in water: A current perspective. *Water, Air, and Soil Pollution*, v. 166, n. 1-4, p. 139-166, 2005.

THOMPSON, R. C. A. Giardiasis as a re-emerging infectious disease and its zoonotic potential. *International Journal for Parasitology*, v. 30, n. 12-13, p. 1259-1267, November 2000.

THOMPSON, R. C.; MONIS, P. T. Variation in *Giardia*: implications for taxonomy and epidemiology. *Advances in Parasitology*, v. 58, p. 69–137, 2004

THOMPSON, R. C. A.; MONIS, P. T. Taxonomy of *Giardia* species. In: LUJÁN, H. D.; SVÄRD, S. (Eds.). *Giardia: A model organism*. 1<sup>st</sup> ed. New York: Springer, 2011. Cap. 1, p.3-16.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiology: An introduction*. 10<sup>th</sup> ed. USA: Pearson, 2010. 957 p.

TUNDISI, J. G. *Água no século XXI: Enfrentando a escassez*. São Carlos: RiMa, IIE, 2003. 248 p.

VEAZIE, L. Epidemic giardiasis. *The New England Journal of Medicine*, v. 281, n. 15, p. 853, October 1969 *apud* KARANIS, P.; KOURENTI, C.; SMITH, H. Waterborne transmission of protozoan parasites: A worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 1, p. 1-38, 2007.

VERNILE, A.; NABI, A. Q.; BONADONNA, L.; BRIANCESCO, R.; MASSA, S. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in Italian water supplies. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 152, n. 1-4, p. 203-207, 2009.

VESEY, G.; SLADE, J. S.; BYRNE, M.; SHEPHERD, K.; FRICKER, C. R. A new method for the concentration of *Cryptosporidium* oocysts from water. *Journal of Applied Bacteriology*, v. 75, n. 1, p. 82-86, July 1993.

VIEIRA, J. M. P.; MORAIS, C.; ALEXANDRE, C.; CASIMIRO, R. *Planos de Segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Universidade do Minho, 2005. 171 p. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/CasosEstudiosPSA/planos.pdf>>. Acesso em 26 de janeiro de 2012.

VITOR, R. W. A. Protozoa. In: NEVES, D. P.; MELO, A. L.; LINARDI, P. M.; VITOR, R. W. A. (Eds.). *Parasitologia Humana*. 11<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Atheneu, 2005. Cap. 5, p. 33-35.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidelines for Drinking Water Quality*. 4<sup>th</sup> ed. Malta: WHO, 2011. 562 p.

XIAO, L.; FAYER, R. Molecular characterization of species and genotypes of *Cryptosporidium* and *Giardia* and assessment of zoonotic transmission. *International Journal for Parasitology*, v. 38, n. 11, p. 1239-1255, September 2008.

XIAO, L.; FAYER, R.; RYAN, U.; UPTON, S. J. *Cryptosporidium* taxonomy: Recent advances and implications for public health. *Clinical Microbiology Reviews*, v. 17, n. 1, p. 72-97, January 2004.

## 10 APÊNDICES

### 10.1 Planilhas de resultados do Sistema Rio das Velhas

**Tabela 10.1** – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para bactérias esporogênicas aeróbias.

Número da amostra	Data da coleta	AB (1,0 mL)					AT (100 mL)					Eficiência de remoção (%)	Eficiência de remoção (log)
		A	B	C	Média	Resultado UFC/L <sup>(1)</sup>	A	B	C	Média	Resultado UFC/L <sup>(2)</sup>		
1	06/01/2011	89	95	96	93	<b>93000</b>	1	4	5	3	<b>30</b>	99,97	3,5
2	13/01/2011	12	12	14	13	<b>13000</b>	1	3	50	18	<b>180</b>	98,62	1,9
3	21/01/2011	17	24	26	22	<b>22000</b>	2	5	5	4	<b>40</b>	99,82	2,7
4	27/01/2011	8	9	15	11	<b>11000</b>	1	1	3	2	<b>20</b>	99,82	2,7
5	02/02/2011	67	72	81	73	<b>73000</b>	0	1	2	1	<b>10</b>	99,99	3,9
6	09/02/2011	187	283	563	344	<b>344000</b>	1	1	1	1	<b>10</b>	99,997	4,5
7	16/02/2011	6	8	12	9	<b>9000</b>	0	1	2	1	<b>10</b>	99,89	3,0
8	23/02/2011	5	7	8	7	<b>7000</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	100,00	-
9	02/03/2011	78	81	92	84	<b>84000</b>	1	1	2	1	<b>10</b>	99,99	3,9
10	23/03/2011	8	11	11	10	<b>10000</b>	1	2	5	3	<b>30</b>	99,70	2,5
11	30/03/2011	9	11	12	11	<b>11000</b>	0	2	2	1	<b>10</b>	99,91	3,0
12	07/04/2011	21	35	39	32	<b>32000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
13	14/04/2011	9	16	96	40	<b>40000</b>	0	1	6	2	<b>20</b>	99,95	3,3
14	18/04/2011	6	7	9	7	<b>7000</b>	0	1	5	2	<b>20</b>	99,71	2,5
15	28/04/2011	12	29	47	29	<b>29000</b>	0	0	3	1	<b>10</b>	99,97	3,5
16	04/05/2011	111	111	111	111	<b>111000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,000	-
17	11/05/2011	4	7	9	7	<b>7000</b>	2	4	6	4	<b>40</b>	99,43	2,2
18	18/05/2011	21	21	37	26	<b>26000</b>	0	0	3	1	<b>10</b>	99,96	3,4
19	24/05/2011	3	7	8	6	<b>6000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
20	01/06/2011	10	24	166	67	<b>67000</b>	0	1	3	1	<b>10</b>	99,99	3,8
21	06/06/2011	7	7	9	8	<b>8000</b>	0	1	2	1	<b>10</b>	99,88	2,9
22	15/06/2011	3	4	8	5	<b>5000</b>	1	1	4	2	<b>20</b>	99,60	2,4
23	21/06/2011	3	3	8	5	<b>5000</b>	2	10	11	8	<b>80</b>	98,40	1,8



**Tabela 10.1** – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para bactérias esporogênicas aeróbias. (Continuação...)

Número da amostra	Data da coleta	AB (1,0 mL)					AT (100 mL)					Eficiência de remoção (%)	Eficiência de remoção (log)
		A	B	C	Média	Resultado UFC/L <sup>(1)</sup>	A	B	C	Média	Resultado UFC/L <sup>(2)</sup>		
24	29 e 30/06/2011	1	3	12	5	<b>5000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
25	05/07/2011	3	5	9	6	<b>6000</b>	0	1	3	1	<b>10</b>	99,83	2,8
26	13/07/2011	3	4	4	4	<b>4000</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	100,00	-
27	21/07/2011	4	5	6	5	<b>5000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
28	27/07/2011	1	1	3	2	<b>2000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
29	04/08/2011	24	32	51	36	<b>3600</b>	0	2	2	1	<b>10</b>	99,72	2,6
30	08/08/2011	154	229	346	243	<b>243000</b>	130	140	223	164	<b>6570</b>	97,30	1,6
31	18/08/2011	1	2	7	3	<b>3000</b>	0	0	2	1	<b>10</b>	99,67	2,5
32	24/08/2011	1	2	5	3	<b>3000</b>	1	3	3	2	<b>20</b>	99,33	2,2
33	02/09/2011	2	3	10	5	<b>5000</b>	0	1	2	1	<b>10</b>	99,80	2,7
34	05/09/2011	1	2	5	3	<b>3000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
35	13/09/2011	3	4	5	4	<b>4000</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	100,00	-
36	21/09/2011	1	2	3	2	<b>2000</b>	6	9	10	8	<b>80</b>	96,00	1,4
37	29/09/2011	7	9	13	10	<b>10000</b>	3	3	3	3	<b>30</b>	99,70	2,5
38	05/10/2011	6	8	13	9	<b>9000</b>	0	0	87	0	<b>0</b>	100,00	-
39	11/10/2011	5	6	8	6	<b>6000</b>	2	2	4	3	<b>30</b>	99,50	2,3
40	19/10/2011	43	50	51	48	<b>48000</b>	6	8	24	13	<b>130</b>	99,73	2,6

**Nota:** <sup>(1)</sup> Média x 1000; <sup>(2)</sup> Média x 10; <sup>(3)</sup> Nesse dia foram filtrados 10 mL de água bruta, portanto o resultado de UFC/L se deu a partir da média multiplicada por 100. Célula marcada em cinza corresponde ao número que foi desprezado a partir dos resultados do teste Q de Dixon para exclusão de valores atípicos em triplicata.

**Tabela 10.2 – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para *Escherichia coli* e turbidez.**

Número da amostra	Data de coleta	<i>Escherichia coli</i> AB		Turbidez (uT)			
		Alíquota de 1,0 mL	Resultado (NMP/100 mL) <sup>(1)</sup>	AB	AT	Eficiência de remoção (%)	Log de remoção
1	06/01/2011	125,9	<b>12590</b>	239,00	0,17	99,93	3,1
2	13/01/2011	151,5	<b>15150</b>	24,00	0,26	98,92	2,0
3	21/01/2011	86,0	<b>8600</b>	64,10	5,13	92,00	1,1
4	27/01/2011	60,2	<b>6020</b>	16,50	0,16	99,03	2,0
5	02/02/2011	65,7	<b>6570</b>	47,90	0,44	99,08	2,0
6	09/02/2011	25,3	<b>2530</b>	10,30	0,38	96,31	1,4
7	16/02/2011	48,7	<b>4870</b>	32,50	0,32	99,02	2,0
8	23/02/2011	29,2	<b>2920</b>	9,12	0,45	95,07	1,3
9	02/03/2011	150,0	<b>15000</b>	250,00	0,55	99,78	2,7
10	23/03/2011	69,1	<b>6910</b>	18,40	0,55	97,01	1,5
11	30/03/2011	46,5	<b>4650</b>	14,60	0,28	98,08	1,7
12	07/04/2011	72,7	<b>7270</b>	77,70	0,50	99,36	2,2
13	14/04/2011	83,3	<b>8330</b>	15,50	0,37	97,61	1,6
14	18/04/2011	57,3	<b>5730</b>	8,96	0,53	94,08	1,2
15	28/04/2011	49,6	<b>4960</b>	15,10	0,45	97,02	1,5
16	04/05/2011	28,3	<b>2830</b>	4,40	0,45	89,77	1,0
17	11/05/2011	24,3	<b>2430</b>	5,71	0,32	94,40	1,3
18	18/05/2011	32,3	<b>3230</b>	6,24	0,47	92,47	1,1
19	24/05/2011	71,2	<b>7120</b>	6,58	0,38	94,22	1,2
20	01/06/2011	41,4	<b>4140</b>	7,91	1,20	84,83	0,8
21	06/06/2011	45,7	<b>4570</b>	4,65	0,30	93,55	1,2
22	15/06/2011	32,7	<b>3270</b>	8,32	0,21	97,48	1,6
23	21/06/2011	74,9	<b>7490</b>	6,49	0,22	96,61	1,5
24	29 e 30/06/2011	<sup>(2)</sup>	<b>1299,7</b>	4,05	0,11	97,28	1,6
25	05/07/2011	49,6	<b>4960</b>	4,48	0,57	87,28	0,9
26	13/07/2011	13,9	<b>1390</b>	4,06	0,39	90,39	1,0
27	21/07/2011	66,3	<b>6630</b>	3,92	0,83	78,83	0,7
28	27/07/2011	21,3	<b>2130</b>	2,71	0,18	93,36	1,2
29	04/08/2011	31,8	<b>3180</b>	3,45	0,31	91,01	1,0
30	08/08/2011	21,6	<b>2160</b>	3,04	0,30	90,13	1,0
31	18/08/2011	38,4	<b>3840</b>	5,63	0,27	95,20	1,3
32	24/08/2011	13,5	<b>1350</b>	3,54	0,37	89,55	1,0

**Tabela 10.2** – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para *Escherichia coli* e turbidez. (Continuação...)

Número da amostra	Data de coleta	<i>Escherichia coli</i> AB		Turbidez (uT)			
		Alíquota de 1,0 mL	Resultado (NMP/100 mL) <sup>(1)</sup>	AB	AT	Eficiência de remoção (%)	Log de remoção
33	02/09/2011	39,3	<b>3930</b>	5,98	0,27	95,48	1,3
34	05/09/2011	11,0	<b>1100</b>	3,81	0,85	77,69	0,7
35	13/09/2011	1,0	<b>100</b>	3,27	0,37	88,69	0,9
36	21/09/2011	14,8	<b>1480</b>	5,18	0,24	95,37	1,3
37	29/09/2011	29,2	<b>2920</b>	6,38	0,53	91,69	1,1
38	05/10/2011	5,2	<b>520</b>	4,69	0,19	95,9	1,4
39	11/10/2011	16,9	<b>1690</b>	4,04	0,31	92,33	1,1
40	19/10/2011	23,3	<b>2330</b>	37,70	0,17	99,55	2,3

**Nota:** <sup>(1)</sup> Resultado da alíquota de 1,0 mL multiplicado por 100; <sup>(2)</sup> Houve erro no processamento da amostra, então foi utilizado o resultado do sistema de informações da Copasa deste dia.

**Tabela 10.3 – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp.**

Número da amostra	Data de coleta	AB			AT			<i>Cryptosporidium</i> spp.				<i>Giardia</i> spp.				Duração filtração em campo (h)
		Oocistos	Cistos	Volume filtrado (L)	Oocistos	Cistos	Volume filtrado (L)	AB (ooc./L)	AT (ooc./L)	Eficiência de remoção (%)	Log de remoção	AB (cist/L)	AT (cist/L)	Eficiência de remoção (%)	Log de remoção	
1	06/01/2011	1	2	3	0	0	300	0,3	0,000	100,00	-	0,7	0,000	100,00	-	15h
2	13/01/2011	2	47	10	0	0	160	0,2	0,000	100,00	-	4,7	0,000	100,00	-	15h
3	21/01/2011	0	5	1	0	0	200	0,0	0,000	-	-	5,0	0,000	100,00	-	67h25
4	27/01/2011	0	1	10	2	10	250	0,0	0,008	-	-	0,1	0,040	60,00	0,4	4h
5	02/02/2011	3	103	10	0	0	300	0,3	0,000	100,00	-	10,3	0,000	100,00	-	3h45
6	09/02/2011	25	155	10	2	0	310	2,5	0,006	99,74	2,6	15,5	0,000	100,00	-	10h05
7	16/02/2011	0	35	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	3,5	0,000	100,00	-	11h35
8	23/02/2011	3	70	10	0	3	330	0,3	0,000	100,00	-	7,0	0,009	99,87	2,9	5h20
9	23/03/2011	0	32	10	0	5	410	0,0	0,000	-	-	3,2	0,012	99,62	2,4	7h
10	07/04/2011	1	71	10	0	0	300	0,1	0,000	100,00	-	7,1	0,000	100,00	-	3h10
11	18/04/2011	0	31	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	3,1	0,000	100,00	-	4h15
12	04/05/2011	2	180	10	0	0	300	0,2	0,000	100,00	-	18,0	0,000	100,00	-	5h55
13	18/05/2011	0	12	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	1,2	0,000	100,00	-	3h05
14	01/06/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	4h30
15	15/06/2011	0	10	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	1,0	0,000	100,00	-	4h58
16	29 e 30/06/11	2	23	10	0	0	350	0,2	0,000	100,00	-	2,3	0,000	100,00	-	15h
17	13/07/2011	2	90	10	0	0	300	0,2	0,000	100,00	-	9,0	0,000	100,00	-	3h05
18	27/07/2011	3	46	10	0	4	300	0,3	0,000	100,00	-	4,6	0,013	99,71	2,5	-
19	08/08/2011	3	83	10	0	0	220	0,3	0,000	100,00	-	8,3	0,000	100,00	-	4h40
20	24/08/2011	2	84	10	0	4	350	0,2	0,000	100,00	-	8,4	0,011	99,86	2,9	5h
21	05/09/2011	1	42	10	0	4	300	0,1	0,000	100,00	-	4,2	0,013	99,68	2,5	2h25
22	21/09/2011	3	121	10	0	2	300	0,3	0,000	100,00	-	12,1	0,007	99,94	3,3	5h
23	05/10/2011	4	134	10	0	3	350	0,4	0,000	100,00	-	13,4	0,009	99,94	3,19	3h40
24	19/10/2011	4	177	10	0	1	300	0,4	0,000	100,00	-	17,7	0,003	99,98	3,7	3h45

**Obs.:** A partir do dia 23/02 as coletas para análise de oocistos e cistos passaram a ser quinzenais. Portanto a próxima coleta seria dia 09/03, porém neste dia não houve coleta de amostras devido à falta de filtro de espuma e reagentes para realização da análise. Em vista disso, nesse dia também não ocorreram coletas de amostras para análise das outras variáveis, para não haver discrepância de dados.

**Tabela 10.4 –** Compilação dos resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para todas as variáveis avaliadas.

Data	Nº.	BE				T				EC	Nº.	<i>Cryptosporidium</i>				<i>Giardia</i>			
		AB (UFC/100 mL)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (uT)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)			AB (NMP/100 mL)	AB (Oocistos/L)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (Cistos/L)	AT	E (%)
05/01/2011	1	9,3x10 <sup>4</sup>	3,0 x10 <sup>1</sup>	99,97	3,5	239,00	0,17	99,93	3,1	1,3 x10 <sup>4</sup>	1	0,3	0,000	100,00	<b>2,0</b>	0,7	0,000	100,00	<b>2,0</b>
12/01/2011	2	1,3x10 <sup>4</sup>	1,8 x10 <sup>2</sup>	98,62	1,9	24,00	0,26	98,92	2,0	1,5 x10 <sup>4</sup>	2	0,2	0,000	100,00	<b>2,0</b>	4,7	0,000	100,00	<b>3,0</b>
21/01/2011	3	2,2x10 <sup>4</sup>	4,0 x10 <sup>1</sup>	99,82	2,7	64,10	5,13	92,00	1,1	8,6 x10 <sup>3</sup>	3	0,0	0,000	NC	NC	5,0	0,000	100,00	<b>3,0</b>
27/01/2011	4	1,1 x10 <sup>4</sup>	2,0 x10 <sup>1</sup>	99,82	2,7	16,50	0,16	99,03	2,0	6,0 x10 <sup>3</sup>	4	0,0	0,008	NC	NC	0,1	0,040	60,00	0,4
02/02/2011	5	7,3 x10 <sup>4</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,99	3,9	47,90	0,44	99,08	2,0	6,6 x10 <sup>3</sup>	5	0,3	0,000	100,00	<b>2,0</b>	10,3	0,000	100,00	<b>4,0</b>
09/02/2011	6	3,4 x10 <sup>5</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,997	4,5	10,30	0,38	96,31	1,4	2,5 x10 <sup>3</sup>	6	2,5	0,006	99,74	2,6	15,5	0,000	100,00	<b>4,0</b>
16/02/2011	7	9,0 x10 <sup>3</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,89	3,0	32,50	0,32	99,02	2,0	4,9 x10 <sup>3</sup>	7	0,0	0,000	NC	NC	3,5	0,000	100,00	<b>3,0</b>
23/02/2011	8	7,0 x10 <sup>3</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	<b>3,0</b>	9,12	0,45	95,07	1,3	2,9 x10 <sup>3</sup>	8	0,3	0,000	100,00	<b>2,0</b>	7,0	0,009	99,87	2,9
02/03/2011	9	8,4 x10 <sup>4</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,99	3,9	250,00	0,55	99,78	2,7	1,5 x10 <sup>4</sup>									
23/03/2011	10	1,0 x10 <sup>4</sup>	3,0 x10 <sup>1</sup>	99,70	2,5	18,40	0,55	97,01	1,5	6,9 x10 <sup>3</sup>	9	0,0	0,000	NC	NC	3,2	0,012	99,62	2,4
30/03/2011	11	1,1 x10 <sup>4</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,91	3,0	14,60	0,28	98,08	1,7	4,7 x10 <sup>3</sup>									
07/04/2011	12	3,2 x10 <sup>4</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	<b>4,0</b>	77,70	0,50	99,36	2,2	7,3 x10 <sup>3</sup>	10	0,1	0,000	100,00	<b>2,0</b>	7,1	0,000	100,00	<b>3,0</b>
14/04/2011	13	4,0 x10 <sup>4</sup>	2,0 x10 <sup>1</sup>	99,95	3,3	15,50	0,37	97,61	1,6	8,3 x10 <sup>3</sup>									
18/04/2011	14	7,0 x10 <sup>3</sup>	2,0 x10 <sup>1</sup>	99,71	2,5	8,96	0,53	94,08	1,2	5,7 x10 <sup>3</sup>	11	0,0	0,000	NC	NC	3,1	0,000	100,00	<b>3,0</b>
28/04/2011	15	2,9 x10 <sup>4</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,97	3,5	15,10	0,45	97,02	1,5	5,0 x10 <sup>3</sup>									
04/05/2011	16	1,1 x10 <sup>5</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	<b>5,0</b>	4,40	0,45	89,77	1,0	2,8 x10 <sup>3</sup>	12	0,2	0,000	100,00	<b>2,0</b>	18,0	0,000	100,00	<b>4,0</b>
11/05/2011	17	7,0 x10 <sup>3</sup>	4,0 x10 <sup>1</sup>	99,43	2,2	5,71	0,32	94,40	1,3	2,4 x10 <sup>3</sup>									
18/05/2011	18	2,6 x10 <sup>4</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,96	3,4	6,24	0,47	92,47	1,1	3,2 x10 <sup>3</sup>	13	0,0	0,000	NC	NC	1,2	0,000	100,00	<b>3,0</b>
24/05/2011	19	6,0 x10 <sup>3</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	<b>3,0</b>	6,58	0,38	94,22	1,2	7,1 x10 <sup>3</sup>									
01/06/2011	20	6,7 x10 <sup>4</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,985	3,8	7,91	1,20	84,83	0,8	4,1 x10 <sup>3</sup>	14	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
06/06/2011	21	8,0 x10 <sup>3</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,88	2,9	4,65	0,30	93,55	1,2	4,6 x10 <sup>3</sup>									
15/06/2011	22	5,0 x10 <sup>3</sup>	2,0 x10 <sup>1</sup>	99,60	2,4	8,32	0,21	97,48	1,6	3,3 x10 <sup>3</sup>	15	0,0	0,000	NC	NC	1,0	0,000	100,00	<b>3,0</b>
21/06/2011	23	5,0 x10 <sup>3</sup>	8,0 x10 <sup>1</sup>	98,40	1,8	6,49	0,22	96,61	1,5	7,5 x10 <sup>3</sup>									
29/06/2011	24	5,0 x10 <sup>3</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	<b>3,0</b>	4,05	0,11	97,28	1,6	1,3 x10 <sup>3</sup>	16	0,2	0,000	100,00	<b>2,0</b>	2,3	0,000	100,00	<b>3,0</b>
05/07/2011	25	6,0 x10 <sup>3</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,83	2,8	4,48	0,57	87,28	0,9	5,0 x10 <sup>3</sup>									
13/07/2011	26	4,0 x10 <sup>3</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	<b>3,0</b>	4,06	0,39	90,39	1,0	1,4 x10 <sup>3</sup>	17	0,2	0,000	100,00	<b>2,0</b>	9,0	0,000	100,00	<b>3,0</b>
21/07/2011	27	5,0 x10 <sup>3</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	<b>3,0</b>	3,92	0,83	78,83	0,7	6,6 x10 <sup>3</sup>									
27/07/2011	28	2,0 x10 <sup>3</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	<b>3,0</b>	2,71	0,18	93,36	1,2	2,1 x10 <sup>3</sup>	18	0,3	0,000	100,00	<b>2,0</b>	4,6	0,013	99,71	2,5
04/08/2011	29	3,6 x10 <sup>3</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,72	2,6	3,45	0,31	91,01	1,0	3,2 x10 <sup>3</sup>									
08/08/2011	30	2,4 x10 <sup>5</sup>	6,6 x10 <sup>3</sup>	97,30	1,6	3,04	0,30	90,13	1,0	2,2 x10 <sup>3</sup>	19	0,3	0,000	100,00	<b>2,0</b>	8,3	0,000	100,00	<b>3,0</b>

**Tabela 10.4 –** Compilação dos resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Rio das Velhas para todas as variáveis avaliadas. (Continuação...)

Data	Nº.	BE				T				EC	Nº.	<i>Cryptosporidium</i>				<i>Giardia</i>			
		AB (UFC/100 mL)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (uT)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (NMP/100 mL)		AB (Oocistos/L)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (Cistos/L)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)
18/08/2011	31	3,0 x10 <sup>3</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,67	2,5	5,63	0,27	95,20	1,3	3,8 x10 <sup>3</sup>	20	0,2	0,000	100,00	2,0	8,4	0,011	99,86	2,9
24/08/2011	32	3,0 x10 <sup>3</sup>	2,0 x10 <sup>1</sup>	99,33	2,2	3,54	0,37	89,55	1,0	1,4 x10 <sup>3</sup>									
02/09/2011	33	5,0 x10 <sup>3</sup>	1,0 x10 <sup>1</sup>	99,80	2,7	5,98	0,27	95,48	1,3	3,9 x10 <sup>3</sup>	21	0,1	0,000	100,00	2,0	4,2	0,013	99,68	2,5
05/09/2011	34	3,0 x10 <sup>3</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	3,0	3,81	0,85	77,69	0,7	1,1 x10 <sup>3</sup>									
15/09/2011	35	4,0 x10 <sup>3</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	3,0	3,27	0,37	88,69	0,9	1,0 x10 <sup>2</sup>	22	0,3	0,000	100,00	2,0	12,1	0,007	99,94	3,3
21/09/2011	36	2,0 x10 <sup>3</sup>	8,0 x10 <sup>1</sup>	96,00	1,4	5,18	0,24	95,37	1,3	1,5 x10 <sup>3</sup>									
29/09/2011	37	1,0 x10 <sup>4</sup>	3,0 x10 <sup>1</sup>	99,70	2,5	6,38	0,53	91,69	1,1	2,9 x10 <sup>3</sup>	23	0,4	0,000	100,00	2,0	13,4	0,009	99,94	3,2
05/10/2011	38	9,0 x10 <sup>3</sup>	0,0 x10 <sup>0</sup>	100,00	3,0	4,69	0,19	95,95	1,4	5,2 x10 <sup>2</sup>									
13/10/2011	39	6,0 x10 <sup>3</sup>	3,0 x10 <sup>1</sup>	99,50	2,3	4,04	0,31	92,33	1,1	1,7 x10 <sup>3</sup>	24	0,4	0,000	100,00	2,0	17,7	0,003	99,98	3,7
19/10/2011	40	4,8 x10 <sup>4</sup>	1,3 x10 <sup>2</sup>	99,73	2,6	37,7	0,17	99,55	2,3	2,3 x10 <sup>3</sup>									

**Nota:** Os valores de log<sub>r</sub> em negrito com células marcadas em cinza foram aqueles atribuídos para quando a eficiência de remoção foi de 100%. NC = Não calculável.

## 10.2 Planilhas de resultados do Sistema Vargem das Flores

**Tabela 10.5** – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para bactérias esporogênicas aeróbias.

Número da amostra	Data da coleta	AB (1,0 mL)					AT (100 mL)					Eficiência de remoção (%)	Eficiência de remoção (log)
		A	B	C	Média	Resultado UFC/L <sup>(1)</sup>	A	B	C	Média	Resultado UFC/L <sup>(2)</sup>		
1	05/01/2011	8	10	11	10	<b>10000</b>	0	0	10	0	<b>0</b>	100,00	-
2	12/01/2011	6	7	9	7	<b>7000</b>	40	52	86	59	<b>590</b>	91,57	1,1
3	19/01/2011	8	12	29	16	<b>16000</b>	0	1	14	5	<b>50</b>	99,69	2,5
4	26/01/2011	0	4	5	3	<b>3000</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	100,00	-
5	02/02/2011	3	3	4	3	<b>3000</b>	0	1	2	1	<b>10</b>	99,67	2,5
6	09/02/2011	0	2	3	2	<b>2000</b>	5	13	59	26	<b>260</b>	87,00	0,9
7	16/02/2011	14	18	22	18	<b>18000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
8	23/02/2011	2	2	3	2	<b>2000</b>	1	1	3	2	<b>20</b>	99,00	2,0
9	02/03/2011	1	1	5	2	<b>2000</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	100,00	-
10	23/03/2011	2	3	5	3	<b>3000</b>	0	1	1	1	<b>10</b>	99,67	2,5
11	30/03/2011	12	12	15	13	<b>13000</b>	0	0	2	1	<b>10</b>	99,92	3,1
12	06/04/2011	3	4	7	5	<b>5000</b>	0	1	2	1	<b>10</b>	99,80	2,7
13	13/04/2011	5	12	30	16	<b>16000</b>	0	1	531	1	<b>10</b>	99,94	3,2
14	18/04/2011	4	5	8	6	<b>6000</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	100,00	-
15	27/04/2011	3	4	4	4	<b>4000</b>	0	1	4	2	<b>20</b>	99,50	2,3
16	04/05/2011	2	3	8	4	<b>4000</b>	28	59	134	74	<b>740</b>	81,50	0,7
17	11/05/2011	1	1	2	1	<b>1000</b>	0	1	2	1	<b>10</b>	99,00	2,0
18	18/05/2011	0	3	5	3	<b>3000</b>	1	1	7	3	<b>30</b>	99,00	2,0
19	23/05/2011	1	1	2	1	<b>1000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
20	01/06/2011	0	3	27	10	<b>10000</b>	2	17	23	14	<b>140</b>	98,60	1,9
21	07/06/2011	6	7	38	17	<b>17000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
22	15/06/2011	1	2	5	3	<b>3000</b>	5	6	6	6	<b>60</b>	98,00	1,7
23	20/06/2011	0	1	3	1	<b>1000</b>	3	4	15	7	<b>70</b>	93,00	1,2
24	29/06/2011	1	2	6	3	<b>3000</b>	0	0	4	1	<b>10</b>	99,67	2,5
25	06/07/2011	0	0	2	1	<b>1000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
26	13/07/2011	1	2	2	2	<b>2000</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	100,00	-
27	20/07/2011	17	21	31	23	<b>2300<sup>3</sup></b>	2	3	4	3	<b>30</b>	98,70	1,9
28	28/07/2011	2	5	6	4	<b>4000</b>	0	0	0	0	<b>0</b>	100,00	-

**Tabela 10.5** – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para bactérias esporogênicas aeróbias. (Continuação...)

Número da amostra	Data da coleta	AB (1,0 mL)					AT (100 mL)					Eficiência de remoção (%)	Eficiência de remoção (log)
		A	B	C	Média	Resultado UFC/L <sup>(1)</sup>	A	B	C	Média	Resultado UFC/L <sup>(2)</sup>		
29	03/08/2011	1	1	4	2	<b>2000</b>	3	5	8	5	<b>50</b>	97,50	1,6
30	08/08/2011	28	43	151	74	<b>74000</b>	21	31	122	58	<b>580</b>	99,22	2,1
31	17/08/2011	1	1	2	1	<b>1000</b>	0	2	5	2	<b>20</b>	98,00	1,7
32	24/08/2011	1	3	4	3	<b>3000</b>	0	0	2	1	<b>10</b>	99,67	2,5
33	01/09/2011	3	4	4	4	<b>4000</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	100,00	-
34	07/09/2011	0	0	1	0	<b>0</b>	0	0	1	0	<b>0</b>	-	-
35	14/09/2011	0	1	4	2	<b>2000</b>	8	9	9	9	<b>90</b>	95,50	1,3
36	21/09/2011	6	9	10	8	<b>800<sup>3</sup></b>	0	1	1	1	<b>10</b>	98,75	1,9
37	28/09/2011	2	2	4	3	<b>3000</b>	2	2	3	2	<b>20</b>	99,33	2,2
38	05/10/2011	7	9	12	9	<b>9000</b>	22	38	57	39	<b>390</b>	95,67	1,4
39	10/10/2011	5	6	8	6	<b>6000</b>	2	4	4	3	<b>30</b>	99,50	2,3
40	19/10/2011	50	52	63	55	<b>55000</b>	38	42	52	44	<b>440</b>	99,20	2,1

**Nota:** <sup>(1)</sup> Média x 1000; <sup>(2)</sup> Média x 10; <sup>(3)</sup> Nesses dias foram filtrados 10 mL de água bruta, portanto o resultado de UFC/L se deu a partir da média multiplicada por 100. Células marcadas em cinza correspondem aos números que foram desprezados a partir dos resultados do teste Q de Dixon para exclusão de outliers em triplicata.



**Tabela 10.6** – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para *Escherichia coli* e turbidez.

Número da amostra	Data de coleta	<i>Escherichia coli</i> AB (100 mL)	Turbidez (uT)			
		Resultado (NMP/100 mL)	AB	AT	Eficiência de remoção (%)	Eficiência de remoção (log)
1	05/01/2011	4,1	2,75	0,13	95,3	1,3
2	12/01/2011	10,9	3,11	0,20	93,6	1,2
3	19/01/2011	64,4	4,34	0,22	94,9	1,3
4	26/01/2011	5,2	1,57	0,11	93,0	1,2
5	02/02/2011	2,0	2,95	0,20	93,2	1,2
6	09/02/2011	1,0	7,53	0,40	94,7	1,3
7	16/02/2011	<1,0	1,33	0,53	60,2	0,4
8	23/02/2011	<1,0	1,44	0,57	60,4	0,4
9	02/03/2011	1,0	1,24	0,44	64,5	0,4
10	23/03/2011	1,0	2,60	0,37	85,8	0,8
11	30/03/2011	3,1	2,03	0,85	58,1	0,4
12	06/04/2011	2,0	1,73	0,28	83,8	0,8
13	13/04/2011	2,0	4,04	0,37	90,8	1,0
14	18/04/2011	1,0	1,94	0,34	82,5	0,8
15	27/04/2011	1,0	1,84	0,13	92,9	1,2
16	04/05/2011	<1,0	2,09	1,08	48,3	0,3
17	11/05/2011	<1,0	1,23	0,16	87,0	0,9
18	18/05/2011	2,0	3,38	0,84	75,1	0,6
19	23/05/2011	2,0	5,37	0,41	92,4	1,1
20	01/06/2011	1,0	1,46	0,23	84,2	0,8
21	07/06/2011	3,1	1,44	0,11	92,4	1,1
22	15/06/2011	5,2	1,08	0,13	88,0	0,9
23	20/06/2011	0,0	1,10	0,22	80,0	0,7
24	29/06/2011	2,0	1,08	0,25	76,9	0,6
25	06/07/2011	2,0	0,88	0,25	71,6	0,5
26	13/07/2011	3,1	1,67	0,93	44,3	0,3
27	20/07/2011	<1,0	1,08	0,50	53,7	0,3
28	28/07/2011	2,0	1,14	0,24	78,9	0,7
29	03/08/2011	<1,0	3,27	0,33	89,9	1,0
30	08/08/2011	<1,0	3,70	0,14	96,2	1,4
31	17/08/2011	1,0	1,83	0,41	77,6	0,6
32	24/08/2011	0,0	2,05	0,15	92,7	1,1

**Tabela 10.6** – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para *Escherichia coli* e turbidez. (Continuação...)

Número da amostra	Data de coleta	<i>Escherichia coli</i> AB (100 mL)	Turbidez (uT)			
		Resultado (NMP/100 mL)	AB	AT	Eficiência de remoção (%)	Eficiência de remoção (log)
33	01/09/2011	< 1,0	3,82	0,14	96,3	1,4
34	07/09/2011	< 1,0	2,13	0,43	79,8	0,7
35	14/09/2011	1,0	2,03	0,69	66,0	0,5
36	21/09/2011	2,0	1,90	0,32	83,2	0,8
37	28/09/2011	< 1,0	2,89	0,11	96,2	1,4
38	05/10/2011	2,0	3,54	0,52	85,3	0,8
39	10/10/2011	< 1,0	2,33	0,61	73,8	0,6
40	19/10/2011	15,6	2,69	0,12	95,5	1,4

**Tabela 10.7** – Resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp.

Número da amostra	Data de coleta	AB			AT			<i>Cryptosporidium</i> spp.				<i>Giardia</i> spp.				Duração filtração em campo (h)
		Oocistos	Cistos	Volume filtrado (L)	Oocistos	Cistos	Volume filtrado (L)	AB (ooc./L)	AT (ooc./L)	Eficiência de remoção (%)	Eficiência de remoção (log)	AB (cist/L)	AT (cist/L)	Eficiência de remoção (%)	Eficiência de remoção (log)	
1	05/01/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	-
2	12/01/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	1h55
3	19/01/2011	0	1	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,1	0,000	100,00	-	2h40
4	26/01/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	2h05
5	02/02/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	1h48
6	09/02/2011	14	3	10	9	0	280	1,4	0,032	97,70	1,6	0,3	0,000	100,00	-	6h10
7	16/02/2011	2	0	10	0	0	300	0,2	0,000	100,00	-	0,0	0,000	-	-	4h40
8	23/02/2011	0	1	10	0	0	250	0,0	0,000	-	-	0,1	0,000	100,00	-	3h10
9	23/03/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	2h15
10	06/04/2011	3	0	10	1	0	300	0,3	0,003	98,89	2,0	0,0	0,000	-	-	3h10
11	18/04/2011	0	3	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,3	0,000	100,00	-	1h55
12	04/05/2011	3	1	10	0	0	300	0,3	0,000	100,00	-	0,1	0,000	100,00	-	3h25
13	18/05/2011	0	1	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,1	0,000	100,00	-	5h10
14	01/06/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	2h10
15	15/06/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	2h30
16	29/06/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	1h45
17	13/07/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	2h50
18	28/07/2011	1	0	10	0	0	300	0,1	0,000	100,00	-	0,0	0,000	-	-	2h50
19	08/08/2011	1	2	10	0	0	570	0,1	0,000	100,00	-	0,2	0,000	100,00	-	3h30
20	24/08/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	2h
21	07/09/2011	0	1	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,1	0,000	100,00	-	6h40
22	21/09/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	2h29
23	05/10/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	4h30
24	19/10/2011	0	0	10	0	0	300	0,0	0,000	-	-	0,0	0,000	-	-	1h53

**Obs.:** A partir do dia 23/02 as coletas para análise de oocistos e cistos passaram a ser quinzenais. Portanto a próxima coleta seria dia 09/03, porém neste dia não houve coleta de amostras devido a falta de filtro de espuma e reagentes para realização da análise. Em vista disso, nesse dia também não ocorreram coletas de amostras para análise das outras variáveis, para não haver discrepância de dados.

**Tabela 10.8 –** Compilação dos resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para todas as variáveis avaliadas.

Data	Nº.	BE				T				EC	Nº.	<i>Cryptosporidium</i>				<i>Giardia</i>			
		AB (UFC/100 mL)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (uT)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (NMP/100 mL)		AB (Oocistos/L)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (Cistos/L)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)
05/01/2011	1	10000	0	100,00	5,0	2,75	0,13	95,27	1,3	4,1	1	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
12/01/2011	2	7000	590	91,57	1,1	3,11	0,2	93,57	1,2	10,9	2	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
19/01/2011	3	16000	50	99,69	2,5	4,34	0,22	94,93	1,3	64,4	3	0,0	0,000	NC	NC	0,1	0,000	100	4,0
26/01/2011	4	3000	0	100,00	5,0	1,57	0,11	92,99	1,2	5,2	4	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
02/02/2011	5	3000	10	99,67	2,5	2,95	0,2	93,22	1,2	2,0	5	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
09/02/2011	6	2000	260	87,00	0,9	7,53	0,4	94,69	1,3	1,0	6	1,4	0,032	97,70	1,6	0,3	0,000	100	4,0
16/02/2011	7	18000	10	99,94	3,3	1,33	0,53	60,15	0,4	0,5	7	0,2	0,000	100	4,0	0,0	0,000	NC	NC
23/02/2011	8	2000	10	99,50	2,3	1,44	0,57	60,42	0,4	0,5	8	0,0	0,000	NC	NC	0,1	0,000	100	4,0
02/03/2011	9	1000	0	100,00	5,0	1,24	0,44	64,52	0,4	1,0									
23/03/2011	10	3000	10	99,67	2,5	2,6	0,37	85,77	0,8	1,0	9	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
30/03/2011	11	13000	0	100,00	5,0	2,03	0,85	58,13	0,4	3,1									
06/04/2011	12	5000	10	99,80	2,7	1,73	0,28	83,82	0,8	2,0	10	0,3	0,003	98,89	1,95	0,0	0,000	NC	NC
13/04/2011	13	16000	10	99,94	3,2	4,04	0,37	90,84	1,0	2,0									
18/04/2011	14	6000	0	100,00	5,0	1,94	0,34	82,47	0,8	1,0	11	0,0	0,000	NC	NC	0,3	0,000	100	4,0
27/04/2011	15	4000	20	99,50	2,3	1,84	0,13	92,93	1,2	1,0									
04/05/2011	16	4000	740	81,50	0,7	2,09	1,08	48,33	0,3	0,5	12	0,3	0,000	100	4,0	0,1	0,000	100	4,0
11/05/2011	17	1000	10	99,00	2,0	1,23	0,16	86,99	0,9	0,5									
18/05/2011	18	3000	10	99,67	2,5	3,38	0,84	75,15	0,6	2,0	13	0,0	0,000	NC	NC	0,1	0,000	100	4,0
23/05/2011	19	1000	0	100,00	5,0	5,37	0,41	92,36	1,1	2,0									
01/06/2011	20	10000	140	98,60	1,9	1,46	0,23	84,25	0,8	1,0	14	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
07/06/2011	21	17000	0	100,00	5,0	1,44	0,11	92,36	1,1	3,1									
15/06/2011	22	3000	60	98,00	1,7	1,08	0,13	87,96	0,9	5,2	15	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
20/06/2011	23	1000	70	93,00	1,2	1,1	0,22	80,00	0,7	0,0									
29/06/2011	24	3000	0	100,00	5,0	1,08	0,25	76,85	0,6	2,0	16	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
06/07/2011	25	1000	10	99,00	2,0	0,88	0,25	71,59	0,5	2,0									
13/07/2011	26	2000	0	100,00	5,0	1,67	0,93	44,31	0,3	3,1	17	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
20/07/2011	27	2300	30	98,70	1,9	1,08	0,5	53,70	0,3	0,5									
28/07/2011	28	4000	0	100,00	5,0	1,14	0,24	78,95	0,7	2,0	18	0,1	0,000	100	4,0	0,0	0,000	NC	NC
03/08/2011	29	1000	50	95,00	1,3	3,27	0,33	89,91	1,0	0,5									
08/08/2011	30	74000	580	99,22	2,1	3,7	0,14	96,22	1,4	0,5	19	0,1	0,000	100	4,0	0,2	0,000	100	4,0

**Tabela 10.8** – Compilação dos resultados do monitoramento de janeiro a outubro de 2011 das águas bruta (AB) e tratada (AT) do Sistema Vargem das Flores para todas as variáveis avaliadas. (Continuação...)

Data	Nº.	BE				T				EC	Nº.	<i>Cryptosporidium</i>				<i>Giardia</i>			
		AB (UFC/100 mL)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (uT)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (NMP/100 mL)		AB (Oocistos/L)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)	AB (Cistos/L)	AT	E (%)	Log <sub>r</sub> (Log)
17/08/2011	31	1000	20	98,00	1,7	1,83	0,41	77,60	0,6	1,0	20	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
24/08/2011	32	3000	10	99,67	2,5	2,05	0,15	92,68	1,1	0,0									
01/09/2011	33	4000	10	99,75	2,6	3,82	0,14	96,34	1,4	<b>0,5</b>	21	0,0	0,000	NC	NC	0,1	0,000	100	<b>4,0</b>
07/09/2011	34	1000	10	99,00	2,0	2,13	0,43	79,81	0,7	<b>0,5</b>									
14/09/2011	35	2000	90	95,50	1,3	2,03	0,69	66,01	0,5	1,0	22	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
21/09/2011	36	800	10	98,75	1,9	1,9	0,32	83,16	0,8	2,0									
28/09/2011	37	3000	20	99,33	2,2	2,89	0,11	96,19	1,4	<b>0,5</b>	23	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
05/10/2011	38	9000	390	95,67	1,4	3,54	0,52	85,31	0,8	2,0									
10/10/2011	39	6000	40	99,33	2,2	2,33	0,61	73,82	0,6	<b>0,5</b>	24	0,0	0,000	NC	NC	0,0	0,000	NC	NC
19/10/2011	40	55000	440	99,20	2,1	2,69	0,12	95,54	1,4	15,6									

**Nota:** Os valores de log<sub>r</sub> em negrito nas células em cinza foram aqueles atribuídos para quando a eficiência de remoção foi de 100%. Os valores de *E. coli* em negrito nas células pontilhadas foram substituições dos valores com resultados < 1,0 NMP/100 mL. NC = Não calculável.