

MÔNICA DURÃES BRAGA

**ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE  
CONTROLE – APPCC: ESTUDO DE CASO NO SISTEMA  
DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE VIÇOSA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B813a  
2007

Braga, Mônica Durães, 1978-

Análise de perigos e pontos críticos de controle-APPC :  
estudo de caso no sistema de abastecimento de água na  
Universidade Federal de Viçosa / Mônica Durães Braga.  
– Viçosa, MG , 2007.

xxi, 117f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Paula Dias Bevilacqua.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de  
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 109-117.

1. Parasitologia veterinária. 2. Controle de qualidade da  
água - Viçosa (MG). 3. Abastecimento de água - Viçosa  
(MG). 4. Água - Purificação. 5. Água - Microbiologia. 6.  
Água - Análise. I. Universidade Federal de Viçosa.  
II. Título.

CDD 22.ed. 636.089696

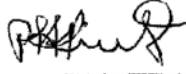
**MÔNICA DURÃES BRAGA**


**ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE - APPCC:  
ESTUDO DE CASO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL VIÇOSA**

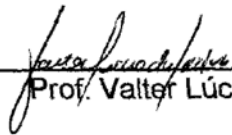
Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Medicina  
Veterinária, para obtenção do título de  
*Magister Scientiae*.

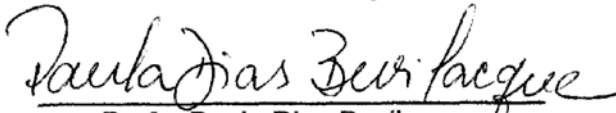
APROVADA: 29 de janeiro de 2007.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Rafael Kopschitz Xavier Bastos  
(Co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Paulo Sérgio de Arruda Pinto  
(Co-orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Rosane M. de Aguiar Euclides

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

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Paula Dias Bevilacqua  
(Orientadora)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me dar forças para superar os momentos difíceis e capacidade de discernimento nos momentos de escolha. Ainda, por conceder a mim a oportunidade e responsabilidade de trabalhar ao lado de grandes profissionais e pesquisadores, onde pude adquirir uma grande carga de conhecimento.

À professora Paula Dias Bevilacqua, minha orientadora durante o mestrado, agradeço a confiança em meu trabalho demonstrada desde o primeiro momento. De suas disciplinas que frequentei, do período de estágio em ensino e das inúmeras reuniões, tirei importantes lições.

Ao professor Rafael Kopschitz Xavier Bastos, agradeço os conselhos e as opiniões valiosas na realização deste trabalho. Ainda, pela oportunidade de trabalho no projeto de implantação de controle de qualidade do laboratório da ETA/UFV.

Ao professor Paulo Sérgio de Arruda Pinto, pela dedicação e pelas opiniões tão importantes no decorrer deste trabalho.

À professora Rosane M. de Aguiar Euclides pela disposição e ajuda indispensáveis na realização das nossas trabalhosas análises de identificação de microalgas, onde aproveitei para agradecer a toda equipe da Unidade de Crescimento de Plantas – UCP do Departamento de Biologia Vegetal – UFV, pela dedicação dispensada ao nosso trabalho. Em especial, à Adriana Sales de Magalhães, à Maione Wiitg Franco, à Elisa Montegi e ao Rogério M. Gomide.

Ao professor Valter Lúcio de Pádua, pela disposição em participar da banca de defesa e pelas importantes considerações acerca de nosso trabalho.

À professora Maria Aparecida Scatamburlo Moreira e Maria Berenice Cardoso Martins Vieira, pelo auxílio na busca do material de pesquisa para início do trabalho.

À Rosinéia Aparecida da Cunha Andrade, nossa querida Rosi, secretária da pós-graduação da Medicina Veterinária – UFV, pelo carinho e por sempre resolver os problemas e tirar as dúvidas com toda paciência.

Aos funcionários da ETA/UFV, pelo apoio, pela paciência e atenção, em especial ao Luíz Eduardo Nascimento e à Regiane Maria Mendes Castro, os quais eu mais perturbei durante todo este tempo, com as cobranças pelo material de pesquisa e pelas reuniões.

Ao carinho e colaboração indispensáveis do Luiz Carlos da Silva, Élcio Thadeu Galvão, Marco J. M. Salgado, Paulo F. S. Monteiro, Dagoberto Silva e Renato Dale, técnicos do setor de medicina veterinária preventiva e saúde pública, Veterinária – UFV.

Aos amigos e colegas de trabalho, Jesana Fonseca Soares e Adiéliton Galvão de Freitas, pelas conversas, dicas importantes e pelos momentos de descontração e risos em meio tanto trabalho a ser feito.

À colega Grazielle Menezes Ferreira, pelo apoio e pela colaboração imprescindíveis, principalmente nas pesquisas de protozoários.

Aos estagiários, Ana Carolina Matos Campos e Gabriel Pereira de Rezende, importantes colaboradores nas cansativas jornadas de trabalho, pelo trabalho responsável que realizaram, pela dedicação demonstrada e, principalmente, pelo carinho e amizade.

À Universidade Federal de Viçosa – UFV, por me possibilitar a realização do mestrado; à Fapemig, pelo apoio financeiro para desenvolvimento da pesquisa; e ao CNPq, pela bolsa de estudo.

Lembrando que nada disso seria possível sem as pessoas que me indicaram o caminho da pesquisa, agradeço à professora Carla Cilene Matos Silva, minha primeira orientadora e hoje minha grande amiga. A ela agradeço a confiança de que seria capaz de seguir em frente, por me ensinar que é preciso ser paciente e pelo apoio e incentivo incondicionais. Ainda, em Viçosa, foi a mão amiga sempre pronta para ajudar-me, jamais esquecerei dos seus conselhos e de nossas muitas conversas.

Ao Prof. Leo Heller e à Mônica Maria Ladeia agradeço a oportunidade de trabalho como bolsista de iniciação científica em seu projeto de pesquisa, onde tive o

primeiro contato com pesquisa na área de tratamento de água, e pelo incentivo fundamental na busca pelo mestrado.

Aos meus pais, Neuza e Luiz, devo tudo aquilo que consegui e tudo que aprendi. Sempre ao meu lado, me deram a certeza de que havia um chão firme e um colo sempre por perto. Agradeço pelo incentivo, pela confiança e por lutarem junto comigo, pelo olhar de aprovação na hora da partida e o abraço acolhedor na volta para casa.

Ao Alysson, agradeço por acreditar, junto comigo, em minha capacidade e em meu sonho e por compreender minha ausência e meus momentos de aflição. Foi quem tornou tudo mais fácil, dando-me colo e força. Ainda, foi sempre meu grande exemplo de determinação.

Aos meus irmãos, Carmen e Hânderson, agradeço o apoio incondicional, os cuidados nos momentos mais difíceis, não me deixando abaixar a cabeça ou desistir, e as conversas tantas, onde me mostraram acreditar que tudo isso era possível.

Ao Charles agradeço o carinho, a torcida e as ajudas com o computador.

Aos meus sobrinhos, Luís Felipe e João Pedro, pelo sorriso e abraço que mudam tudo, mesmo no dia mais cansativo, apesar de ainda não compreenderem tudo isso.

Aos amigos Carmen, Rodrigo, Gisele, Bárbara, Veridiana, Cláudia, Mariana, Michele, Denizar, Morena, João, Sandrinha, Alexandre, Juliano e Elizabeth e, principalmente, aos “camilinhos” devo os momentos de paz.

Às companheiras de jornada, Gabriela, Rafaela e Aryádina, que agüentaram mais de perto o stress e as dores de cabeça, agradeço a paciência e amizade. Os momentos de descontração com filmes, pipoca e vinho foram fundamentais para agüentar a saudade de casa.

Aos meus amigos Jordiane, Dardânia, Roberta, Maria Aparecida, Maria Clara, Eduardo, Gisele, Angelisa, Edilson e Denise, que torceram à distância e se fizeram sempre presentes, como podiam, principalmente, nos momentos mais difíceis, agradeço as orações, ligações, conversas no MSN, e-mail e inúmeras mensagens de incentivo.

Meu agradecimento especial pela torcida, pelo carinho e pelas preces valiosas da minha querida avó Elisa, a quem dedico este trabalho.

## BIOGRAFIA

MÔNICA DURÃES BRAGA, filha de Luiz Durães de Souza e de Neuza Prates Braga Durães, nasceu em Montes Claros, Minas Gerais, em 7 de dezembro de 1978.

Em dezembro de 1996, concluiu o curso de “Magistério de 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> Grau” pela Escola Estadual Professor Plínio Ribeiro, em Montes Claros-MG.

Em 2002, realizou monitoria na disciplina “Microbiologia” na Universidade Estadual de Montes Claros, em Montes Claros-MG.

Em dezembro de 2003, concluiu a graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Montes Claros, em Montes Claros-MG, obtendo o título de Bacharel em Ciências Biológicas. Como trabalho de conclusão de curso, defendeu o projeto intitulado “Incidência de *Staphylococcus aureus* em amostras clínicas humanas e sua sensibilidade ao extrato aquoso de folhas de *Copaifera langsdorffii* Desf.”, sob orientação da professora M.Sc. Carla Cilene Matos Silva.

Entre 2003 e 2004, foi bolsista de iniciação científica pela Fundação Christiano Ottoni, participando, como estagiária, do projeto “Avaliação da eficiência da filtração rápida descendente na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* sp. em modelos reduzidos”, desenvolvido pela professora Mônica Maria Ladeia, então, aluna da Universidade Federal de Minas Gerais.

Em janeiro de 2007, defendeu sua dissertação de mestrado na Universidade Federal de Viçosa em Viçosa, Viçosa-MG, pelo Departamento de Medicina Veterinária, com o projeto intitulado “Análise de perigos e pontos críticos de

controle – APPCC: estudo de caso no sistema de abastecimento de água da Universidade federal de Viçosa”, sob orientação da professora Dr<sup>a</sup> Paula Dias Bevilacqua.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE QUADROS .....	xiii
LISTA DE TABELAS .....	xv
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xvii
RESUMO .....	xviii
ABSTRACT .....	xx
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Organismos patogênicos e indicadores da qualidade da água para consumo humano .....	4
2.1.1. Organismos patogênicos.....	4
2.1.2. Organismos indicadores da qualidade da água para consumo humano.....	14
2.2. Indicadores não biológicos da eficiência do tratamento.....	21
2.3. Etapas de produção em uma Estação de Tratamento de Água.....	24
2.3.1. Coagulação – Flocculação.....	24
2.3.2. Decantação .....	25

	<b>Página</b>
2.3.3. Filtração .....	25
2.3.4. Desinfecção .....	26
2.4. Alguns aspectos da norma brasileira de qualidade da água para consumo humano .....	27
2.5. Tratamento da água para consumo humano e eficiência da remoção de microrganismos.....	30
2.6. Novas perspectivas na avaliação da qualidade no tratamento da água para consumo humano: o sistema APPCC .....	31
2.6.1. Princípios de implementação do plano APPCC.....	34
2.6.2. Implementação dos princípios do APPCC .....	35
2.6.3. Aplicação do APPCC na produção de água para consumo humano.....	41
3. OBJETIVOS .....	52
3.1. Objetivo geral.....	52
3.2. Objetivos específicos .....	52
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	53
4.1. Descrição do manancial de abastecimento .....	53
4.2. Descrição do processo de produção na estação de tratamento de água, SAA/UFV .....	53
4.3. Desenvolvimento do diagrama de fluxo e caracterização de perigos..	54
4.4. Descrição das técnicas utilizadas .....	55
4.4.1. Análises bacteriológicas .....	55
4.4.2. Análises de protozoários.....	64
4.4.3. Análises físico-químicas.....	67
4.4.4. Análises de cianobactérias.....	68
4.5. Análises dos dados .....	69
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
5.1. Avaliação do processo de tratamento da água no SAA-UFV .....	70
5.1.1. Água bruta .....	70
5.1.2. Decantação .....	71
5.1.3. Filtração .....	74
5.1.4. Desinfecção .....	77
5.1.5. Reservação.....	79
5.1.6. Rede de distribuição.....	82
5.1.7. Avaliação do processo como um todo .....	84
5.1.8. Lavagem dos filtros.....	88

	<b>Página</b>
5.2. Associação da variação dos parâmetros bacteriológicos e físico-químicos monitorados no SAA-UFV com a precipitação pluviométrica.....	92
5.3. Avaliação de possíveis indicadores para a presença de (oo)cistos de protozoários a partir dos parâmetros pesquisados no SAA-UFV .....	98
5.4. Avaliação da presença de microalgas e cianobactérias no SAA-UFV	99
5.5. Identificação dos perigos em cada etapa de tratamento e sugestões de monitoramento para implementação do sistema APPCC na produção de água para consumo humano no SAA/UFV .....	100
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	107
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	109

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
1	Etapas do processo de infecção por <i>Cryptosporidium</i> spp. ....	6
2	Ilustração esquemática do ciclo de vida do <i>Cryptosporidium</i> spp. .	7
3	Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. ....	7
4	Ilustração esquemática do ciclo de vida <i>Giardia</i> spp. ....	9
5	Trofozoítos de <i>Giardia</i> aderidos à parede intestinal.....	10
6	Cistos de <i>Giardia duodenalis</i> .....	10
7	Ilustração de algumas espécies de microalgas .....	12
8	Árvore decisória para PCC.....	38
9	Diagrama de fluxo geral para a produção de água para consumo humano com definição de pontos críticos de controle (PCC) (HAVELAAR, 1994).....	43
10	Diagrama de fluxo do abastecimento de água com definição de pontos críticos de controle (PCC) e pontos críticos de atenção (PCA), segundo Dewettinck <i>et al.</i> (2001).....	44
11	Fluxograma de produção e distribuição de água para consumo humano e identificação dos pontos para monitoramento com respectivos parâmetros, SAA-UFV .....	56

	<b>Página</b>
12 Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais .....	57
13 Fluxo de água durante o processo de lavagem dos filtros. Coleta de amostra durante o procedimento de lavagem do filtro .....	58
14 Etapas de análise para contagem de bactérias heterotróficas pela técnica <i>pour plate</i> .....	59
15 Etapas de análise para identificação de coliformes pela técnica dos tubos múltiplos .....	60
16 Etapas de análise para identificação de esporos aeróbios pela técnica da membrana filtrante .....	62
17 Etapas de análise para identificação de <i>Bacillus subtilis</i> . (A) Colônias características para <i>Bacillus subtilis</i> .....	63
18 Etapas de análise para identificação de esporos anaeróbios pela técnica da membrana filtrante .....	64
19 Etapas de análise para identificação de <i>Clostridium perfringens</i> ....	65
20 Preparo de amostras para identificação de (oo)cistos de protozoários por imunoflorescência .....	66
21 Sala de cultura para crescimento de microalgas e cianobactérias. Detalhe da placas contendo visível crescimento de microalgas e cianobactérias após 8 a 10 dias de incubação. Unidade de Crescimento de Plantas, UFV .....	68
22 Estatística descritiva dos dados de turbidez e cor aparente da água bruta e decantada, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006 .....	74
23 Estatística descritiva dos dados de turbidez da água filtrada e tratada, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.....	75
24 Estatística descritiva dos dados de turbidez da água distribuída, SAA/UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.....	85
25 Estatística descritiva dos dados de CRL da água distribuída, SAA/UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.....	85
26 Remoção de coliformes totais, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006 .....	86

	<b>Página</b>
27	Remoção de coliformes termotolerantes, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006..... 86
28	Remoção de <i>Escherichia coli</i> , SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006..... 87
29	Remoção de turbidez, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006..... 87
30	Remoção de cor aparente, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006..... 87
31	Variação do cloro residual livre na água de lavagem dos filtros ao longo do processo de lavagem, SAA-UFV, dados da coleta realizada em julho de 2006..... 91
32	Gênero <i>Selenastrum</i> identificado, SAA-UFV, setembro de 2006... 101
33	Gênero <i>Chlorella</i> identificado, SAA-UFV, setembro de 2006..... 101
34	Gênero <i>Euglena</i> identificado, SAA-UFV, setembro de 2006..... 101
35	Gênero <i>Pseudoanabaena</i> identificado, SAA-UFV setembro de 2006..... 101
36	Gênero <i>Trachelomonas</i> identificado, SAA-UFV setembro de 2006..... 101
37	Gênero <i>Chlorococcus</i> identificado, SAA-UFV, setembro de 2006 101
38	Fluxograma de produção de água para consumo humano com identificação de PCC e PCA, SAA-UFV ..... 104

## LISTA DE QUADROS

		<b>Página</b>
1	Principais espécies de <i>Cryptosporidium</i> e respectivos hospedeiros...	5
2	Surtos de criptosporidiose de veiculação hídrica.....	8
3	Principais espécies de <i>Giardia</i> e seus respectivos hospedeiros.....	8
4	Surtos de giardíase de veiculação hídrica .....	11
5	Gêneros e, ou, espécies comumente encontrados durante a contagem de bactérias heterotróficas em água potável .....	18
6	Adequação da espécie <i>Clostridium perfringens</i> aos critérios de organismo indicador .....	20
7	Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano .....	28
8	Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção .....	28
9	Número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida	29
10	Remoção de bactérias, vírus e protozoários em processos de tratamento convencional.....	31
11	Valores de CT para a inativação de organismos patogênicos (99,9%) .....	32

12	Aplicação geral dos princípios do APPCC às etapas da produção de água para consumo humano utilizando manancial superficial de abastecimento.....	51
----	--	----

## LISTA DE TABELAS

		<b>Página</b>
1	Caracterização da água bruta, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006	71
2	Caracterização da água decantada e desempenho do processo de decantação, SAA-UFV setembro de 2004 a setembro de 2006.....	73
3	Caracterização da água filtrada e desempenho do processo de filtração, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006 .....	76
4	Análise de correlação entre filtro 1 e 2 a partir dos resultados do monitoramento, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006	78
5	Caracterização da água no processo de desinfecção e desempenho do processo, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.....	80
6	Caracterização da água no reservatório de distribuição de água tratada, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.....	81
7	Caracterização da água distribuída em função da presença de bactérias do grupo coliforme, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006 .....	82
8	Caracterização da água distribuída em função da contagem de bactérias heterotróficas, SAA-UFV setembro de 2004 a setembro de 2006 .....	83
9	Caracterização da água distribuída em função da presença de esporos aeróbios, SAA-UFV, junho a setembro de 2006.....	84

	<b>Página</b>
10	Caracterização da água distribuída em função da presença de <i>Bacillus subtilis</i> , SAA-UFV, junho a setembro de 2006..... 84
11	Caracterização microbiológica da água de lavagem de filtros, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006..... 89
12	Caracterização físico-química da água de lavagem de filtros, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006..... 91
13	Variação percentual da carga microbiana e de parâmetros físicos e químicos, cenário de recirculação contínua da água de lavagem do filtro, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006 ..... 92
14	Correlação entre pluviosidade, bactérias do grupo coliforme, turbidez e cor aparente, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006 ..... 94
15	Correlação entre pluviosidade e parâmetros monitorados nos diferentes pontos de coleta, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006 ..... 95
16	Correlação entre (oo)cistos de protozoários e demais parâmetros monitorados ao longo do tratamento de água, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006 ..... 98
17	Gêneros de microalgas e cianobactérias presentes nas etapas de tratamento, SAA-UFV, 2006 ..... 100
18	Quadro resumo de um plano de Análise de Pontos Críticos de Controle na produção de água, SAA-UFV, 2007 ..... 102

## LISTA DE EQUAÇÕES

		<b>Página</b>
1	Cálculo do Logaritmo de inativação de <i>Giardia</i> .....	22
2	Cálculo do Logaritmo de inativação de vírus .....	23
3	Cálculo do tempo de contato (CT) requerido na etapa de desinfecção .....	23
4	Cálculo da constante de remoção de microrganismos na etapa de desinfecção .....	27
5	Cálculo do volume de solução de sulfato a ser adicionado na etapa de coagulação .....	54

## RESUMO

BRAGA, Mônica Durães, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2007.  
**Análise de perigos e pontos críticos de controle – APPCC: Estudo de caso no sistema de abastecimento de água da Universidade federal de Viçosa.**  
Orientadora: Paula Dias Bevilacqua. Co-Orientadores: Rafael Kopschitz Xavier Bastos e Paulo Sérgio de Arruda Pinto.

A produção de água para consumo humano com padrões adequados de potabilidade é de suma importância para a saúde da população consumidora. Atualmente, diversas pesquisas têm sido realizadas sob a sugestão da Organização Mundial de Saúde e Ministério da Saúde, no intuito de avaliar as técnicas disponíveis no tratamento de água e propor novas tecnologias e, ou novos parâmetros de qualidade. Nesse contexto, o sistema APPCC apresenta-se como ferramenta viável no controle da produção de água. O sistema de abastecimento em estudo foi o da Universidade Federal de Viçosa (SAA-UFV) onde foram monitoradas todas as etapas de tratamento segundo parâmetros microbiológicos e físico-químicos a fim de identificar os perigos a partir de um diagrama de fluxo pré-elaborado. Segundo os resultados obtidos, o controle da qualidade da água produzida pela esteve sempre de acordo com os padrões estabelecidos pela Portaria MS nº 518/2004. Foi verificado, ainda, correlações significativas entre (oo)cistos de protozoários e os parâmetros esporos (aeróbios e anaeróbios), contagem de bactérias heterotróficas, *Clostridium perfringens*, turbidez, cor e sólidos em suspensão, sendo necessários, entretanto, outros estudos para a adequada validação desses resultados. A avaliação inicial da

produção de água na estação de tratamento de água da UFV (ETA-UFV) permitiu subsidiar a aplicação dos princípios do APPCC. Segundo as remoções dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos verificadas em cada etapa, foram considerados pontos de atenção: captação, decantação, filtração, desinfecção e distribuição. Como pontos críticos de controle, foram considerados: captação, decantação, filtração e desinfecção. Há ainda de se considerar que, sendo o APPCC um plano que busca minimizar as chances de falhas no sistema de produção a partir de avaliações sistemáticas do processo, é necessário que cada unidade de produção, neste caso, as estações de tratamento de água, realize estudos preliminares para verificação de seus perigos, pontos críticos e medidas próprias de prevenção e, ou, controle.

## ABSTRACT

BRAGA, Mônica Durães, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2007.  
**Hazard Analysis and Critical Control Points – HACCP: Study of the case in treatment plan of water at Universidade Federal de Viçosa.** Adviser: Paula Dias Bevilacqua. Co-Advisers: Rafael Kopschitz Xavier Bastos and Paulo Sérgio de Arruda Pinto.

The drink water production to human use with adequate standards is very important to the health of consumers. At present, there are many researches in development to value the treatment of water in the world with support of World Health Organization and Health Treasury. On this context, the HACCP system is a important instrument to maintain the quality in water production. The studied supply system was the ETA/UFV, where were value in microbiologic and physical-chemical aspects of all treatment points to value the hazards. About the results, the ETA was according with the decree MS nº 518/2004. Still, were value the associations of the protozoan (oo)cysts with others aspects as spores (aerobic e anaerobic), heterotrophic plate count, *Clostridium perfringens*, turbidity, color and solids. In this value of the plan was possible to suggest to introduction the points of the HACCP in the water treatment, valuing the action of al the treatment point (raw water, sedimentation, filters, disinfection and distribution) and the removal of all parameters. With this work, it was suggest as critical points the raw water, sedimentation, filters and disinfection. However, the HACCP is a system to reduce the risks to the health, valuing all the points and locate the faults, so, it is important to consider the

estimation necessity of each production unit, in this case the water treatment, carrying own assessment to locate the hazards in the production to establish own limits and preventions.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de água segura<sup>1</sup> para consumo humano é de suma importância para a saúde e passa, atualmente, por uma revisão de seus paradigmas, devido, principalmente, a dois motivos: i) o reconhecimento das limitações das chamadas técnicas convencionais de tratamento; e ii) o reconhecimento das limitações do controle laboratorial da qualidade da água.

O primeiro caso é evidenciado pela descrição de diversos surtos de doenças envolvendo a água tratada, principalmente a partir da década de 1990. Dentre os microrganismos frequentemente relacionados com tais surtos destacam-se os protozoários *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp., sendo um exemplo notório o surto de criptosporidiose ocorrido em 1993 na cidade de Milwaukee (EUA), onde 403.000 pessoas foram acometidas (Mac KENZIE *et al.*, 1994). Outra questão de caráter emergente é a ocorrência de floração de cianobactérias nos mananciais de abastecimento e os riscos à saúde relacionados às cianotoxinas.

Com relação ao controle laboratorial, destacam-se as limitações de ordem analítica ou financeira, a questão dos chamados contaminantes emergentes (químicos e biológicos), e a inexistência de indicadores de qualidade da água de emprego universal, as limitações inerentes ao princípio amostral e a dificuldade ou mesmo a impossibilidade de monitoramento em tempo real (BASTOS *et al.*, 2004).

Assim sendo, principalmente a partir da última década, tem se intensificado em todo o mundo, inclusive no Brasil, a pesquisa direcionada à inovação e otimização das técnicas de tratamento de água e à busca de indicadores adequados de qualidade da água para consumo humano.

Concomitantemente, tem se consolidado o entendimento de que “o recurso das ferramentas de avaliação e gerenciamento de riscos, aplicadas de forma abrangente e integrada, desde a captação até o consumo, é a forma mais efetiva de garantir a segurança da qualidade da água para consumo humano” (WHO, 2004; WHO, 2006).

Recentemente esta abordagem foi “traduzida” e sistematizada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) nos Planos de Segurança da Água (PSA), definidos como um instrumento que identifica e prioriza perigos e riscos em um sistema de abastecimento de água, desde o manancial até o consumidor, visando estabelecer medidas de controle para reduzi-los ou eliminá-los e estabelecer processos para verificação da eficiência da gestão dos sistemas de controle e da qualidade da água produzida. Adicionalmente, promove um sistema estruturado e organizado visando minimizar as chances de falhas e ainda gera planos de contingência para responder a falhas no sistema ou eventos de risco imprevistos. O PSA é fundamentado em métodos e técnicas de avaliação e gerenciamento de riscos, tais como, as abordagens de múltiplas barreiras e de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) (WHO, 2004, 2005, 2006).

APPCC é uma metodologia originalmente utilizada na indústria química e posteriormente incorporada à indústria alimentícia, como uma ferramenta que possibilita a identificação de perigos associados às diversas etapas de produção, a determinação de pontos críticos de controle e respectivos limites críticos operacionais através de protocolos de monitoramento, a fim de apontar medidas preventivas e, ou, corretivas que minimizem ou eliminem os riscos à saúde pública. Enfatiza, ainda, a importância do gerenciamento, da implementação de boas práticas, de avaliações regulares do sistema nas etapas de produção e do registro sistemático das atividades e vitórias realizadas.

---

<sup>1</sup> Na definição da Organização Mundial da Saúde, água segura para consumo humano é aquela que não represente risco significativo à saúde humana durante o consumo por toda a vida, incluindo as sensibilidades inerentes a cada estágio de vida (WHO, 2005).

Este trabalho visou contribuir para o estudo dos conceitos e princípios do sistema APPCC no processo de produção de água segura para consumo humano, tendo como local de aplicação o Sistema de Abastecimento de Água da Universidade Federal de Viçosa (SAA-UFV) em Minas Gerais.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Organismos patogênicos e indicadores da qualidade da água para consumo humano**

Essencialmente, abordaram-se nessa revisão os organismos patogênicos e os indicadores que foram utilizados na execução da presente pesquisa.

#### **2.1.1. Organismos patogênicos**

##### **a) Protozoários**

A descoberta de surtos relacionados com a presença de (oo)cistos de protozoários em amostras de água tem levado à intensa busca por meios possíveis de detecção rápida e de novos indicadores, a fim de reduzir os riscos associados a estes organismos.

Destaque-se a preocupação com a presença de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp., devido à resistência destas estruturas ao processo de desinfecção. Ambos são passíveis de remoção por meio da filtração, mas somente à custa de um rigoroso controle desse processo e dos processos unitários antecedentes, principalmente a coagulação (LE CHEVALIER *et al.*, 2004).

### a.1) *Cryptosporidium* spp.

O *Cryptosporidium* spp. foi identificado em 1907 por Tyzzer (NEVES, 2001). Pertence ao filo *Apicomplexa*, classe *Coccidia*, subclasse *Coccidiasina*, ordem *Eucoccidiorida*, subordem *Eimeriorina*, família *Cryptosporididae* (CAREY *et al.*, 2004). Foi reconhecido como patógeno em 1955 (ROSE, 1991), mas como zoonose apenas em 1976 (HAVELAAR, 1994). É um grupo composto de 15 espécies, sendo capaz de acometer diversos animais (Quadro 1).

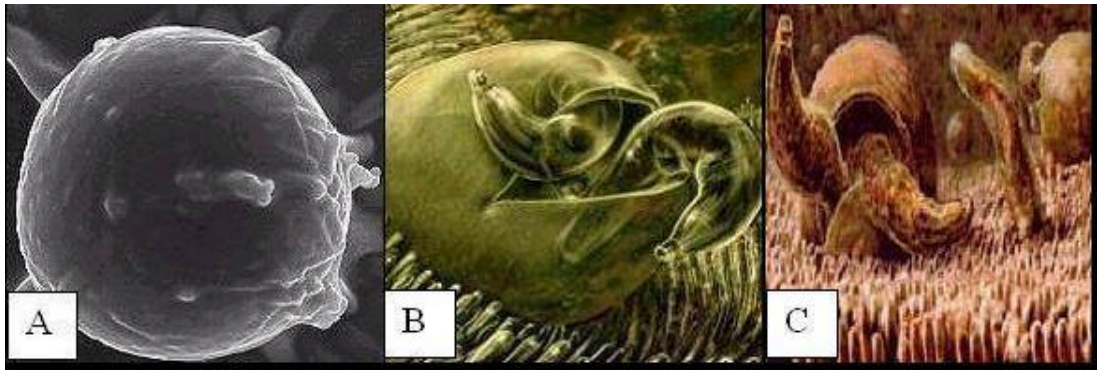
Quadro 1 – Principais espécies de *Cryptosporidium* e respectivos hospedeiros

Espécies	Seus Hospedeiros	Referência
<i>C. andersoni</i>	Bovinos e camelos	Lindsay <i>et al.</i> (2000) Xiao <i>et al.</i> (2004)
<i>C. galli</i>	Galinhas	Cuerent <i>et al.</i> (1986)
<i>C. canis</i>	Cães	Fayer <i>et al.</i> (2001)
<i>C. felis</i>	Gatos	Iseki (1979)
<i>C. hominis</i>	Humanos e macacos	Morgan-Ryan <i>et al.</i> (2002)
<i>C. nasorum</i>	Peixes	Alvarez-Pellitero (2002)
<i>C. parvum</i>	Bovinos, caprinos, ovinos e humanos	Tyzzer (1912)
<i>C. varanii</i> ( <i>C. saurophilum</i> ) <sup>1/</sup>	Lagartos e cobras	Pavlassek <i>et al.</i> (1995)
<i>C. serpentis</i>	Serpentes	Levine (1980)
<i>C. muris</i>	Roedores e camelos	Tyzzer (1907)
<i>C. wrairi</i>	Porquinho-da-Índia	Vetterling <i>et al.</i> (1971)
<i>C. meleagridis</i>	Perus e humanos	Slavin (1955)
<i>C. balleyi</i>	Galinhas e perus	Current <i>et al.</i> (1986)
<i>C. molnari</i>	Peixes	Alvarez-Pellitero (2002)
<i>C. pestis</i> <sup>2/</sup>	Bovinos	Slapeta (2006)

<sup>1/</sup>Ainda existem dúvidas se as espécies são diferentes entre si; e <sup>2/</sup> Essa espécie foi proposta recentemente, porém ainda não existe consenso na comunidade científica sobre sua validade.

Fonte: adaptado de Fayer (2004), Xiao *et al.* (2004) e Slapeta (2006).

A criptosporidiose se caracteriza por quadros de diarreia intensa, com sério comprometimento quando ocorre em indivíduos imunocomprometidos. A infecção se dá pela ingestão de oocistos em alimentos ou água contaminada (Figura 1 – A). No trato gastrointestinal, ocorre o desencistamento da estrutura liberando os esporozoítos (Figura 1–B). Esses atingem a parede do intestino (Figura 1 – C) e iniciam seu ciclo reprodutivo, desencadeando alterações no organismo acometido.



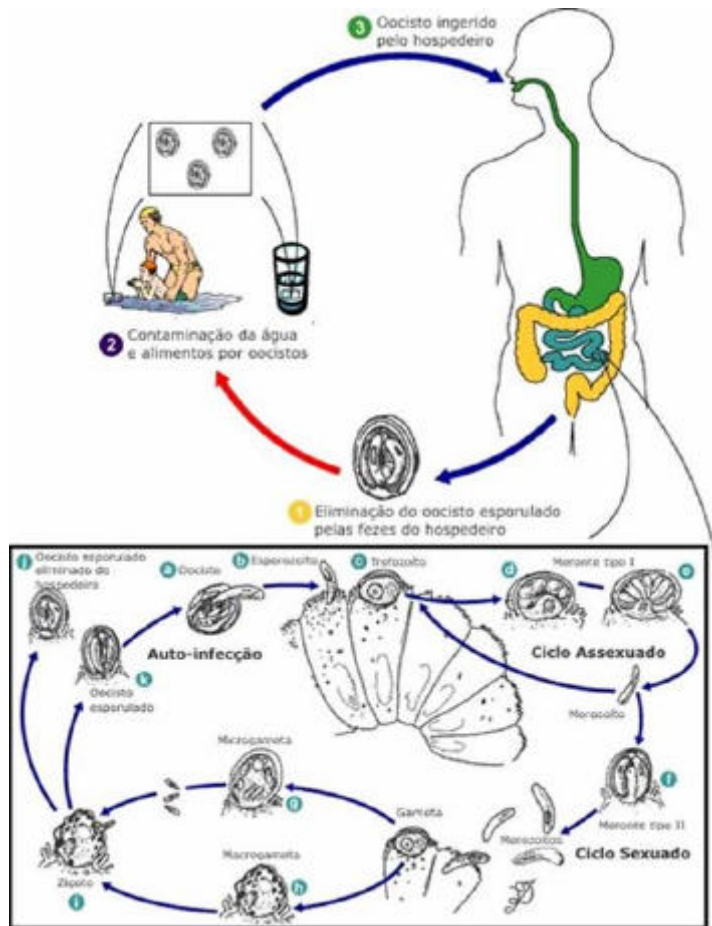
Fonte: disponível em: <<http://www.waterfilterreview.com>>.

Figura 1 – Etapas do processo de infecção por *Cryptosporidium* spp.

O ciclo biológico do *Cryptosporidium* spp. (Figura 2) é monoxênico e inicia-se com o processo de reprodução assexuada, resultando em novos trofozoítos. Em seguida, ocorre a fase de reprodução sexuada, com formação de macro e microgametas que, após a fecundação, resultam na formação de oocistos pequenos, medindo cerca de  $4,5 \times 5,0 \mu\text{m}$  em forma oval (Figura 3), os quais possuem quatro esporozoítos no seu interior (NEVES, 2001).

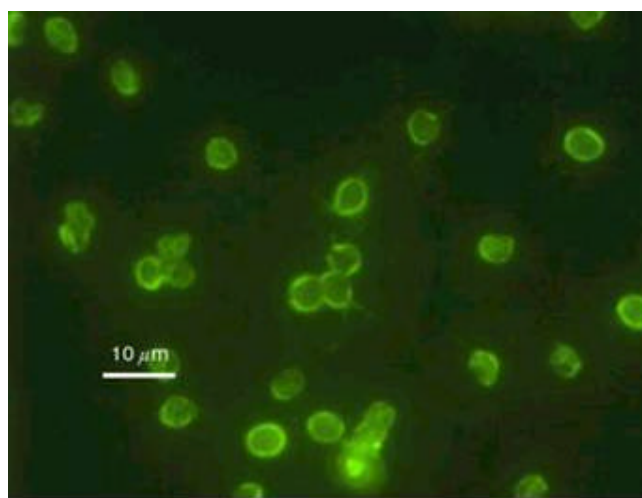
Os oocistos de *Cryptosporidium* spp. são muito resistentes a fatores ambientais adversos e a produtos de desinfecção usualmente utilizados no tratamento de água principalmente devido à constituição de sua membrana externa. Ainda, por seu reduzido tamanho, apresentam, potencialmente, dificuldade de remoção por meio da filtração (USEPA, 2001).

Em 1993, o *Cryptosporidium* spp. foi responsável por um surto veiculado pela água na cidade de Milwaukee (EUA), com aproximadamente 403.000 casos e mais de 100 óbitos (Mac KENSIE *et al.*, 1994). A água distribuída era tratada em estação convencional, com recirculação da água de lavagem de filtros. Nenhuma falha operacional foi identificada, porém, foi verificada uma elevação da turbidez no mesmo período (HUNTER, 1997). Este organismo tem sido relatado em diversas outras ocorrências de surtos desde a década de 1980 (Quadro 2).



Fonte: adaptado de figura obtida do site <<http://www.dpd.cdc.gov>>.

Figura 2 – Ilustração esquemática do ciclo de vida do *Cryptosporidium* spp.



Fonte: disponível em: <<http://www.dpd.cdc.gov>>.

Figura 3 – Oocistos de *Cryptosporidium* spp.

Quadro 2 – Surtos de criptosporidiose de veiculação hídrica

Ano	Local de Ocorrência do Surto	Tipo de Água	Casos	Referência
1987	Carrolton, Geórgia (USA)	Manancial superficial	13.000 (estimado)	Expert Group on <i>Cryptosporidium</i> in water supplies (1990)
1989	Oxford, Swindon (UK)	Manancial superficial	5.000 com 500 confirmados em laboratório	Expert Group on <i>Cryptosporidium</i> in water supplies (1990)
1993	Milwaukee, Visconsin (USA)	Manancial superficial	403.000	Machenzie <i>et al.</i> (1994)
1996	Ogose (Japão)	Manancial superficial	9.000 (estimado)	<i>Cryptosporidium</i> Capsule (newsletter, 1996)
1997	North London (UK)	Água de poço	345 casos confirmados em laboratório	Gray (1998)

Fonte: DAWSON (2005).

### a.2) *Giardia* spp.

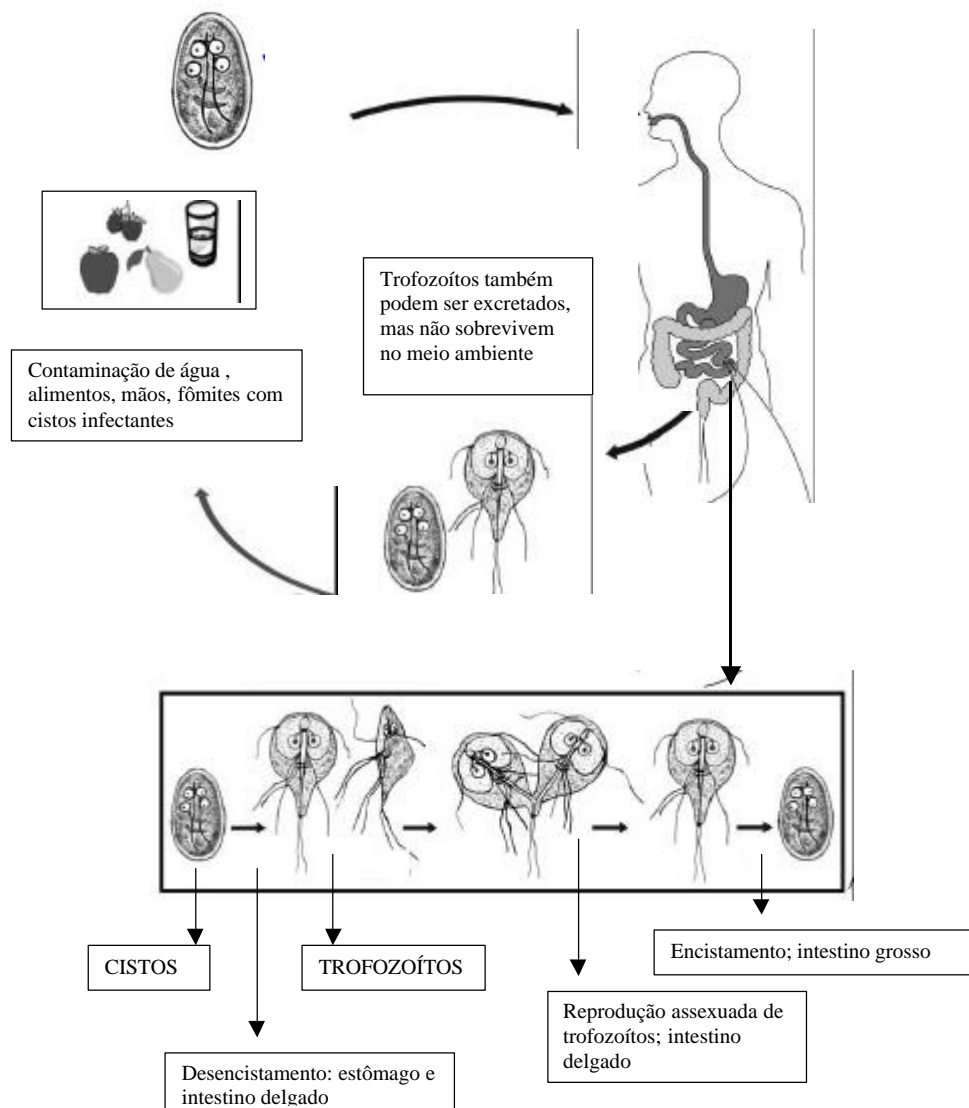
Trata-se de um protozoário pertencente ao subfiló Mastigofora (flagelados) que possui forma adulta móvel devido à presença de flagelos. Apresenta potencial caráter zoonótico, sendo capaz de acometer diversas espécies animais (Quadro 3) (MONIS; THOMPSON, 2003; STROHL *et al.*, 2004).

Quadro 3 – Principais espécies de *Giardia* e seus respectivos hospedeiros

Espécie	Hospedeiros
<i>G. duodenalis</i> ( <i>G. intestinalis</i> , <i>G. lamblia</i> )	Mamíferos, incluindo humanos, bovinos e animais domésticos
<i>G. muris</i>	Ratos
<i>G. microti</i>	Roedores
<i>G. psicatti</i>	Periquitos
<i>G. ardeae</i>	Garças
<i>G. agilis</i>	Rãs

Fonte: adaptado de Monis e Thompson (2003).

É causador da giardíase, uma doença intestinal comum na população humana, caracterizada principalmente por diarreia aquosa. Seu ciclo de vida (Figura 4) ocorre em dois estágios, o trofozoíto (binucleado com dois flagelos, com cerca de 9 - 21 x 6 - 12  $\mu\text{m}$  de dimensão) (Figura 5) e cisto (estrutura resistente com dois trofozoítos em seu interior, com dimensão média de 8,0 x 12  $\mu\text{m}$ ) (Figura 6). Os cistos são ingeridos da água ou de alimentos contaminados e os trofozoítos liberados colonizam, preferencialmente, o duodeno (STROHL *et al.*, 2004).



Fonte: adaptado de figura obtida do site <<http://www.dpd.cdc.gov>>

Figura 4 – Ilustração esquemática do ciclo de vida *Giardia* spp.



Fonte: disponível em: <<http://www.stanford.edu/class/humbio103/ParaSites2003/Giardia/GIARDIA2.htm>>.

Figura 5 – Trofozoítos de *Giardia* aderidos à parede intestinal.



Fonte: disponível em: <<http://cats.about.com/od/gastrictractdiseases/p/giardia.htm>>.

Figura 6 – Cistos de *Giardia duodenalis*.

Assim como o *Cryptosporidium* spp., esses organismos passaram a ser fonte de pesquisa em busca de novos indicadores e tecnologias de tratamento, desinfecção da água destinada ao consumo humano, principalmente, devido à resistência dos cistos à desinfecção e à ocorrência de surtos de giardíase relacionados com o consumo de água (Quadro 4), muito embora sejam menos resistentes que os oocistos de *Cryptosporidium* e menos susceptíveis ao transpasse em processos de filtração (USEPA, 1998, USEPA, 2001).

Quadro 4 – Surtos de giardíase de veiculação hídrica

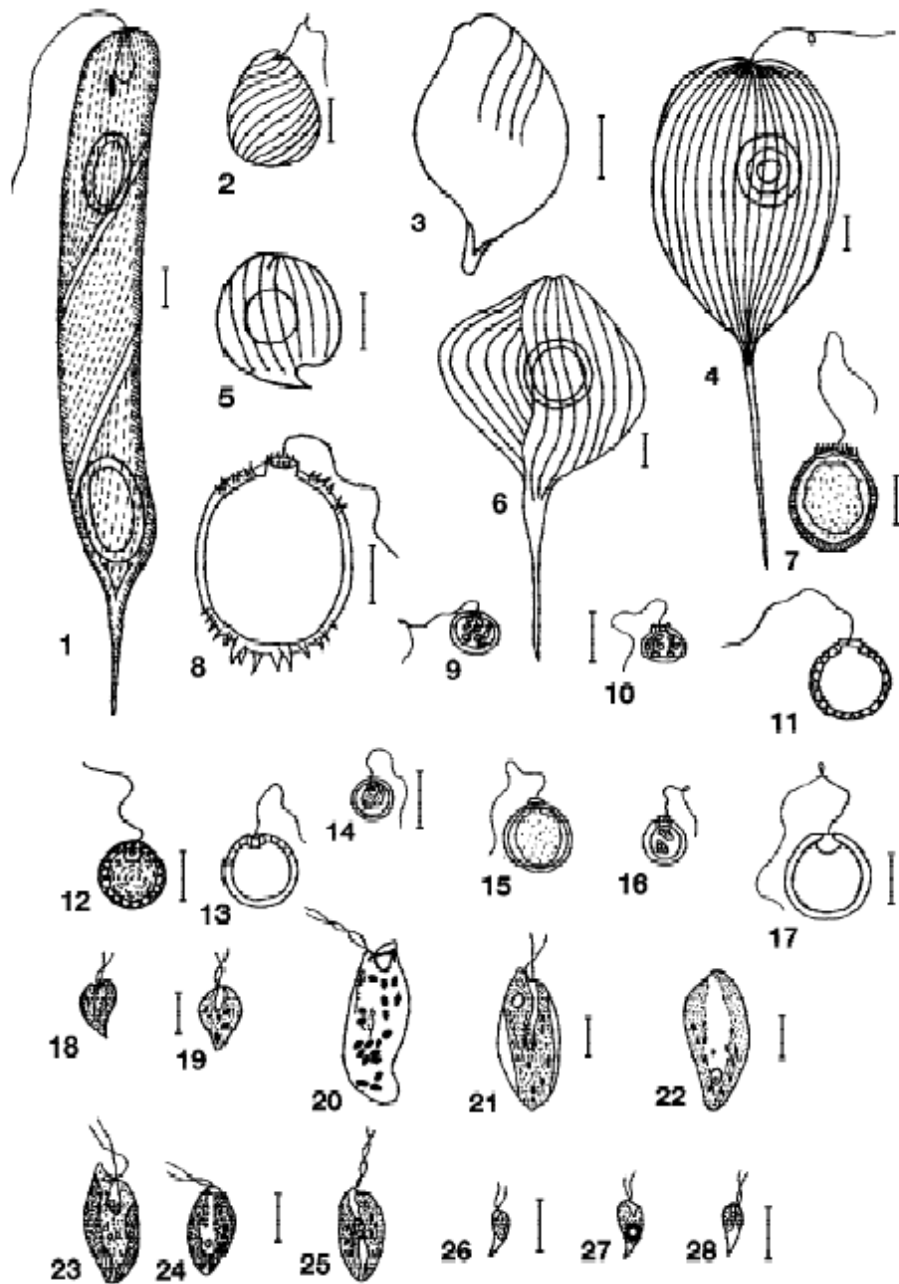
Ano	Local de Ocorrência do Surto	Tipo de Água	Casos	Referência
1985	Bristol (UK)	Reservatório de água tratada	108 casos confirmados em laboratório	Browning e Ives (1987)
1992	Sweden	Água potável	Mais de 3.000 casos estimados	Hunter (1997)
1985-1986	Massachusetts (USA)	Água não filtrada	703 casos notificados	Hunter (1997)

Fonte: DAWSON (2005).

## b) Microalgas e Cianobactérias

As microalgas apresentam importante papel na qualidade da água. Estes organismos são numerosos e distribuídos entre os grupos monera, protista e vegetais inferiores (Figura 7). As microalgas podem provocar sérios problemas em estações de tratamento de água, tais como: produção elevada de lodo, alteração na coloração da água, interferência na coagulação, entupimento de filtros de areia, e diminuição da dureza da água e liberação de metabólitos que provocam sabor e odor desagradáveis (SCHULZE *et al.*, 2003).

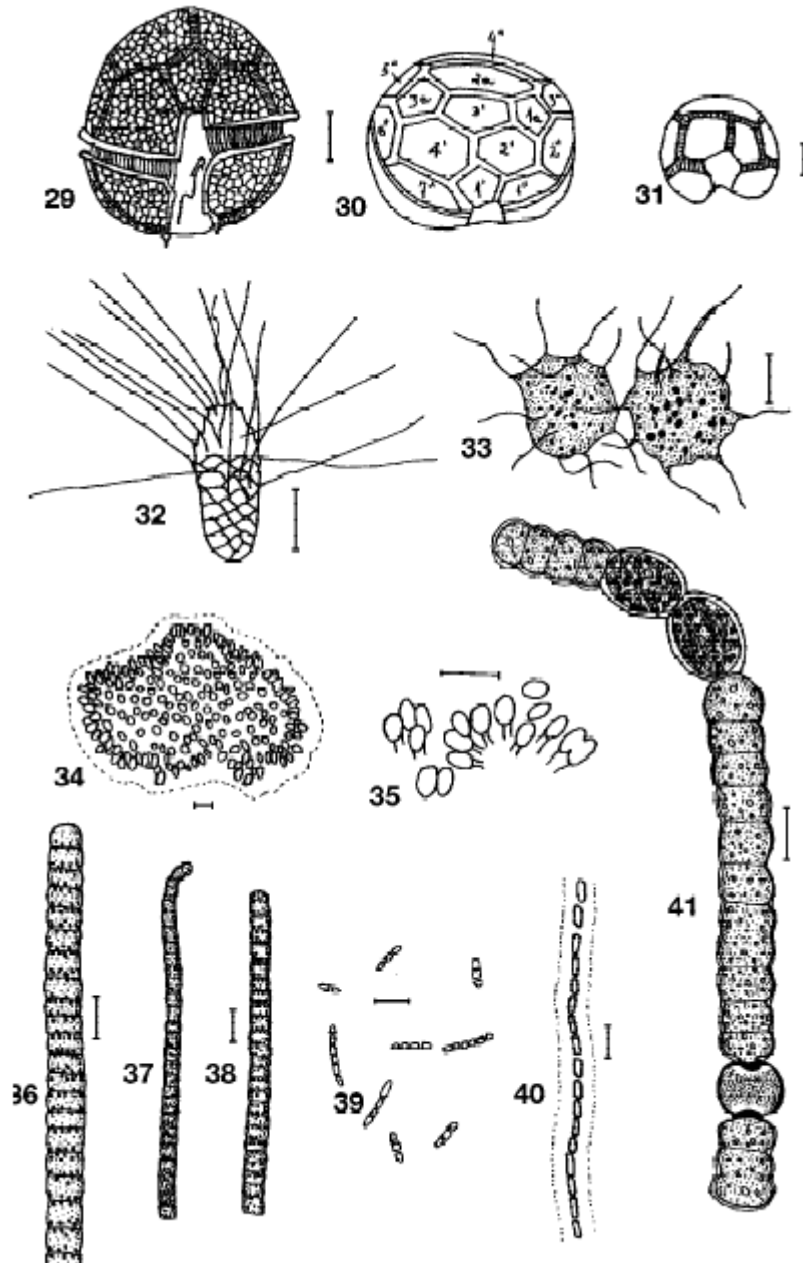
As cianobactérias pertencem ao reino monera, são organismos unicelulares, procariontes e autótrofos, adaptam-se a diversos ambientes e muitas de suas espécies são capazes de fixar o nitrogênio atmosférico. Outras, com a lise das células, podem liberar substâncias tóxicas para o ser humano – as cianotoxinas (VIDOTTI; ROLLEMBERG, 2004). Por isso, a Portaria MS nº 518/2004 proíbe o uso de algicidas nos mananciais quando a densidade exceder 20.000 células/mL.



Fonte: Giani *et al.* (1999).

Figura 7 – Ilustração de algumas espécies de microalgas. 1. *Euglena oxyuris*. 2. *Lepocinclis salina* f. *pachyderma*. 3. *L. salina* var. *vallicauda*. 4. *Phacus longicauda*. 5. *P. onyx*. 6. *P. tortus*. 7. *Trachelomonas acanthostoma* var. *minor*. 8. *T. armata*. 9-10. *T. curta*. 11-12. *T. verrucosa* var. *granulosa*. 13. *T. verrucosa* f. *irregularis*. 14-16. *T. volvocina*. Figura 17. *T. volvocinopsis*. 18-19. *Cryptomonas brasiliensis*. 20-22. *C. curvata*. 23-25. *C. erosa*. 26-28. *Rhodomonas lacustris*. Escalas = 10 µm.

(Continua...)



Fonte: Giani *et al.* (1999).

Figura 7, Cont. – 29-31. *Peridinium volzii*. 32. *Mallomonas producta* var. *marchica*. 33. *Rhizochrysis schefferlii*. 34-35. *Woronichinia naegeliana*. 36. *Phormidium tenue*. 37-38. *Phormidium* cf. *tenue*. 39. *Pseudanabaena mucicola*. 40. *P. catenata*. 41. *Anabaena solitaria*. Escalas = 10  $\mu$ m.

Dentre as cianotoxinas mais usualmente encontradas em mananciais de abastecimento de água podem ser citadas (AZEVEDO; BRANDÃO, 2003):

- Microcistinas: hepatotoxinas heptapeptídicas cíclicas produzidas por cianobactérias, com efeito potente de inibição de proteínas fosfatases dos tipos 1 e 2A e promotoras de tumores.

- Cilindrospermopsina: alcalóide guanidínico cíclico produzido por cianobactérias, inibidor de síntese protéica, predominantemente hepatotóxico, apresentando também efeitos citotóxicos nos rins, baço, coração e outros órgãos.

- Saxitoxinas: grupo de alcalóides carbamatos neurotóxicos produzido por cianobactérias, não-sulfatados (saxitoxinas) ou sulfatados (goniautoxinas e C-toxinas) e derivados decarbamil, apresentando efeitos de inibição da condução nervosa por bloqueio dos canais de sódio.

São exemplos de gêneros de cianobactérias: *Anabaena*, *Aphanothece*, *Aphanizomenon*, *Arthrospira*, *Rivularia*, *Calothrix*, *Chamaesiphon*, *Cylindrospermopsis*, *Cylindrospermum*, *Chroococcus*, *Coelosphaerium type*, *Gloecaspia*, *Gomphosferium*, *Johnmesbaptistia*, *Lyngbya*, *Merismopedia*, *Microcystis*, *Microcoleus*, *Nodulária*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Raphidiopsis*, *Schizotrix*, *Scytonema*, *Spirulina* e *Tolypothrix*.

As cianotoxinas não são facilmente removíveis nos processos convencionais de tratamento de água, o que tem sido motivo de atenção crescente na agenda da pesquisa nacional, principalmente, após ocorrência de casos de intoxicação, com 65 óbitos, em pacientes durante hemodiálise em Caruaru em 1996 (AZEVEDO; BRANDÃO, 2003).

### **2.1.2. Organismos indicadores da qualidade da água para consumo humano**

A escolha dos parâmetros indicadores da qualidade da água ocorre em função da impossibilidade de realizar análises dos organismos patogênicos como rotina nos laboratórios de análise de água, principalmente, por se tratar de análises complexas e de elevado custo.

Na avaliação da qualidade da água bruta, a interpretação básica do emprego de organismos indicadores é que sua presença atesta uma poluição de origem fecal e, portanto, risco de contaminação, ou seja, presença de patógenos. Entende-se, ainda, que a densidade de indicadores indica o grau de poluição/contaminação. Para tanto,

alguns requisitos devem ser atendidos: i) os organismos indicadores de contaminação devem ser de origem exclusivamente fecal; ii) devem apresentar maior resistência que os patogênicos aos efeitos adversos do meio ambiente; iii) devem se apresentar em maior número que os patogênicos; iv) não devem se reproduzir no meio ambiente; e v) devem ser de fácil identificação (BASTOS *et al.*, 2000).

No efluente de processos unitários de tratamento de água ou no efluente final de uma estação de tratamento de água (ETA), o emprego desses organismos assume o sentido de indicadores da eficiência do tratamento, a partir dos seguintes pressupostos: i) a ausência do organismo indicador no efluente indicaria a ausência de patógenos, pela destruição e, ou, remoção de ambos por meio dos processos de tratamento; e ii) sua concentração residual no efluente deveria guardar uma relação proporcional com a concentração residual de patógenos ou corresponder à ausência e patógenos. Portanto, para que um organismo cumpra este papel os seguintes requisitos devem também ser observados: i) o indicador deve ser mais resistente aos processos de tratamento que os patógenos; ii) o mecanismo de remoção de ambos deve ser similar; e iii) o indicador deve estar presente no afluente em densidades superiores às dos patógenos e as taxas de remoção/decaimento de ambos devem ser similares ou a dos patógenos superior à dos indicadores (BASTOS *et al.*, 2000; BASTOS *et al.*, 2003a).

Como não há um único organismo que satisfaça, simultaneamente todas estas condições, deve-se trabalhar com o(s) indicador(es) que apresentar a melhor associação com os riscos à saúde relacionados com um determinado ambiente ou situação (BASTOS *et al.*, 2000).

Os organismos indicadores de contaminação e de eficiência de tratamento tradicionalmente utilizados pela engenharia e microbiologia sanitárias são as bactérias do grupo coliforme, as quais, entretanto, apresentam limitações na avaliação da qualidade da água. Alternativamente, tem-se buscado o emprego de outros organismos, por exemplo, *Bacillus subtilis* e *Clostridium perfringens*, os quais apresentam também vantagens e desvantagens.

Além dos organismos indicadores de contaminação, a contagem de células de microalgas e cianobactérias nos mananciais de abastecimento é um recurso importante para avaliar o grau de eutrofização e a presença de organismos produtores de substâncias tóxicas para os seres humanos.

## a) Bactérias do grupo coliforme

A Portaria MS nº 518/2004 traz as seguintes definições:

*Coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) – bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a  $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.*

*Coliformes termotolerantes: subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a  $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal.*

**Escherichia coli*: bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a  $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  em 24 horas produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas  $\beta$  galactosidase e  $\beta$  glicoronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.*

Como o grupo coliformes totais inclui vários gêneros e espécies de vida livre, sua utilização como indicador de contaminação de fontes de abastecimento fica comprometida. O grupo dos coliformes termotolerantes acaba também por incluir bactérias de origem não exclusivamente fecal, embora em menor proporção que o grupo dos coliformes totais. Por isso, sua utilização na avaliação da qualidade de águas naturais, principalmente em países de clima tropical, também tem sido questionada. Não obstante, pelo fato de que a presença de coliformes termotolerantes, na maioria das vezes, guarda melhor relação com a presença de *E. coli*, aliado à simplicidade das técnicas laboratoriais de detecção, seu emprego ainda é aceitável. Neste caso, a *E.coli* será sempre o indicador mais preciso de contaminação que os coliformes totais e termotolerantes (BASTOS *et al.*, 2000; WHO, 2004).

Na avaliação da eficiência da desinfecção, tanto os coliformes totais e os termotolerantes, como a *E. coli*, prestam-se ao papel de indicadores, porém apenas da inativação de bactérias, uma vez que são mais resistentes que as bactérias patogênicas, mas menos resistentes que os vírus e os protozoários. Na avaliação da eficiência da filtração, principalmente da filtração rápida, as bactérias do grupo

coliforme, em tese, não são bons indicadores, já que não é este (a filtração) o principal mecanismo de sua remoção (BASTOS *et al.*, 2003a; WHO, 2004).

A presença de fimbrias ou pili na parede celular da *E. coli* permite sua aderência às superfícies mucosas intestinais dos hospedeiros. E, embora seja uma espécie constituinte da microbiota intestinal, podem tornar-se patogênicas devido às variações entre as diversas cepas existentes. As cepas patogênicas são divididas nos seguintes grupos: *E. coli* enterotoxigênica, *E. coli* enteropatogênica e *E. coli* enterohemorrágica, dentre estas, a mais comum é a cepa *E. coli* O157:H7, associada a casos graves de colite hemorrágica (STROHL *et al.*, 2004).

## **b) Bactérias heterotróficas**

Na Portaria MS nº 518/2004 encontra-se a seguinte definição:

*Contagem de bactérias heterotróficas - determinação da densidade de bactérias que são capazes de produzir unidades formadoras de colônias (UFC), na presença de compostos orgânicos contidos em meio de cultura apropriado, sob condições pré-estabelecidas de incubação: 35,0 ± 0,5 °C por 48 horas.*

O termo *heterotrophic plate count* (HPC) é freqüentemente confundido com bactérias heterotróficas. Essas incluem todas as bactérias que utilizam carbono orgânico como fonte de nutrientes, enquanto HPC se refere a um grupo específico de organismos heterotróficos, isolado segundo um determinado método, com meio de cultura específico, tempo e temperatura de incubação específicos (ALLEN *et al.*, 2004).

A contagem de bactérias heterotróficas é utilizada na avaliação da qualidade da água desde 1880, sendo realizada ao final do tratamento e no sistema de distribuição (SARTORY, 2004). O teste inclui a detecção, inespecífica, de bactérias, dos esporos de bactérias de origem fecal ou componentes da flora natural da água, ou, ainda, resultantes da formação de biofilmes no sistema de distribuição, sendo algumas patogênicas oportunistas<sup>2</sup> (ex.: *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Moraxella*, *Serratia*, *Pseudomonas*) (Quadro 5). Portanto, presta-se ao

---

<sup>2</sup> Patógenos oportunistas são organismos que, normalmente, não causam doença quando localizados em seu habitat normal em um hospedeiro saudável (TORTORA *et al.*, 2000).

Quadro 5 – Gêneros e, ou, espécies comumente encontrados durante a contagem de bactérias heterotróficas em água potável

<i>Acinetobacter</i>	<i>Methylomonas</i>
<i>Actinomycetesa</i>	<i>Micrococcus</i>
<i>Aeromonas hydrophila</i>	<i>Morexella</i>
<i>Aeromonasa</i>	<i>Mycobacterium</i>
<i>Alcaligenes</i>	<i>Nitrobacter</i>
<i>Arthrobacter</i>	<i>Nitrosomonas</i>
<i>Bacillus</i>	<i>Nocardia</i>
<i>Beggiatoa</i>	<i>Proteus</i>
<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Pseudomonas</i>
<i>Corynebacterium</i>	<i>P. cepacia</i>
<i>Crenothrix</i>	<i>P. fluorescens</i>
<i>Desulfovibrio</i>	<i>P. maltophilia</i>
<i>Enterobacter agglomerans</i>	<i>Serratia liquefaciens</i>
<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Sphaerotilus</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Sphingomonas</i>
<i>Flavobacterium</i>	<i>Staphylococcus</i>
<i>Flavobacterium meningosepticum</i>	<i>Streptococcus</i>
<i>Gallionella</i>	<i>Streptomyces</i>
<i>Hafnia alvei</i>	<i>Yersinia enterocolitica</i>
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	

Fonte: ALLEN *et al.* (2004).

papel de indicador auxiliar da qualidade da água ao fornecer informações adicionais sobre: eventuais falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição, eventuais alterações na qualidade da água na reservação ou a integridade do sistema de distribuição. Adicionalmente, a contagem de bactérias heterotróficas serve como um controle de qualidade das análises de coliformes, já que elevadas densidades de bactérias podem inibir o crescimento dos coliformes em meios de cultura à base de lactose (BARTRAM *et al.*, 2003; EDBERG; ALLEN, 2004).

### c) Esporos aeróbios e *Bacillus subtilis*

Algumas bactérias aeróbias, dentre elas *Bacillus subtilis*, são capazes de formar endósporos<sup>3</sup> de resistência em resposta a sinais ambientais ou fisiológicos (Figura 7) (REAL; HENRIQUES, 1999). A parede espessa desses esporos apresenta resistência também a agentes químicos e físicos utilizados na desinfecção (PELCZAR *et al.*, 1996) e por isso tem merecido atenção como potenciais indicadores de qualidade da água, inclusive da remoção de *Cryptosporidium* spp. em amostras de água tratada (RADZIMINSKI *et al.*, 2002).

As espécies do gênero *Bacillus* são organismos pertencentes à família Bacillaceae, Gram-positivas, estrita ou facultativamente aeróbicas. São classificadas nos subgrupos *B. polymyxa*, *B. subtilis* (que inclui *B. cereus* e *B. licheniformis*), *B. brevis* e *B. anthracis*. Dentre as espécies do gênero *Bacillus*, algumas são consideradas patogênicas aos seres humanos e demais mamíferos, como o *Bacillus anthracis* (causa o antraz em seres humanos e outros animais) e *Bacillus cereus* (sugerido como causa de intoxicação alimentar em indivíduos saudáveis e bacteremia em indivíduos imunocomprometidos, tendo como sintomas, diarreia e vômito) (STROHL *et al.*, 2004; OMS, 2006).

O subgrupo *Bacillus subtilis* tem como habitat natural o solo, podendo ser encontrado na água e no ar. Essas bactérias são classificadas entre as rizobactérias, auxiliando na nodulação de raízes e no controle de crescimento de microrganismos fitopatogênicos (MELO; VALARINI, 1995; LAZZARETTI; MELO, 2005). Algumas linhagens são estudadas como agentes de controle biológico de bactérias e fungos e como produtoras de antibióticos (LAZZARETTI; MELO, 2005). São consideradas, ainda, como importantes fontes produtoras de amilase e utilizadas como probióticos na alimentação animal (FLEMMING; FREITAS, 2005; BEZERRA *et al.*, 2006).

---

<sup>3</sup> Endósporos são definidos como células especializadas de 'repouso', desidratadas, altamente duráveis, com paredes espessas e camadas adicionais e que são formados dentro da membrana celular bacteriana em situações adversas, como, restrição ou depleção de nutrientes essenciais. Quando os endósporos são liberados do interior da célula, no ambiente, podem sobreviver a temperaturas extremas, falta de água e exposição a muitas substâncias tóxicas e à radiação. O processo de formação de endósporos dentro de uma célula-mãe vegetativa leva várias horas e é conhecido como esporulação ou esporogênese (TORTORA *et al.*, 2000).

#### d) Esporos anaeróbios e *Clostridium perfringens*

Algumas bactérias anaeróbias apresentam também capacidade de produzir esporos de resistência, o que favorece sua permanência no ambiente por períodos prolongados (TORTORA *et al.*, 2000; LOBATO; ASSIS, 2005) e as tornam resistentes aos processos de desinfecção. Por isso, têm sido bastante estudadas como indicadores de contaminação ambiental mais remota e da eficiência da desinfecção, inclusive da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. (SCHIJVEN, *et al.*, 2002; SAVICHTCHEVA; OKABE, 2006).

Dentre os endósporos anaeróbios, os mais relatados em pesquisas de amostras ambientais, em destaque na água, são aqueles formados pela espécie *Clostridium perfringens*, cujas características como organismo indicador se encontram resumidas no Quadro 6.

Quadro 6 – Adequação da espécie *Clostridium perfringens* aos critérios de organismo indicador

<b>Critério</b>	<b>Característica do <i>Clostridium perfringens</i></b>
Presença em fezes e ambiente aquático	Inteiramente de origem fecal e, conseqüentemente, presente em esgoto e ambientes aquáticos (SORENSEN <i>et al.</i> , 1989; HURST <i>et al.</i> , 2002); indicador de contaminação fecal remota (SORENSEN <i>et al.</i> , 1989; DESMARAIS <i>et al.</i> , 2002)
Capacidade de multiplicar e sobreviver no ambiente aquático	Estável às variações ambientais (DAVIES <i>et al.</i> , 1995; HORMAN <i>et al.</i> , 2004); não sofre efeitos de temperatura ou predação (HURST <i>et al.</i> , 2002)
Correlação com patógenos e doenças veiculadas pela água	Boa correlação com alguns patógenos (MORINIGO <i>et al.</i> , 1990; DAVIES <i>et al.</i> , 1995); indicativo de eficiência de inativação de vírus, cistos e oocistos (PAYMENT; FRANCO, 1993; PAYMENT <i>et al.</i> , 2000); alta correlação com casos de diarreia (KUEH <i>et al.</i> , 1995)
Metodologia laboratorial aplicável	Métodos frequentemente baseados em provas bioquímicas facilitando o isolamento e a identificação (SORENSEN <i>et al.</i> , 1989; DESMARAIS <i>et al.</i> , 2002)

Fonte: SAVICHTCHEVA e OKABE (2006).

Os clostrídios são considerados os bacilos Gram-positivos anaeróbicos de maior importância clínica e, dentre eles, destaca-se o *Clostridium perfringens* pela produção de uma variedade de exotoxinas, enterotoxinas e enzimas hidrolíticas. Embora sejam bactérias da flora normal da vagina e do trato gastrointestinal são

causadoras de uma forma comum de intoxicação alimentar e quando introduzidas nos tecidos, levam a casos de celulite anaeróbica e mionecrose (STROHL *et al.*, 2004). São também relatadas em processos infecciosos em bovinos, eqüinos e suínos (COSTA *et al.*, 2004; OTUKI; BALDASSI, 2004; PENHA *et al.*, 2005).

## 2.2. Indicadores não biológicos da eficiência do tratamento

A remoção de turbidez, por meio da filtração, indica a remoção de partículas em suspensão e, portanto, potencialmente de (oo)cistos de protozoários. Critérios estabelecidos na regulamentação de alguns países (por exemplo, EUA e Canadá) incluem (USEPA, 2000; USEPA, 2001):

- Remoção/inativação conjunta, por meio da filtração-desinfecção de 99,9% (3 log) de cistos de *Giardia*: turbidez da água filtrada inferior a 0,5 uT (unidade de turbidez) para a filtração rápida e 1,0 uT para a filtração lenta (2,5 log de remoção), complementada por desinfecção adequada para inativação equivalente a 0,5 log, controlada pelo tempo de contato, residual de cloro livre e temperatura.

- Remoção de 99% (2,0 log) de oocistos de *Cryptosporidium*: turbidez da água filtrada inferior a 0,3 uT para a filtração rápida e 1,0 uT para a filtração lenta.

A turbidez da água pré-desinfecção, precedida ou não de filtração, é também um parâmetro de controle da eficiência da desinfecção, no entendimento de que partículas em suspensão podem proteger os microrganismos da ação do desinfetante (WHO, 2004).

Percebe-se, nestes critérios, que alguma remoção de cistos de *Giardia* é esperada na desinfecção, mas não de oocistos de *Cryptosporidium*. Registre-se, também, que as eficiências de remoção almejadas (99,99% para vírus, e as outras supracitadas) encontram-se baseadas em informações de ocorrência desses organismos em mananciais nos EUA e na admissão de um risco anual de infecção de  $10^{-4}$  (1:10.000) para os diversos organismos patogênicos transmissíveis via abastecimento de água para consumo humano. Significa dizer que se considera aceitável um caso anual de infecção em cada 10.000 pessoas dentre uma população consumidora. Entretanto, para garantir um risco anual máximo de infecção de  $10^{-4}$ , a remoção/inativação requerida depende da concentração de organismos na água bruta (ROSE *et al.*, 1991; WHO, 2004).

A eficiência da desinfecção é usualmente aferida pelo parâmetro CT (mg.min/L), produto do residual desinfetantes na saída do tanque de contato [C (mg/L)] pelo tempo de contato [T (minutos)]. A seguir, apresenta-se a metodologia proposta pela USEPA para a estimativa de remoção/inativação de vírus e de cistos de *Giardia* (USEPA, 1991). O texto que segue é extraído de Bastos *et al.*, (2005).

### - Remoção/inativação de cistos de *Giardia*

1) Computar a remoção de cistos de *Giardia* por meio da filtração: turbidez < 0,5 uT = 2,5 log

2) Com base no residual de cloro livre na saída do tanque de contato (C) e na determinação do tempo de contato (T), calcular CT (mg.min/L). O tempo de contato deve, preferencialmente, referir-se ao tempo de detenção hidráulica real do tanque de contato, o que pode ser determinado a partir de ensaios com traçadores.

3) Com base na medida de pH e temperatura no tanque de contato, determinar CT<sub>99,9</sub> para cistos de *Giardia* e (valores tabelados: USEPA, 1991).

4) Estimar a inativação de cistos de *Giardia*

$$\text{Log-inativação (Giardia)} = 3 (CT_{\text{calc}} / CT_{99,9})$$

Ou, alternativamente pela aplicação direta da equação 1 (USEPA, 1991):

$$\log - \text{remoção} = \frac{CT_{\text{calculado}}}{0,2828 \times pH^{2,69} \times CRL^{0,15} \times 0,933^{\text{Temperatura} \times 5}} \quad (1)$$

em que

CT = produto concentração do desinfetante (C) e tempo de contato (T); e

CRL = Cloro residual livre.

Se houver mais de uma unidade de contato, por exemplo, reservatórios de distribuição na saída da ETA, computar cumulativamente as unidades logarítmicas de inativação.

5) Computar cumulativamente a remoção na filtração e desinfecção.

## - Inativação de vírus

1) Com base no residual de cloro livre (ou de outro desinfetante) na saída do tanque de contato (C) e na determinação do tempo de contato (T), calcular CT (mg.min/L).

2) Com base na medida de pH e temperatura no tanque de contato, determinar  $CT_{99,99}$  para vírus (valores tabelados: USEPA, 1991).

4) Estimar a inativação de vírus

$$\text{Log-inativação (vírus)} = 4 (CT_{\text{calc}} / CT_{99,99})$$

Ou alternativamente pela aplicação direta da equação 2 (USEPA, 1991):

$$(pH6 - 9) : \log - \text{remoção} = \frac{(CT_{\text{calculado}} \times e^{0,071 \times \text{Temperatura}}) - 0,42}{2,94} \quad (2)$$

em que

CT = produto concentração do desinfetante (C) e tempo de contato (T).

Se houver mais de uma unidade de contato, por exemplo, reservatórios de distribuição na saída da ETA, computar cumulativamente as unidades logarítmicas de inativação.

A metodologia deve ser aplicada aos dados de monitoramento diário, com base nos quais podem ser estimadas médias mensais.

Se conhecida a concentração de patógenos na água bruta e, conseqüentemente, a remoção requerida, a metodologia passaria a ser aplicada da seguinte forma:

$$CT \text{ requerido} = (\log \text{ inativação requerido} / 3,0 \log) \times CT_{99,9} \quad (3)$$

em que

CT = produto concentração do desinfetante (C) e tempo de contato (T).

Por fim, há que se destacar uma limitação importante na metodologia apresentada: na estimativa de remoção de cistos por meio da filtração não se consideram valores intermediários; se a turbidez da água filtrada for  $< 0,5$  uT são computados 2,5 log de remoção, caso contrário a remoção é considerada nula.

## **2.3. Etapas de produção em uma Estação de Tratamento de Água**

A descrição a seguir, dos diversos processos/operações de tratamento, é apresentada como uma breve contextualização. São descritos, apenas, os processos/operações presentes na ETA objeto deste estudo, sendo o texto apresentado extraído, essencialmente, de Bastos *et al.* [sd] Maiores informações devem ser buscadas na literatura clássica sobre tratamento de água, como, por exemplo, Di Bernardo e Di Bernardo (2005a, b).

A tecnologia de tratamento de água mais utilizada no Brasil é o chamado tratamento convencional ou em ciclo completo, incluindo os seguintes processos unitários: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Os objetivos, principalmente, são a clarificação e desinfecção, ou seja, a redução e, ou, a eliminação de organismos patogênicos e contaminantes químicos.

### **2.3.1. Coagulação – Floculação**

Coagulação se refere ao fenômeno químico da desestabilização das cargas superficiais, geralmente negativas, das partículas coloidais e em suspensão presentes na água, a partir da adição de um coagulante. O coagulante deve ser aplicado de forma homogênea em unidades de mistura rápida, hidráulicas ou mecanizadas. Com a adição do coagulante, o que se busca é a minimização ou eliminação das forças de repulsão eletrostáticas existentes entre as partículas, tornando possível a predominância das forças de atração entre elas e, portanto, possibilitando sua aglomeração (formação de flocos) na etapa seguinte de floculação. Os flocos formados, em função de seu tamanho, densidade e características físico-químicas, poderão ser removidos da água por processos de separação, tais como sedimentação e filtração. Os mecanismos de coagulação adequados à qualidade da água e ao processo predominantemente responsável pela remoção dos flocos devem ser controlados por meio da dose de coagulante aplicada e do pH da água. Os coagulantes mais utilizados no Brasil são os sais de alumínio e de ferro.

### 2.3.2. Decantação

A operação onde ocorre a sedimentação dos flocos formados na etapa anterior (floculação). Trata-se de uma importante fase da clarificação, sendo entendida como a primeira barreira à passagem de microrganismos no processo de tratamento convencional.

Especificamente em relação aos protozoários, estando os (oo)cistos presentes na água como partículas em suspensão e dotados também de carga elétrica negativa, sua remoção depende em primeira instância de um bom condicionamento químico da água (coagulação) (BETANCOURT; ROSE, 2004).

Conforme apresentado anteriormente, (oo)cistos de protozoários apresentam tamanhos extremamente reduzidos (dimensões de 8  $\mu\text{m}$  x 12 $\mu\text{m}$ , para cistos de *Giardia* spp., e 4,5  $\mu\text{m}$  x 5,0 $\mu\text{m}$ , para oocistos de *Cryptosporidium* spp.), adicionalmente, possuem superfície negativa, tornando-os similares àquelas partículas de típica ocorrência natural na água superficial. Daí e Boll (2006) registram velocidades de sedimentação de 0,87  $\mu\text{m/s}$  e 0,88  $\mu\text{m/s}$  para cistos de *Giardia duodenalis* e oocistos de *Cryptosporidium parvum*, respectivamente. Os flocos obtidos com emprego de agentes coagulantes possuem uma velocidade média de sedimentação entre 0,02 e 0,08 cm/s. Isto demonstra claramente a importância do sucesso das etapas de coagulação-floculação para que os (oo)cistos possam de alguma forma ser removidos por sedimentação.

### 2.3.3. Filtração

A filtração consiste na remoção física de partículas em suspensão e de microrganismos, constituindo a última barreira para as partículas antes da distribuição. No tratamento convencional, constitui uma importante barreira aos cistos de *Giardia* e a última aos oocistos de *Cryptosporidium*.

A filtração envolve a passagem da água através de um meio granular em camadas de materiais com diferentes porosidades (geralmente areia, embora outros materiais possam ser utilizados). A remoção de impurezas nesse processo é complexa e pode envolver mecanismos físicos, químicos e biológicos, a depender do tipo de filtro.

Os filtros podem ser classificados com base na taxa de filtração (vazão de água tratada por unidade de área do filtro, o que corresponde à velocidade de filtração): filtros rápidos (taxa de filtração usualmente de 120 a 600 m/d) ou filtros lentos (taxa de filtração usualmente de 2 a 6 m/d). Segundo o sentido do fluxo de água, podem ser classificados como descendentes ou ascendentes. Os filtros rápidos descendentes são adotados no tratamento convencional (ciclo completo), na filtração direta ou na segunda etapa da dupla filtração.

Após certo período de funcionamento, é necessário proceder à limpeza do filtro, em geral por retrolavagem com água tratada. Este processo promove a fluidificação parcial do meio filtrante e o conseqüente desprendimento das impurezas. A reciclagem da água de lavagem dos filtros vem se tornando uma prática crescente, a fim de reduzir os desperdícios nas estações de tratamento. Contudo, tal prática pode levar a um aumento considerável da carga microbológica na água a ser tratada.

#### **2.3.4. Desinfecção**

A desinfecção é o processo que tem como objetivo inativar ou destruir microrganismos presentes na água, com a aplicação de agentes físicos ou químicos, dentre os quais: radiação ultravioleta, cloro, ozônio e dióxido de cloro. No Brasil, a cloração é o processo de mais largo uso.

O cloro reage com a água e parte dele é consumida em reações com a matéria orgânica e inorgânica presente no meio, o que representa a demanda de cloro da água. Completadas as reações, permanecem teores de cloro residual, que podem se apresentar nas formas de cloro residual livre ou cloro residual combinado, sendo o primeiro um desinfetante bem mais potente. Tanto o cloro livre quanto o cloro combinado podem se apresentar em formas diversas, dependendo do pH.

A inativação dos microrganismos se dá pela ação de certa dose do desinfetante por um determinado tempo de contato. A eficiência da desinfecção é determinada pelo parâmetro CT (residual desinfetante x tempo de contato) (equação 4) necessário para alcançar uma dada remoção dos diversos microrganismos, usualmente medida em percentual (%) ou unidades logarítmicas (ex.: 99,9% ou 3 log).

$$K = C.T \quad (4)$$

em que

K = constante para cada microrganismo; função da temperatura e do pH (mg.min/L);

C = concentração do desinfetante (mg/L); e

T = tempo de contato para uma dada eficiência de inativação (min).

As bactérias são os organismos mais susceptíveis à ação do cloro. Para a inativação de vírus são necessários valores de CT bem mais elevados, mas ainda é algo factível frente às práticas de tratamento usuais no país. A inativação de protozoários por meio da desinfecção é extremamente difícil devido a seu grau de resistência ao cloro. Para cistos de *Giardia* spp., espera-se obter a remoção de uma unidade logarítmica nesta fase. O mesmo não é esperado para oocistos de *Cryptosporidium* spp. (BETANCOURT, 2004).

#### **2.4. Alguns aspectos da norma brasileira de qualidade da água para consumo humano**

No Brasil, a regulamentação sobre potabilidade, controle (responsabilidade dos prestadores de serviço em abastecimento de água) e vigilância da qualidade da água para consumo humano (responsabilidade do setor saúde) é uma atribuição do Ministério da Saúde. Institucionalmente, a definição de diretrizes e a implementação de políticas relacionadas à qualidade da água estão localizadas na Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental/Secretaria de Vigilância em Saúde/Ministério da Saúde (CGVAM/SVS/MS).

O padrão de potabilidade e os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano se encontram estabelecidos na Portaria MS nº 518 de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004).

Nessa legislação se encontra a seguinte definição de água potável: (...) *água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde.*

Percebe-se aqui a similaridade com o conceito de água segura para consumo humano, como definido pela OMS (WHO, 2004), e o reconhecimento implícito dos já citados limites do controle laboratorial, ou seja, para que uma água seja considerada potável não basta que seja atendido o padrão de potabilidade (HELLER *et al.*, 2005).

Segundo a Portaria MS nº 518/2004, o padrão de potabilidade é dividido em: i) padrão microbiológico; ii) padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde (substâncias inorgânicas, substâncias orgânicas, agrotóxicos, cianotoxinas, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção); iii) padrão de radioatividade; e iv) padrão de aceitação para consumo humano (BRASIL, 2004).

O padrão microbiológico é, essencialmente, definido em termos de indicadores – bactérias do grupo coliforme e turbidez (Quadros 7 e 8).

Quadro 7 – Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano

Parâmetro	VMP <sup>1/</sup>
Água para consumo humano <sup>2/</sup>	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes <sup>3/</sup>	Ausência em 100 mL
Água na saída do tratamento:	
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
Água tratada no sistema de distribuição (reservatório e rede):	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes <sup>3/</sup>	Ausência em 100 mL
	Sistemas que analisam 40 ou mais amostras por mês:
	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês
Coliformes totais	Sistemas que analisam menos de 40 amostras por mês:
	Apenas uma amostra poderá apresentar mensalmente resultado positivo em 100 mL

<sup>1/</sup> valor máximo permitido; <sup>2/</sup> água para consumo em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras; <sup>3/</sup> a detecção de *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada.

Fonte: BRASIL (2005).

Quadro 8 – Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção

Tratamento da Água	VMP
Desinfecção (água subterrânea)	1,0 uT em 95% das amostras
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	1,0 uT
Filtração lenta	2,0 uT

Fonte: BRASIL (2005).

A Portaria MS nº 518/2004 recomenda a inclusão de pesquisa de organismos patogênicos como enterovírus, cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. e, a fim de assegurar a remoção destes organismos, que para a filtração rápida se

estabeleça como meta a obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5 uT em 95% dos dados mensais e nunca superiores a 5,0 uT.

Recomenda, ainda, que a desinfecção seja efetuada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos. A presença de cloro residual livre após a desinfecção deve ser de 0,5 mg/L e mantida, no mínimo, em 0,2 mg/L e máximo 5 mg/L em qualquer ponto do sistema de distribuição.

Localiza-se aqui o reconhecimento implícito da limitação dos coliformes como indicadores plenos de potabilidade da água e o emprego de parâmetros auxiliares (turbidez e parâmetros de controle da desinfecção), como indicadores da remoção de protozoários e vírus, respectivamente (BASTOS *et al.*, 2001).

Além das análises de coliformes, a contagem de bactérias heterotróficas deve ser realizada em 20% das amostras coletadas mensalmente.

Dentre os 5% dos valores de turbidez superiores ao VMP, o limite máximo para qualquer amostra pontual deve ser 5,0 uT.

Como critério de aceitação para o consumo são estipulados, dentre outros parâmetros, valores máximos permitidos de 15 uC para cor aparente e 5 uT para turbidez, além da recomendação de um valor máximo 2,0 mg/L de cloro residual livre no sistema de distribuição.

A frequência de amostragem estabelecida na Portaria MS nº518/2004 para a determinação de coliformes é apresentada no Quadro 9.

Quadro 9 – Número mínimo de amostras mensais para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises microbiológicas, em função da população abastecida

Parâmetro	Sistema de Distribuição (Reservatório e Rede)			
	População abastecida			
	< 5.000 hab.	5.000 a 20.00 hab.	20.000 a 250.000 hab.	> 250.000 hab.
Coliformes totais	10	1 para cada 500 hab.	30 + (1 para cada 2.000 hab.)	105 + (1 para cada 5.000 hab.) Máximo de 1.000

Fonte: BRASIL (2005).

No caso de detecção de coliformes em qualquer ponto do sistema, deve ser realizada a coleta de amostras em dias sucessivos e tomadas medidas corretivas até que as amostras revelem resultado satisfatório.

Na saída do tratamento a turbidez e o cloro residual devem ser determinados diariamente, a cada duas horas; a turbidez pré-desinfecção e pós-filtração lenta deve

ser determinada com base em amostras, no mínimo, diárias e a cada quatro horas no caso da filtração rápida, preferencialmente no efluente individual de cada filtro.

A Portaria MS nº 518/2004 introduz, ainda, a importante exigência de contagem de cianobactérias no manancial de abastecimento, com frequência mensal para contagens até 10.000 células/mL e semanal para contagens entre 10.000 e 20.000 células/mL. Caso sejam encontrados valores superiores a 20.000 células/mL, passa a ser obrigatória a análise semanal de cianotoxinas na saída do tratamento, entradas de clínicas de hemodiálise e de indústria de injetáveis.

## 2.5. Tratamento da água para consumo humano e eficiência da remoção de microrganismos

Nos Quadros 10 e 11, apresenta-se uma síntese do conhecimento sobre a eficiência da remoção de microrganismos em processos unitários de tratamento convencional (ciclo completo).

Quadro 10 – Remoção de bactérias, vírus e protozoários em processos de tratamento convencional

Processo de Tratamento	Organismo	Remoção	
		Baixo Desempenho	Alto Desempenho
Coagulação + floculação + sedimentação	Bactérias	30%	90% <sup>1/</sup>
	Vírus	30%	70% <sup>1/</sup>
	Protozoários	30%	90% <sup>1/</sup>
Filtração rápida	Bactérias	?	99% <sup>2/</sup>
	Vírus	?	99,9% <sup>2/</sup>
	Protozoários	70%	99,9% <sup>2/</sup>
Cloração	Bactérias	CT <sub>99</sub> = 0,08 mg.min/L <sup>3/</sup>	
	Vírus	CT <sub>99</sub> = 8 mg.min/L <sup>4/</sup>	
	Protozoários	CT <sub>99</sub> = 41 mg.min/L <sup>5/</sup>	

<sup>1/</sup> Depende do coagulante, pH, temperatura, alcalinidade, turbidez; <sup>2/</sup> com coagulação otimizada; <sup>3/</sup> pH = 7,0 e 1-2 °C; e <sup>4/</sup> pH = 7,0-7,5 e 10 °C; (5) Giardia: pH = 7,0-7,5 e 10 °C.  
Fonte: adaptado de WHO (2004).

Segundo Dugan *et al.* (2001), a decantação pode ser considerada um mecanismo eficiente no processo de tratamento de água na remoção de (oo)cistos de protozoários, podendo chegar à remoção de 1,3 unidades logarítmicas de oocisto de *Cryptosporidium spp.*

Quadro 11 – Valores de CT para a inativação de organismos patogênicos (99,9%)

Microrganismo	Cloro Livre	Cloraminas	Dóxido de Cloro	Ozônio
<i>E. coli</i>	< 1	> 50	< 1	< 1
Vírus	2 - 6	> 500	1 - 6	0,5 - 5
Cistos de <i>Giardia</i>	50 - 60	> 1.000	≈ 15	0,7 - 3
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	> 1.000	≈ 7.000	> 60	4 - 15

Fonte: Bastos *et al.* [sd.], adaptado de Sobsey (1989), Reiff e Witt (1995), USEPA (1991, 1998, 1999, 2001).

Em uma síntese de informações, a OMS registra que a coagulação + floculação + decantação, em conjunto e, desde que bem conduzido, pode alcançar 1 - 2 log de remoção de bactérias, vírus e protozoários. Considerando a filtração e todo o processo, sob condições otimizadas, a remoção total pode alcançar 4 log. Porém, nesse mesmo documento há a ressalva de que a performance desses processos é altamente variável dependendo do grau de controle e otimização (LE CHEVALLIER *et al.*, 2004). Gimbel e Clasen (1998), citados por Le Chevallier *et al.* (2004), compilando dados de ETAs de vários países, encontraram variações de desempenho tão amplas quanto: remoção de vírus de 27 - 74%, remoção de bactérias de 32 - 87% (coliformes totais e estreptococos fecais) e remoção de algas de 0 - 94%.

Segundo Regli *et al.* (1999), estudos demonstram uma faixa de 2 a 6 log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* sp. com utilização de filtros rápidos em escala real e piloto, entretanto, Le Chevallier *et al.* (1991), citados por Le Chevallier *et al.* (2004), alertam para as dificuldades de obtenção de dados em escala real devido às baixas concentrações desses organismos e às dificuldades analíticas de sua determinação.

Há que se registrar que técnicas avançadas de processos de filtração (ex.: microfiltração e ultrafiltração) e outras técnicas de desinfecção (ex.: radiação ultravioleta e ozonização) apresentam maior capacidade de remoção que as técnicas convencionais (LE CHEVALLIER *et al.*, 2004; WHO, 2004).

## 2.6. Novas perspectivas na avaliação da qualidade no tratamento da água para consumo humano: o sistema APPCC

Nos itens anteriores, procurou-se fundamentar as limitações do controle laboratorial no controle da qualidade da água para consumo humano, bem como as limitações das bactérias do grupo coliforme como indicadores plenos de potabilidade.

As questões acima levantadas têm sido objeto de atenção da comunidade técnico-científica nacional e internacional. Como temas prioritários de interesse, citam-se: i) novos agentes desinfetantes têm sido pesquisados e adotados no tratamento da água; ii) cuidados especiais na operação das estações de tratamento de água têm sido apontados como prática indispensável na produção de água segura para consumo humano, a exemplo da elaboração/adoção das “Boas Práticas”; iii) pesquisas envolvendo outros indicadores, como turbidez, endósporos e contagem de partículas; e iv) mais recentemente, a incorporação de metodologia de análise de risco na produção e abastecimento de água para consumo humano.

Independentemente da técnica de tratamento utilizada para potabilização da água, a avaliação de sua qualidade é, sem dúvida, um procedimento indispensável e uma adequada avaliação deve incluir diferentes pontos de monitoramento desde o manancial de abastecimento, passando pelas diferentes etapas do tratamento, até a rede de distribuição. Mas, como destacado na introdução desse trabalho, isto deve preferencialmente vir acompanhado por um sistema estruturado de identificação e priorização de perigos, visando estabelecer medidas de controle para reduzi-los ou eliminá-los e procedimentos gerenciais e operacionais para minimizar as chances de falhas, o que pode ser alcançado pela aplicação dos princípios do Sistema APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle).

O sistema APPCC tem como fundamento a detecção de pontos de atenção e, ou pontos críticos de controle, o monitoramento dos mesmos e a intervenção na medida em que são detectadas alterações nos parâmetros selecionados para avaliação da qualidade no processo produtivo (MOSEL; STRIJK, 2004).

Uma das características fundamentais deste sistema é o seu caráter preventivo, pela possibilidade de intervenção antes do produto final ser distribuído. Essa perspectiva encontra, na produção de água de consumo, amplo campo de aplicação, uma vez que o fornecimento de água de qualidade estaria sendo garantido por várias barreiras seqüenciais de monitoramento (MOSEL e STRIJK, 2004).

Na mais recente edição dos guias de qualidade de água para consumo humano (*Guidelines for Drinking Water Quality*) editado pela OMS, a ferramenta APPCC é explicitamente incorporada na formulação dos denominados Planos de Segurança de Água (WHO, 2004, 2005).

A operacionalização do APPCC apresenta aspectos de caráter geral, contudo, deve também ser elaborado levando em consideração particularidades próprias de

cada situação, visto que cada sistema de abastecimento possuirá características específicas desde a qualidade do manancial de captação até as condições de tratamento e distribuição da água. Nesse sentido, a experimentação dessa ferramenta em diferentes contextos é fundamental para o seu aperfeiçoamento.

O método de APPCC (da sigla inglesa HACCP - *Hazard Analysis Critical Control Points*) se originou na indústria química, particularmente na Grã Bretanha. Posteriormente, foi utilizado em diversos outros processos produtivos, sendo que a indústria alimentícia (Pillsbury Company) o adotou em 1959 para os “alimentos espaciais” produzidos para seus primeiros vôos tripulados em resposta aos requisitos de inocuidade impostos pela Agência Espacial Americana (NASA).

Atualmente, é considerado um dos paradigmas na indústria de alimentos, onde os procedimentos usuais de inspeção, concebidos para identificar problemas que ocorriam nas décadas passadas, tornaram-se insuficientes para garantir a inocuidade dos alimentos (SOUSA; BRADACZ, 1997; ALMEIDA, 1998; SENAI, 2000).

A abordagem do método APPCC faz uma releitura do conceito de “inocuidade dos alimentos”, introduzindo uma visão holística da produção, onde importam aspectos que vão desde a fazenda (produção de animais e produtos – leite, ovos, vegetais, dentre outros) até a mesa do consumidor.

Além disso, os benefícios do APPCC são percebidos na medida em que esse método, conforme abordagem de Adams (2002), é um meio de obrigar/forçar (ou demandar) da indústria responsabilidade em compreender/identificar e prevenir riscos relacionados aos alimentos, promovendo a segurança alimentar<sup>4</sup>. É interessante assinalar, também, que o método APPCC surge com o questionamento do “controle da qualidade”, quando se acreditava que a inspeção era a forma de garantir alimentos seguros; por sua vez, foi quando a idéia de “garantia da qualidade” começou a se consolidar. A diferença entre ambas (“controle” e “garantia” da qualidade) é a intenção de “construir” qualidade dentro do processo de produção, ao invés de identificar as falhas ao final do processo, ou seja, no produto acabado (ADAMS, 2002).

---

<sup>4</sup> O conceito de “segurança alimentar” pode ser compreendido considerando sua dimensão quantitativa (*food security*), a qual é obtida através do aumento da renda familiar, conjuntamente com uma oferta adequada de alimentos; e também sua dimensão qualitativa (*food safety*), a qual é entendida como o inverso do risco alimentar, a probabilidade de não sofrer nenhum dano pelo consumo de um alimento (SPERS; KASSOUF, 2000).

Segundo Almeida (1998), esse método tem caráter preventivo e seu enfoque é assegurar, através da aplicação de princípios técnicos e científicos, a inocuidade dos processos de produção, manipulação, transporte, distribuição e consumo de alimentos. O conceito básico destacado pelo APPCC é a prevenção e não a inspeção do produto acabado.

Segundo seus pressupostos teóricos, objetiva-se identificar “onde” e “como” uma determinada contaminação (por exemplo, microbiológica) pode ocorrer, e, assim, preveni-la. Além da produção segura do alimento, tem-se como objetivo, a comprovação, através de documentos técnicos adequados, de que o produto foi elaborado com segurança.

Nesse sentido, o “onde” e o “como” são representados pelas letras AP (análise de perigos ou HA, conforme a sigla inglesa HACCP) e as provas de controle da fabricação dos alimentos recaem nas letras PCC (pontos críticos do controle ou CCP). O método APPCC é a aplicação metódica e sistemática da ciência e tecnologia para planejar, controlar e documentar a produção segura de alimentos (ALMEIDA, 1998).

Como ferramenta a ser utilizada na indústria alimentícia, o método APPCC foi elaborado, inicialmente, considerando três princípios:

- identificação e avaliação dos perigos associados com a criação/comercialização/abate/industrialização/distribuição do alimento;
- determinação dos pontos críticos para controlar qualquer perigo identificado;
- estabelecimento de sistemas para monitorar os pontos críticos de controle.

Posteriormente, como consequência de trabalhos desenvolvidos pelo Comitê Nacional de Assessoria em Critérios Microbiológicos para Alimentos (National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods – NACMCF), esses princípios foram ampliados para sete, os quais serão detalhados adiante.

### **2.6.1. Princípios de implementação do plano APPCC**

As primeiras etapas necessárias à implementação de um plano APPCC incluem a conformação de uma equipe multidisciplinar, a descrição do produto e a elaboração do diagrama de fluxo (fluxograma)

A equipe multidisciplinar é necessária para que se tenha idéia global de todos os aspectos relacionados à composição e elaboração (produção) do produto,

incluindo informações de natureza teórica e prática. Sendo assim, devem compor a equipe, profissionais de diferentes áreas técnicas, atentando-se para a necessidade de incluir pessoal diretamente relacionado com as atividades diárias da produção, a fim de se conhecer os detalhes e as limitações das operações e dos equipamentos (DRESCH e JONG, 2002).

A etapa de descrição do produto compreende a caracterização detalhada do produto objeto de avaliação. Na indústria de alimentos, por exemplo, os aspectos considerados, normalmente, incluem: características físico-químicas, ingredientes, processamento, rotulagem, manuseio, embalagem, armazenamento, especificações de comercialização, hábitos do consumidor, forma de utilização dependendo do público alvo, método de distribuição (produto congelado, refrigerado etc.), sistema de distribuição (DRESCH e JONG, 2002).

O diagrama de fluxo, ou fluxograma de produção, tem o objetivo de fazer uma descrição simples e clara de todas as etapas relacionadas com a fabricação do produto, desde a matéria-prima até o produto final. Além disso, é recomendável a inclusão de características, como as propriedades físico-químicas do alimento produzido, formação de substâncias indesejáveis, contaminação biológica, química ou física e de etapas anteriores e, ou, posteriores ao processamento ocorrido no estabelecimento (ALMEIDA, 1998; DRESCH; JONG, 2002). O fluxograma é peculiar a cada indústria e a cada produto elaborado, além disso, deve ser modificado sempre que necessário para refletir adequadamente a situação que se deseja representar.

As demais etapas que compõem a implementação do APPCC correspondem à operacionalização dos princípios do sistema e serão apresentadas no item a seguir.

### **2.6.2. Implementação dos princípios do APPCC**

As informações a seguir foram compiladas das seguintes referências: Almeida (1998); Mortmore e Wallace (2001); Dresch e Jong (2002) e Soares *et al.* (2002).

## **Princípio 1 - Efetuar análise de perigos e identificar as medidas preventivas**

Na perspectiva de proteção à saúde, “perigo”<sup>5</sup> é definido como a contaminação inaceitável de natureza biológica, química ou física que possa implicar em danos à saúde humana. Na indústria de alimentos, genericamente, é entendido como a presença inaceitável de contaminantes biológicos, químicos ou físicos na matéria prima, no produto semi-acabado e, ou, no produto final, determinando que o alimento deixe de ser inócuo para o consumidor.

Nessa etapa, deve-se conduzir uma análise dos perigos potenciais e identificar as fases do processo onde os perigos significativos podem ocorrer. Adicionalmente, é preciso analisar se as medidas corretivas, se existentes, podem ser aplicadas a cada um dos perigos previamente identificados. Dependendo da situação, mais de uma medida preventiva é necessária para controlar um único perigo, em outras, uma mesma medida é capaz de controlar mais de um perigo. A análise dos perigos é a base para a determinação dos PCC.

A análise de perigos, além de ser específica para um determinado produto, é bastante complexa, incluindo a avaliação da severidade e do risco. A severidade pode ser qualificada como alta, média ou baixa, de acordo com as características do agente envolvido no perigo. Esta avaliação considera, dentre outros fatores, a frequência da manifestação do perigo no processo produtivo em questão.

Essa etapa possui, essencialmente, três finalidades: i) identificar os perigos de grande importância; ii) modificar algumas etapas do processamento, a fim de tornar o produto final mais seguro; e iii) subsidiar a determinação dos pontos críticos de controle.

Uma vez caracterizados os perigos, esses devem ser representados no diagrama de fluxo e listados juntamente com as medidas preventivas identificadas para seu controle.

## **Princípio 2 - Identificar os pontos críticos de controle**

As situações ou locais nos quais os perigos identificados na etapa anterior podem estar presentes podem ser chamados de pontos críticos. Considerando o

---

<sup>5</sup> É importante se fazer a distinção desse conceito com o de risco, o qual é compreendido como a probabilidade de um evento acontecer. A idéia de risco indica a existência de uma associação entre uma exposição e um determinado efeito, que em saúde, poderia ser entendido como: óbito, incapacidade, doença ou desordem (BEVILACQUA *et al.*, [s.d.]).

perigo microbiológico, por exemplo, um ponto crítico seria caracterizado como o local ou situação onde ocorresse contaminação, sobrevivência e, ou, multiplicação de microrganismos.

Os pontos críticos devem ser incorporados ao fluxograma de preparação do produto, permitindo avaliar quais etapas são mais susceptíveis. Os pontos críticos que, por sua vez, puderem ser corrigidos e controlados, tornam-se pontos críticos de controle (PCC). Os PCC correspondem a qualquer ponto, etapa ou procedimento do processo produtivo onde há um, ou mais, perigo previamente identificado, onde, então, serão aplicadas as medidas de controle para prevenir, eliminar ou reduzir o(s) perigo(s) para níveis aceitáveis, desde a obtenção da matéria-prima e insumos até o consumo final, minimizando perdas e garantindo a segurança das operações.

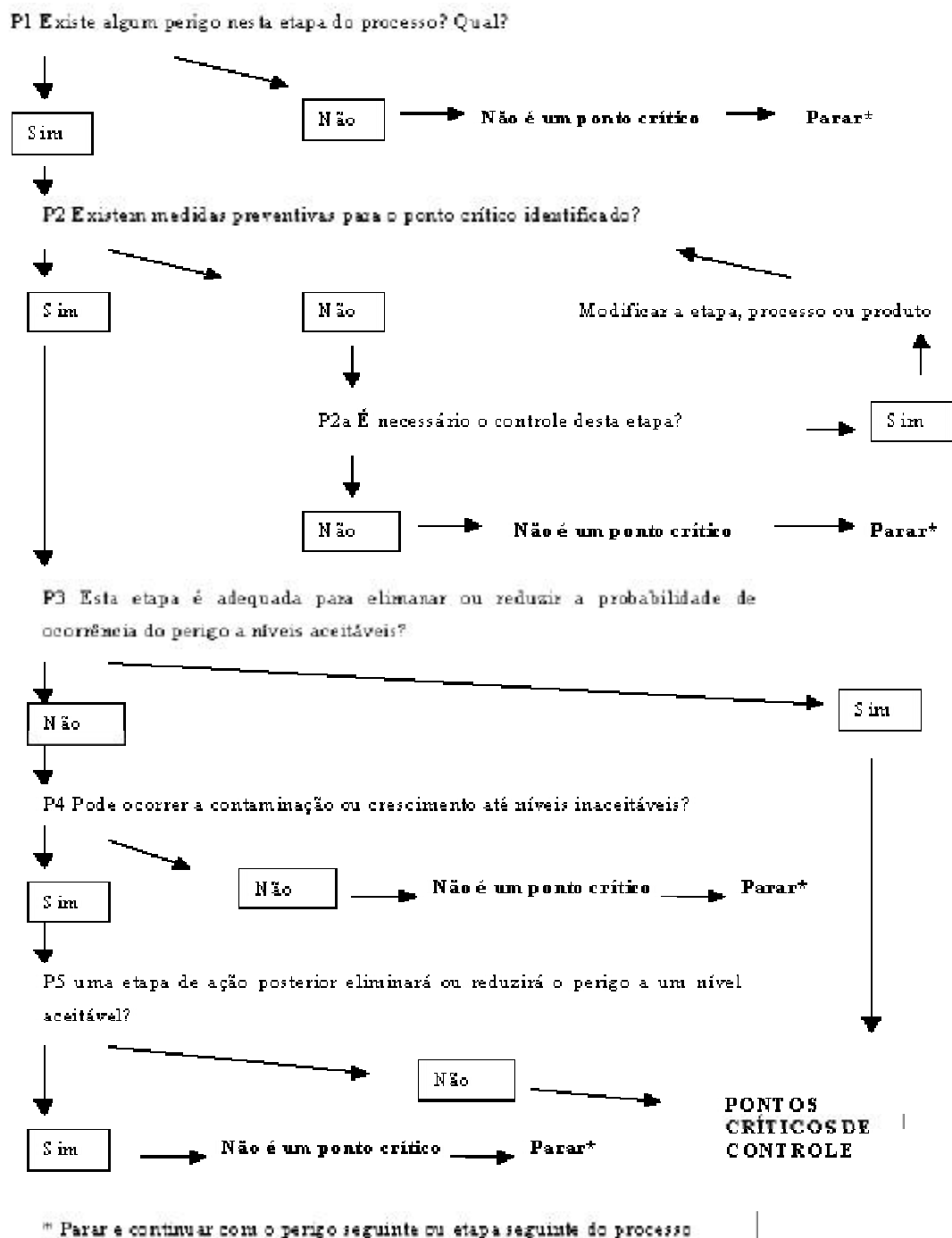
A identificação dos PCC é realizada através da árvore decisória (Figura 8). Essa consiste numa série de perguntas que devem ser respondidas para cada perigo encontrado e em cada etapa do processo de produção (MORTMORE; WALLACE, 2001).

É importante salientar que perigos e riscos associados não identificados corretamente ou não controlados em uma etapa (PCC) são transferidos para a próxima, assim, deve-se, sempre, repetir a etapa de análise de perigos se existirem suspeitas de que certos perigos/risco foram alterados.

Adicionalmente, é fundamental a adequada identificação de um PCC, uma vez que as ações relacionadas ao controle do processo (princípio 5) e ao monitoramento (princípios 3 e 4) estarão dirigidas a esses pontos.

Alguns autores também se referem aos ‘pontos críticos de atenção’ (PCA), os quais são definidos como atividades, pontos/locais ou fatores que também precisam ser controlados, mas não da mesma forma sistemática e imperativa que os PCCs.

Na prática, a distinção entre PCCs e PCAs está relacionada à possibilidade de operacionalização de seu monitoramento. Idealmente, os PCCs devem ser monitorados *on-line*, assim, as ações corretivas podem ser tomadas de forma imediata. Portanto, quando o parâmetro utilizado para o monitoramento do PC não disponibiliza resultados ágeis (a exemplo dos parâmetros microbiológicos); ou o parâmetro utilizado está fragilmente correlacionado ao(s) perigo(s) identificado(s), ou ainda, quando a frequência de monitoramento é pequena (por exemplo, devido ao custo das análises), podemos optar por considerar um ponto crítico como objeto de atenção e verificação (PCA) e não como um ponto de monitoramento sistemático e



Fonte: adaptado de MORTIMORE e WALLACE (2001).

Figura 8 – Árvore decisória para PCC.

contínuo (PCC). Na verdade, o monitoramento ideal de um PCC deve ser feito a partir de análises simples, de baixo custo e que resultem em dados imediatos, o que é possível com a adoção de indicadores físicos (por exemplo, pH e temperatura, na indústria de alimentos; no caso da água de consumo, a turbidez), conforme caracterizado a seguir.

### **Princípio 3 – Estabelecer limites críticos e medidas preventivas em cada PCC**

Conforme indicado anteriormente, cada PCC contará com uma ou mais medidas preventivas que devem ser implementadas visando a prevenção, eliminação ou redução dos perigos a níveis aceitáveis. O limite crítico consiste no critério a ser seguido relacionado a cada medida preventiva indicada a um PCC, de forma que este último possa variar, de forma segura e conhecida, sem que se perca o controle sobre ele. O limite crítico pode ser definido a partir de uma medida (avaliação quantitativa de um ponto crítico) ou mesmo uma avaliação qualitativa de um ponto crítico (observação de uma situação ou procedimento).

### **Princípio 4 – Estabelecer os requisitos e formas de monitoramento dos PCC**

O monitoramento é definido como uma seqüência planejada de observações e medidas para avaliar se um PCC está sob controle e se os critérios estabelecidos estão sendo atingidos. A simplicidade e a rapidez dos resultados devem ser os objetivos do processo de monitoramento. Na indústria alimentícia, são utilizadas cinco formas principais de monitoramento: observação visual, avaliação sensorial, medidas físicas, testes químicos e análises microbiológicas. Nessa etapa, é importante o controle estatístico do processo, utilizando-se planos de amostragem estatisticamente representativos.

Essa etapa apresenta três objetivos principais: i) garantir a inocuidade do produto; ii) determinar quando há perda de controle, ou seja, desvios em um PCC (um limite crítico sendo excedido); e iii) proporcionar documentação que será utilizada na etapa de verificação do plano APPCC.

Os métodos e as freqüências de monitoramento devem ser escolhidos entre os que mais se adaptem a cada indústria, devendo fornecer, necessariamente, um registro confiável e preciso de cada PCC.

Se os resultados do monitoramento indicarem um perigo não esperado, o PCC pode ter sido erroneamente estabelecido na análise do perigo ou o monitoramento

pode ter sido ineficaz. De qualquer forma, essas situações devem sinalizar para uma nova avaliação de perigos.

Na maioria dos casos, embora as análises microbiológicas sejam importantes para verificar a efetividade do controle dos PCC, a frequência da amostragem que seria adequada para a detecção de níveis baixos de microrganismos patogênicos não é factível, devido ao grande número de amostras e grandes volumes que deveriam ser analisados. Nestes casos, a pesquisa de parâmetros físicos e químicos é a mais indicada, devido a sua rapidez, sendo utilizada como indicadora da qualidade microbiológica do processo.

De forma complementar, no monitoramento dos pontos críticos, também podem ser utilizados controles aleatórios, através da pesquisa de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. O controle aleatório pode ser realizado no próprio produto ou em ingredientes, equipamentos, utensílios, ou mesmo no ambiente, dentre outros.

#### **Princípio 5 – Estabelecer ações corretivas para o caso de desvio dos limites críticos**

Apesar do método APPCC se fundamentar na identificação de perigos potenciais à saúde e no estabelecimento de estratégias de prevenção para esses perigos, nem sempre o alcance desses objetivos é feito de forma desejável e eficiente. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de planos com ações corretivas para cada PCC, para o caso de ocorrerem desvios de um limite crítico estabelecido. As ações corretivas devem ser tomadas imediatamente quando o monitoramento indicar a ocorrência desse(s) desvio(s), devem ser específicas para cada PCC e podem incluir modificações no processo de produção.

As ações corretivas devem ter como objetivo determinar os destinos para o produto fora do controle; corrigir a falha para assegurar que o PCC voltará a estar sobre controle e manter registros das ações corretivas que foram tomadas sempre que se detectou um desvio dos limites críticos.

#### **Princípio 6 – Estabelecer um sistema para registro de todos os controles e Princípio 7 - Estabelecer procedimentos de verificação para avaliar se o sistema está funcionando adequadamente**

Esses dois últimos princípios têm caráter administrativo. O sexto diz respeito à necessidade de se manterem arquivos sobre o plano APPCC aprovado pelas

autoridades do estabelecimento, bem como, dos registros dos dados de monitoramento, com todas as informações a respeito do processo produtivo, em local de fácil acesso, preferencialmente no próprio estabelecimento. Recomenda-se que os registros sejam mantidos por um período superior a um ano ou, no caso de alimentos, por um período superior ao tempo de vida de prateleira do produto.

O sétimo princípio envolve a verificação constante do plano APPCC, com o intuito de avaliar se está funcionando adequadamente. Um sistema APPCC que esteja funcionando corretamente, requer a coleta de poucas amostras de produto final, já que os dispositivos de segurança funcionam nas diversas etapas do processo. Adicionalmente, devem-se desenvolver validações periódicas, documentadas, independentemente de auditorias ou outros processo de verificação, para assegurar a eficiência do plano APPCC.

### **2.6.3. Aplicação do APPCC na produção de água para consumo humano**

Conforme já bem caracterizado, as limitações em relação à garantia da qualidade da água para consumo humano, embasadas, tradicionalmente, na avaliação do produto final, constituem objeto de atenção e preocupação da comunidade técnico-científica nacional e internacional. Em função disso, novas alternativas têm sido pesquisadas e avaliadas no sentido de serem incorporadas à produção de água, inclusive, incorporando o conceito de “água segura”.

Especificamente em relação ao APPCC, esse sistema ainda tem sido timidamente aplicado ao fornecimento de água potável, existindo poucas experiências relatadas na literatura e sendo todas, iniciativas estrangeiras. Adicionalmente, todos os trabalhos têm como principal objeto de preocupação na caracterização dos perigos, os contaminantes de natureza microbiológica.

A primeira aplicação do sistema APPCC nessa área foi descrita por Havelaar (1994), cujo trabalho se constitui em um esforço teórico de “adaptar” as etapas dessa metodologia à produção de água para consumo humano. Outros trabalhos procuram “aplicar” essa metodologia, avaliando-a em diferentes situações, a exemplo de Dewettinck *et al.* (2001); Howard (2003) e Jagals e Jagals (2004). Especificamente, o trabalho de Howard (2003) propõe a elaboração de um Plano e Segurança da Água para pequenos sistemas de abastecimentos que utilizam manancial subterrâneo aplicando o sistema APPCC.

De forma geral, os trabalhos dão ênfase, na discussão e, ou aplicação, aos cinco primeiros princípios previstos para o sistema APPCC: a elaboração de um diagrama do fluxo da produção; a caracterização dos perigos e as medidas preventivas correspondentes (princípio 1); o estabelecimento de PCCs (princípio 2); a definição dos limites críticos para as medidas preventivas identificadas - parâmetros de monitoramento (princípio 3); a elaboração de planos de monitoramento (princípio 4) e a definição de medidas corretivas (princípio 5).

Considerando o primeiro princípio, Havelaar (1994) propõe o diagrama de fluxo apresentado na Figura 9, como uma generalização das etapas de produção de água. Dewettinck *et al.* (2001) definem um diagrama para uma situação específica de fornecimento de água em uma cidade da costa oeste da Bélgica, onde, por razões de escassez (a extração de água do aquífero subterrâneo utilizado como manancial de abastecimento chegou a seu limite), optou-se por fazer a recarga do aquífero utilizando o efluente da estação de tratamento de esgotos local, precedida de tratamento avançado (microfiltração + osmose reversa + radiação ultra-violeta) (Figura 10).

Os exemplos ilustram a necessidade de se adaptar, obrigatoriamente, as etapas de produção à realidade específica que está sendo estudada. No caso do abastecimento de água, algumas etapas do diagrama de fluxo serão sempre bastante semelhantes, porém, é imprescindível levar em conta as várias possibilidades de arranjo, o que só é possível a partir do conhecimento detalhado de todos os componentes do sistema de abastecimento.

O segundo princípio do sistema APPCC, conforme já assinalado, é abordado nos trabalhos essencialmente enfocando os perigos microbiológicos relacionados ao abastecimento de água. A esse respeito, e considerando que a aplicação da metodologia APPCC permite controlar vários perigos com uma única medida preventiva, é cada vez mais reconhecido que a produção de água segura para o consumo humano não deve estar baseada em uma única barreira, como a desinfecção.

A abordagem das múltiplas barreiras deve ser priorizada para que, efetivamente, sejam eliminados e, ou, destruídos os diferentes tipos de microrganismos patogênicos. Adicionalmente, essa abordagem permite considerar uma margem de segurança maior, se, por acaso, uma das barreiras falhar temporariamente (HAVELAAR, 1994). De forma a exemplificar o exposto, podemos citar o rigoroso controle do processo de coagulação-floculação (uso do “Jar Test”), como medida preventiva de perigos microbiológicos, sejam bactérias, vírus e, ou,

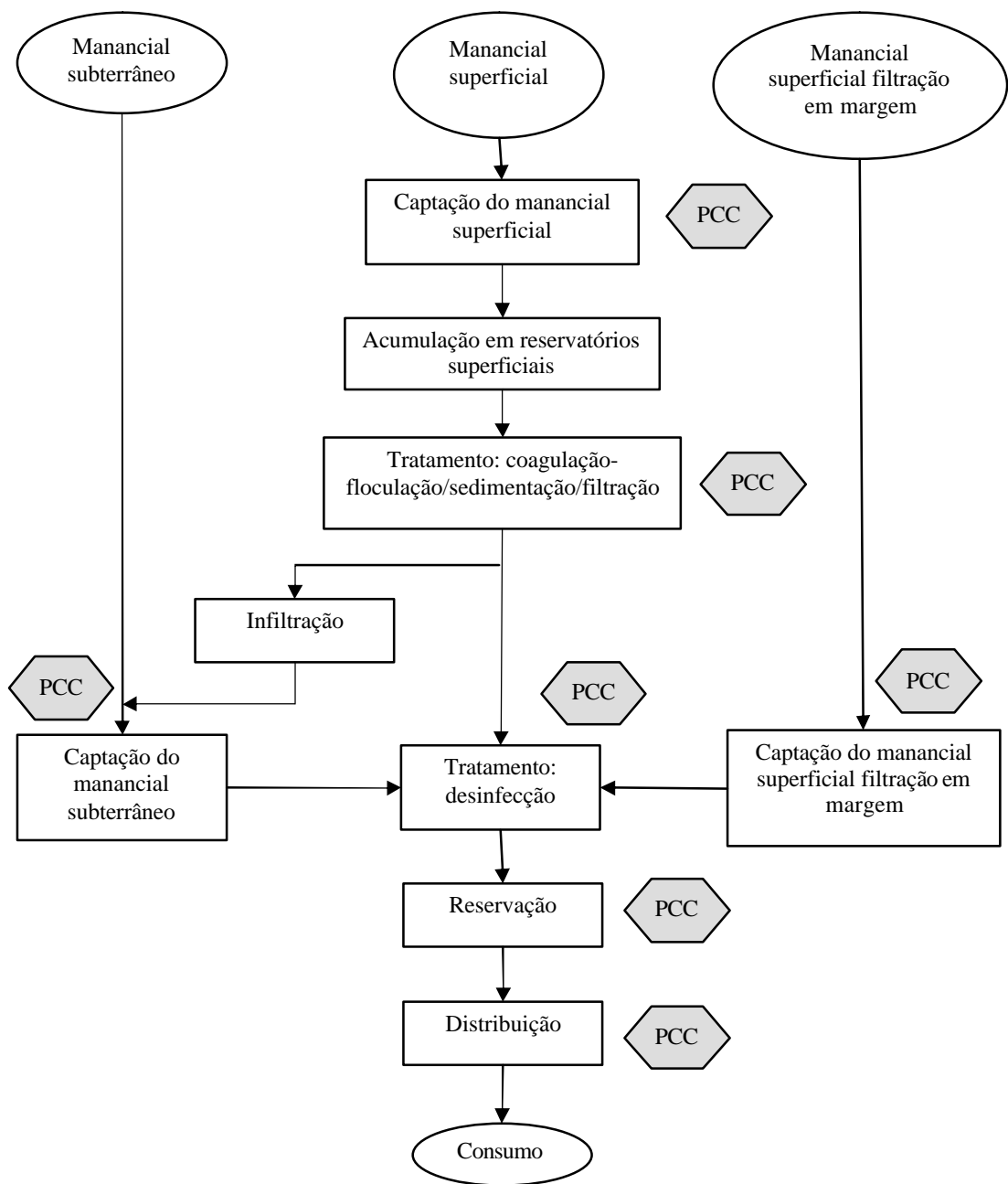


Figura 9 – Diagrama de fluxo geral para a produção de água para consumo humano com definição de pontos críticos de controle (PCC) (HAVELAAR, 1994).

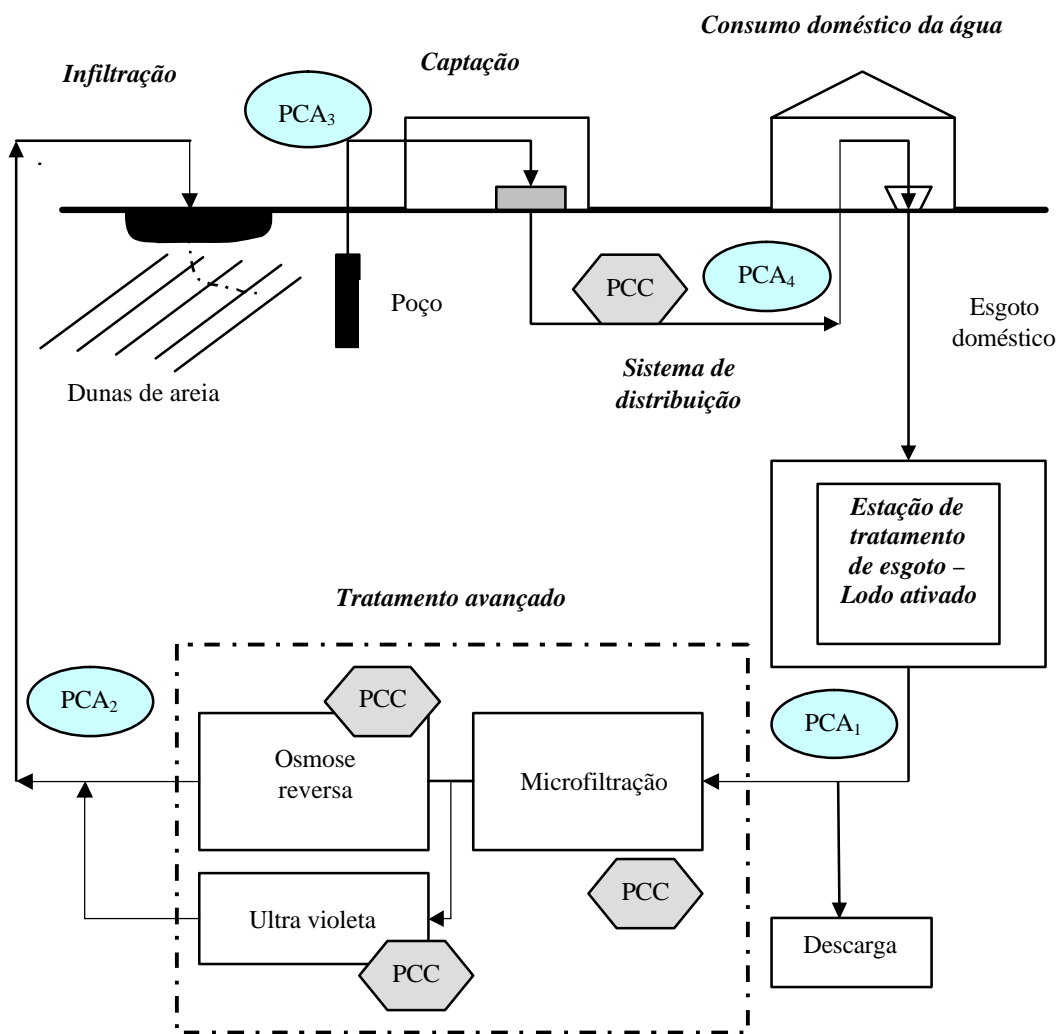


Figura 10 – Diagrama de fluxo do abastecimento de água com definição de pontos críticos de controle (PCC) e pontos críticos de atenção (PCA), segundo Dewettinck *et al.* (2001).

protozoários, exemplificado, por sua vez, pela ocorrência desses microrganismos no efluente filtrado. Por sua vez, os processos intermediários à coagulação-floculação e filtração, são barreiras adicionais.

Havelaar (1994) define como principais perigos microbiológicos em abastecimento de água três situações, as quais são referendadas por Dewettinck *et al.* (2001) (Quadro 12):

- poluição dos mananciais superficiais por esgotos domésticos e animais introduzindo uma grande variedade de patógenos na água bruta;

- recontaminação da água tratada no sistema de distribuição (reservatório e rede) devido a reparos, retro-sifonagem, queda de pressão, fissuras, rupturas e vazamentos. Também a ventilação existente nos reservatórios de armazenamento pode favorecer a ocorrência de contaminações;

- crescimento de bactérias patogênicas e outros organismos oportunistas na água bruta (em decorrência, por exemplo, de processo de eutrofização) ou tratada (em decorrência da recontaminação da água tratada e, ou, da formação de biofilme ao longo do sistema de distribuição – reservatório e rede).

No trabalho de Howard (2003), cujo cenário consistiu do estudo das soluções alternativas individuais (essencialmente constituídas por fontes/minas com caixa de captação protegida) utilizadas por comunidades urbanas e peri-urbanas em Uganda, estabeleceu como perigo a contaminação na captação e na distribuição. Já Jagals; Jagals (2004), cujo trabalho foi avaliar a implementação do APPCC no processo de tratamento de água em duas ETAs captando o mesmo manancial superficial em Free State Province, África do Sul, propuseram que a definição do perigo estivesse baseada nos indicadores coliformes termotolerantes e turbidez.

A partir da definição/identificação dos perigos microbiológicos, são propostas as medidas preventivas. No Quadro 12, são exemplificadas algumas possibilidades conforme o estudo realizado por Havelaar (1994). A abordagem de Dewettinck *et al.* (2001), abarca questões diferentes, pela especificidade do sistema de abastecimento pesquisado (efluente de uma ETE, submetido a tratamento avançado e, posteriormente, à infiltração para recarga do aquífero subterrâneo – Figura 10). Segundo esses autores, as medidas de controle estariam relacionadas com a eficiência de remoção de microrganismos nos tratamentos avançados, dada especial atenção aos vírus e protozoários (*Cryptosporidium* e *Giardia*). Esses autores apontam para a importância da informação referente à remoção desses organismos, pelo fato

de apresentarem pequena dose infectante, sobrevivência prolongada no ambiente e pelas dificuldades relacionadas ao monitoramento.

Howard (2003) propõe como medida preventiva a integridade das caixas de captação das fontes/minas, construídas de alvenaria.

A definição dos pontos críticos em se tratando do abastecimento de água pode ser exemplificada a partir de ambos os diagramas de fluxo apresentados anteriormente (Figuras 9 e 10), lembrando que o sentido de um PCC é poder contribuir para a redução da contaminação microbiana. No diagrama, são apontadas, de forma genérica, as etapas de produção da água consideradas pontos críticos de controle, já o Quadro 12 detalha, mais especificamente, o que deve ser alvo do controle em cada etapa da produção.

Conforme já assinalado, as especificidades relacionadas a cada sistema de abastecimento devem ser consideradas. Assim, conforme apontado por Havelaar (1994), quando da utilização de mananciais subterrâneos para abastecimento, um perigo microbiológico identificado é a contaminação do lençol por águas residuárias, o qual requer, como medidas preventivas, a proteção da área de captação (poço) e a definição de regras para uso e ocupação do solo nessa área, sendo esses pontos críticos de controle.

Outra consideração, no estudo de Havelaar (1994), interessante de ser ilustrada na definição de PCCs, diz respeito aos reservatórios de acumulação, os quais são considerados uma das primeiras etapas que promove a redução de organismos patogênicos (Quadro 12). Entretanto como existem possibilidades de recontaminação (animais silvestre, uso do reservatório para outras atividades, por exemplo, recreação) e a redução dos organismos patogênicos não pode ser adequadamente controlada, essa etapa não é considerada PPC. Por outro lado, é importante que se faça a vigilância, assim, o monitoramento da água de reservatórios de acumulação é importante para balizar as etapas subseqüentes de tratamento.

Para esse mesmo autor, inclusive, a necessidade de pesquisa de organismos patogênicos na água bruta, ao invés dos tradicionais indicadores bacteriológicos, é um novo aspecto e uma importante conseqüência da aplicação do APPCC no abastecimento de água para consumo humano (HAVELAAR, 1994).

Ainda na proposta de Havelaar (1994), esse autor considera que se a recontaminação for adequadamente prevenida, o crescimento de organismos patogênicos e, ou, oportunistas na água tratada é de menor importância. Entretanto, devemos considerar que mesmo não havendo recontaminação há possibilidade de

colonização as tubulações do sistema de distribuição de água por microrganismos existentes na água tratada, levando à formação de biofilmes, uma vez que não é objetivo do tratamento a produção de água estéril. A formação de biofilmes (colonização de microrganismos) pode, por sua vez, representar um perigo, pois possibilita condições favoráveis para o crescimento de organismos patogênicos presentes em pequenas concentrações na água, podendo os mesmos atingir quantidades compatíveis com suas doses infectantes.

No estudo realizado por Dewettinck *et al.* (2001), em que a água distribuída não receberia nenhuma desinfecção química, as etapas anteriores à infiltração, ou seja, à recarga do aquífero subterrâneo (microfiltração, osmose reversa e desinfecção com ultravioleta) foram definidas como PCCs, uma vez que essas etapas deveriam garantir a obtenção de um efluente com adequada qualidade microbiológica. Como medidas corretivas e um monitoramento adequado seriam difíceis de serem implementados no caso de um crescimento exagerado de microrganismos no subsolo, definiu-se que seria necessário o estabelecimento de um PCC posterior à passagem pelo solo (infiltração), anterior à ETE, especificamente no sistema de distribuição. Adicionalmente, consideraram que a ingestão de água proveniente do efluente de uma estação de tratamento de esgoto, a passagem pelo solo (infiltração) e o crescimento de microrganismos na rede de distribuição deveriam ser considerados pontos críticos de atenção (Figura 10).

Considerando o terceiro princípio do APPCC, estabelecer limites críticos e medidas preventivas em cada PCC, os trabalhos na área de abastecimento de água sugerem a aplicação da metodologia de Avaliação Quantitativa de Riscos (AQR), o que também poderá ser de utilidade na indústria de alimentos.

Essencialmente<sup>6</sup>, essa metodologia define, como no APPCC, perigos prioritários de serem controlados e considerando uma provável exposição de seres humanos, estabelece o risco aceitável de ocorrência de agravos à saúde em uma determinada população exposta. É importante assinalar que a AQR não pressupõe a ocorrência de risco zero, ou seja, ausência de agravos/doença na população, mas a definição de um ‘risco aceitável’. Nos EUA, admite-se um risco anual de infecção de  $10^{-4}$  para os diversos organismos patogênicos transmissíveis via abastecimento de água para consumo humano, considerando um padrão de consumo (exposição) de

---

<sup>6</sup> Para maior detalhamento da metodologia AQR aplicada à água de consumo procurar bibliografia especializada: Rose e Gerba (1991); Regli *et al.* (1991); Macler e Regli (1993); Haas *et al.* (1999); Bastos *et al.* (2001); Bevilacqua *et al.* (2002).

2 L/dia (REGLI *et al.*, 1991). A essa exposição são estimadas as concentrações de patógenos presentes na água, compatíveis com uma dose infectante específica, ou seja, capaz de causar infecção/doença. Por exemplo, considerando o risco de agravos definido em  $10^{-4}$ , admite-se uma concentração máxima de  $4,0 \times 10^{-7}$ ;  $1,38 \times 10^{-5}$  e  $6,54 \times 10^{-5}$ , respectivamente, para vírus entérico, *Giardia* e *Cryptosporidium*, a cada exposição (consumo de 2 L de água/dia) (HAAS *et al.*, 1999; BASTOS *et al.*, 2001).

A aplicação da metodologia de AQR na definição dos limites críticos dos PPCs parte do conhecimento da ocorrência quantitativa dos organismos patogênicos de interesse na água bruta. Esses dados são, então, aplicados a modelos matemáticos (teóricos ou não) que descrevem o desempenho do processo de tratamento na remoção/inativação dos microrganismos patogênicos. Assim, conhecendo a concentração dos organismos em diferentes pontos do tratamento, inclusive na água tratada, pode se estimar a possibilidade de ocorrência de efeitos à saúde na população consumidora. Segundo Havelaar (1994), os modelos matemáticos podem ser aplicados na definição dos limites críticos ao auxiliarem a responder questões como: “Qual será o efeito na exposição se determinado limite não for cumprido?” ou “Esse efeito é aceitável ou não?” (HAVELAAR, 1994).

Na proposição de limites críticos, Dewettinck *et al.* (2001) partiram dos seguintes pressupostos: i) risco aceitável de  $10^{-4}$ ; ii) concentração máxima permissível de  $2,0 \times 10^{-7}$ ;  $6,9 \times 10^{-6}$  e  $3,27 \times 10^{-5}$ , respectivamente, para vírus entérico, *Giardia* e *Cryptosporidium* por litro de água; iii) concentração desses organismos no efluente da ETE (10 vírus/L; 100 cistos/L e 10 oocistos/L); e iv) eficiência conjunta de remoção nos tratamentos avançados (por exemplo, na microfiltração:  $>2,0$  log para vírus entérico e  $>4,8$  log para *Cryptosporidium*) e na infiltração no solo. Estimaram, assim, que as concentrações máximas permissíveis de patogênicos na água, definidas para o risco de  $10^{-4}$ , seriam facilmente alcançadas.

Entretanto, o monitoramento rotineiro de organismos patogênicos não é algo atualmente factível em se tratando de abastecimento de água. Adicionalmente, a decisão por qual organismo pesquisar também é problemática, dada a diversidade de patógenos possíveis de ocorrer em mananciais de abastecimento. Assim, a escolha de limites críticos dos parâmetros que caracterizam os PCCs deve estar revestida da adequada correlação aos perigos que se deseja prevenir, a exemplo dos coliformes, como importantes indicadores da inativação de vírus e bactérias, porém ineficientes em se tratando de protozoários. Nesse último caso, alguns outros indicadores têm

sido propostos: turbidez, esporos bacterianos e sólidos em suspensão, porém ainda são necessários estudos que comprovem de forma mais sistemática e conclusiva a correlação entre os mesmos.

Os princípios 4 (elaboração de planos de monitoramento) e 5 (definição de medidas corretivas) são estabelecidos a partir das informações obtidas com a caracterização dos demais princípios. O sistema APPCC não possui um plano fixo de monitoramento de parâmetros, devendo esse ser construído para cada situação específica levando em consideração os perigos a serem prevenidos.

Dewettinck *et al.* (2001) propuseram, dentre outras características do monitoramento, a avaliação *on-line* da performance e da integridade de todas as etapas do tratamento avançado que foram considerados PCCs (Figura 10), porém não indicam quais parâmetros seriam pesquisados. Devido à dificuldade de monitorar rotineiramente organismos patogênicos (vírus e protozoários), os autores sugerem a avaliação do efluente da ETE (PCA<sub>1</sub>), a partir da pesquisa rápida da variação do pH, em amostras de água, como indicador da qualidade microbiológica<sup>7</sup>. Em amostras de água antes (PCA<sub>2</sub>) e após (PCA<sub>3</sub>) a infiltração no solo e no sistema de distribuição (PCA<sub>4</sub>), a avaliação da qualidade microbiológica estava baseada na contagem padrão em placa e em técnicas moleculares de pesquisa bacteriológica (Figura 10). Como ações corretivas sugeridas, citam-se: descarga do efluente (PCA<sub>1</sub>); interrupção da infiltração (PCA<sub>2</sub>); desinfecção ou interrupção da captação (PCA<sub>3</sub>). Ou autores não propõem ações corretivas para os PCCs e PCA<sub>4</sub>.

No estudo realizado por Howard (2003), o limite crítico definido foi a ausência de tampas nas caixas de captação das fontes, o monitoramento proposto consistiu da realização de inspeções sanitárias pela comunidade e as medidas corretivas foram baseadas em reparos das tampas de vedação, da estrutura de alvenaria e a limpeza ao redor da caixa de captação. Esse autor também propõe a verificação do plano APPCC (princípio 7) por meio da realização de inspeções sanitárias e da pesquisa de *E. coli* e estreptococos fecais.

Por sua vez, Jagals e Jagals (2004) determinaram como pontos críticos de controle (PCC) as etapas de captação, sedimentação, pós-filtração e pós-cloração. A partir dos resultados obtidos em seus estudos, indicaram como eficiente, o

---

<sup>7</sup> O princípio da análise se baseava na avaliação da acidificação de amostras de água suplementadas como fonte de açúcar fermentável, sendo o resultado fornecido em uma hora (DEWETTINCK *et al.*, 2001).

Quadro 12 – Aplicação geral dos princípios do APPCC às etapas da produção de água para consumo humano utilizando manancial superficial de abastecimento

Etapa da Produção	Perigos	Medida Preventiva	PCC	Parâmetros do PCC	Procedimentos de Monitoramento	Ações Corretivas
Captação de manancial superficial <sup>1/</sup>	Contaminação com esgotos domésticos e de animais	- Reduzir pontos de poluição difusa e pontual - Restringir o consumo de água	Não	-	Pesquisa de coliformes e patógenos específicos, turbidez	Melhorar o tratamento
Acumulação em reservatórios superficiais	Curto-circuito hidráulico	- Construir reservatórios em série	Não	-	Estudos com traçadores, parâmetros construtivos, pesquisa de coliformes	Melhorar o tratamento
	Recontaminação devido a animais silvestres	- Controlar a presença de animais silvestres	Não	-	Pesquisa de patógenos específicos	-
Coagulação-floculação/sedimentação/filtração	- Formação ineficiente dos flocos - Remoção ineficiente dos flocos - Filtração inadequada	- Adequar a dose do coagulante - Otimizar a lavagem dos filtros - Otimizar a lavagem dos filtros, tratar o efluente (coagulação-floculação) quando da recirculação de água de lavagem de filtro	Sim	Turbidez, contagem de partículas, perda de carga	Medida <i>on-line</i>	Melhorar a desinfecção
Desinfecção	Sobrevivência de organismos patogênicos	- Controle dos parâmetros da desinfecção (otimizar dose e tempo de contato do desinfetante)	Sim	Concentração residual do desinfetante	Medida <i>on-line</i>	Sistema de desinfecção automatizado
Reservação da água tratada	Recontaminação	- Integridade física do reservatório	Sim	Coliformes totais	Amostragem diária	Isolar reservatório, re-desinfecção
		- Procedimentos higiênicos durante execução de reparos	Sim	Adequação aos protocolos de higiene	Inspeção, amostragem	Isolar reservatório, re-desinfecção
Distribuição	Recontaminação	- Integridade física da rede de distribuição - Manutenção da pressão positiva	Sim	Coliformes totais, Pressão no sistema de distribuição	Amostragem freqüente	Isolar parte do sistema de distribuição, re-desinfecção
		- Procedimentos higiênicos durante execução de reparos	Sim	Aderência a protocolos de higiene	Inspeção, amostragem	Descarte
	Crescimento de patógenos oportunistas <sup>2/</sup>	- Prevenção da recontaminação - Redução do tempo de estagnação da água no sistema de distribuição - Redução de nutrientes e, ou, formação de biofilme	Não	-	-	-

<sup>1/</sup> O manancial de captação superficial não é considerado um PCC, pois as medidas preventivas identificadas não são suficientemente objetivas para serem objeto de controle (caso da medida “Redução de pontos de poluição difusa e pontual” – em que as ações necessárias para sua implementação dependem de diferentes atores da sociedade civil, organizada ou não) ou não são suficientemente efetivas para serem denominadas PCC (caso da medida “Restrição do consumo de água” – ainda assim, o tratamento da água será necessário). Entretanto, apesar de não ser um PCC, o monitoramento do manancial é importante para orientar o tratamento da água; <sup>2/</sup> O crescimento de microrganismo ao longo do sistema de distribuição está associado a três fatores principais: tempo de estagnação; concentração de nutrientes e temperatura. O último dificilmente pode ser controlado pelo responsável pelo abastecimento, mas os dois primeiros são factíveis de controle.

Fonte: adaptado de Havelaar (1994); Dewettinck *et al.* (2001).

acompanhamento diário quanto à presença de coliformes termotolerantes combinado aos valores de turbidez nos vários PCCs estabelecidos, ao longo do processo de produção, a fim de garantir a qualidade da água produzida.

Procurou-se nesse item apresentar alguns exemplos, ainda tímidos, da aplicação do sistema APPCC na produção de água para consumo humano. O propósito principal foi indicar a diversidade de aplicação do sistema, nessa temática, e a necessidade de estudos que possam contribuir para o uso adequado e proveitoso dessa ferramenta de gerenciamento de risco no tratamento de água para consumo humano.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo geral

Elaborar um modelo de aplicação do sistema APPCC para o sistema de abastecimento em estudo (SSA-UFV), caracterizando as etapas da produção e perigos envolvidos, a fim de propor medidas preventivas, pontos críticos de controle, parâmetros de monitoramento, procedimentos de monitoramento e ações corretivas.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Elaborar diagrama de fluxo considerando as etapas de produção da água estabelecendo pontos críticos de atenção e, ou, de controle.

- Monitorar cada etapa da produção de água, a saber: captação, coagulação-floculação, decantação, filtração, desinfecção, reservação, distribuição e lavagem dos filtros, analisando diferentes parâmetros de qualidade: físico-químicos (pH, temperatura, turbidez, cor, sólidos em suspensão e cloro residual livre) e microbiológicos (coliformes totais, termotolerantes, *Escherichia coli*, esporos de bactérias aeróbias, *Bacillus subtilis*, esporos de bactérias anaeróbias e *Clostridium perfringens*, cistos de *Giardia*, oocistos de *Cryptosporidium* e cianobactérias).

- Desenvolver estudos de correlação entre diferentes parâmetros de monitoramento, com especial atenção aos (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Descrição do manancial de abastecimento**

O manancial de água de abastecimento avaliado consiste em um manancial superficial, Ribeirão São Bartolomeu, de reduzida vazão ( $\approx 100$  L/s e  $\approx 200$  L/s em épocas de estiagem e chuvas, respectivamente) com dois represamentos consecutivos (reservatórios de acumulação) à montante de ponto de captação. Esse manancial é desprotegido, sendo que encontramos áreas de ocupação urbana e atividades agropecuárias na bacia de captação; adicionalmente, existem nítidos sinais de eutrofização nos reservatórios de acumulação. A água bruta apresenta valores de turbidez relativamente baixos variando, em geral, entre 10 uT e 40 uT, em períodos de estiagem e chuvas, respectivamente.

### **4.2. Descrição do processo de produção na estação de tratamento de água, SAA/UFV**

A Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa (ETA-UFV) abastece uma população de, aproximadamente, 12.500 indivíduos. O tratamento é feito em ciclo completo, com vazão de 60L/s com dez horas de operação diária, sendo a captação realizada no Ribeirão São Bartolomeu.

A coagulação é realizada com sulfato de alumínio após floculação com mistura hidráulica rápida. Em seguida, ocorre a decantação. Para determinação da

quantidade exata de sulfato de alumínio a ser empregada são realizados ensaios de bancada em *jar test* antes de iniciar o funcionamento da ETA. Ao longo do dia, a vazão é freqüentemente observada, a fim de se readequar a quantidade de sulfato aplicada à água, quando necessário, para garantir correta etapa de floculação e decantação. Os cálculos são realizados de acordo com a equação 5.

$$\text{Volume a ser empregado} = \text{vazão} \times \text{concentração determinada em jar test} \times f \quad (5)$$

f = fator de correção (0,75 para sulfato a 2% e 0,375 para sulfato a 4%)

A filtração é rápida e descendente composta de duas unidades e com a carreira de filtração média de 36 horas. A lavagem dos filtros é efetuada a partir de um reservatório elevado com capacidade de 100 m<sup>3</sup> abastecido com água tratada.

Na desinfecção, é utilizado o cloro-gás sendo a dosagem desse alterada em função da variação da turbidez verificada na água filtrada. O tanque de contato tem capacidade para 35,7 m<sup>3</sup> e o tempo de contato é de, aproximadamente, 12 minutos. Este tempo é inferior ao estipulado pela portaria, mas ao se considerar o tempo de detenção no reservatório, esta exigência é cumprida.

Todos os dados de monitoramento da qualidade da água do SAA-UFV são armazenados em formulários próprios. O acesso a tais registros possibilitou verificar a qualidade da produção e distribuição de água no SAA-UFV, segundo seu atendimento às exigências da legislação vigente, Portaria MS nº 518/2004.

#### **4.3. Desenvolvimento do diagrama de fluxo e caracterização de perigos**

Para avaliação da adequabilidade do método APPCC na produção de água para consumo humano foram monitoradas todas as etapas do tratamento, conforme demonstrado no fluxograma (Figura 11), com vistas à identificação de perigos, determinação de pontos críticos de controle, ações de controle e monitoramento.

As etapas de tratamento (Figura 12) foram monitoradas por período de 12 meses consecutivos (outubro de 2005 a setembro de 2006) quanto à turbidez, cor aparente, sólidos em suspensão, cloro residual livre (CRL), e avaliada, qualitativa e quantitativamente, a presença coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, esporos de bactérias aeróbias, *Bacillus subtilis*, esporos de bactérias anaeróbias, *Clostridium perfringens* e contagem de bactérias heterotróficas.

Nos períodos de chuva (outubro a dezembro de 2005) e seca (maio a setembro de 2006) foi monitorada a ocorrência de cistos de *Giardia* sp. e oocistos de *Cryptosporidium* sp. nos diferentes pontos de tratamento.

Devido à dificuldade de realização das análises de microalgas e cianobactérias, foi possível, apenas, realizar a sua ao longo do tratamento em único momento, na época de seca (setembro 2006).

As coletas, tanto para os dados primários como para os secundários, relacionadas à etapa “desinfecção com cloro-gás” foram realizadas na saída do tanque de contato e na etapa “reservação”, na saída do reservatório, entrada do sistema de distribuição (Figura 11).

Além da pesquisa dos parâmetros citados anteriormente, foram também trabalhados os dados secundários disponíveis referentes a 25 meses de monitoramento (setembro de 2004 a setembro de 2006) dos parâmetros turbidez, CRL, pH, temperatura, contagem de bactérias heterotróficas e coliformes em diferentes amostras de água, conforme Figura 12.

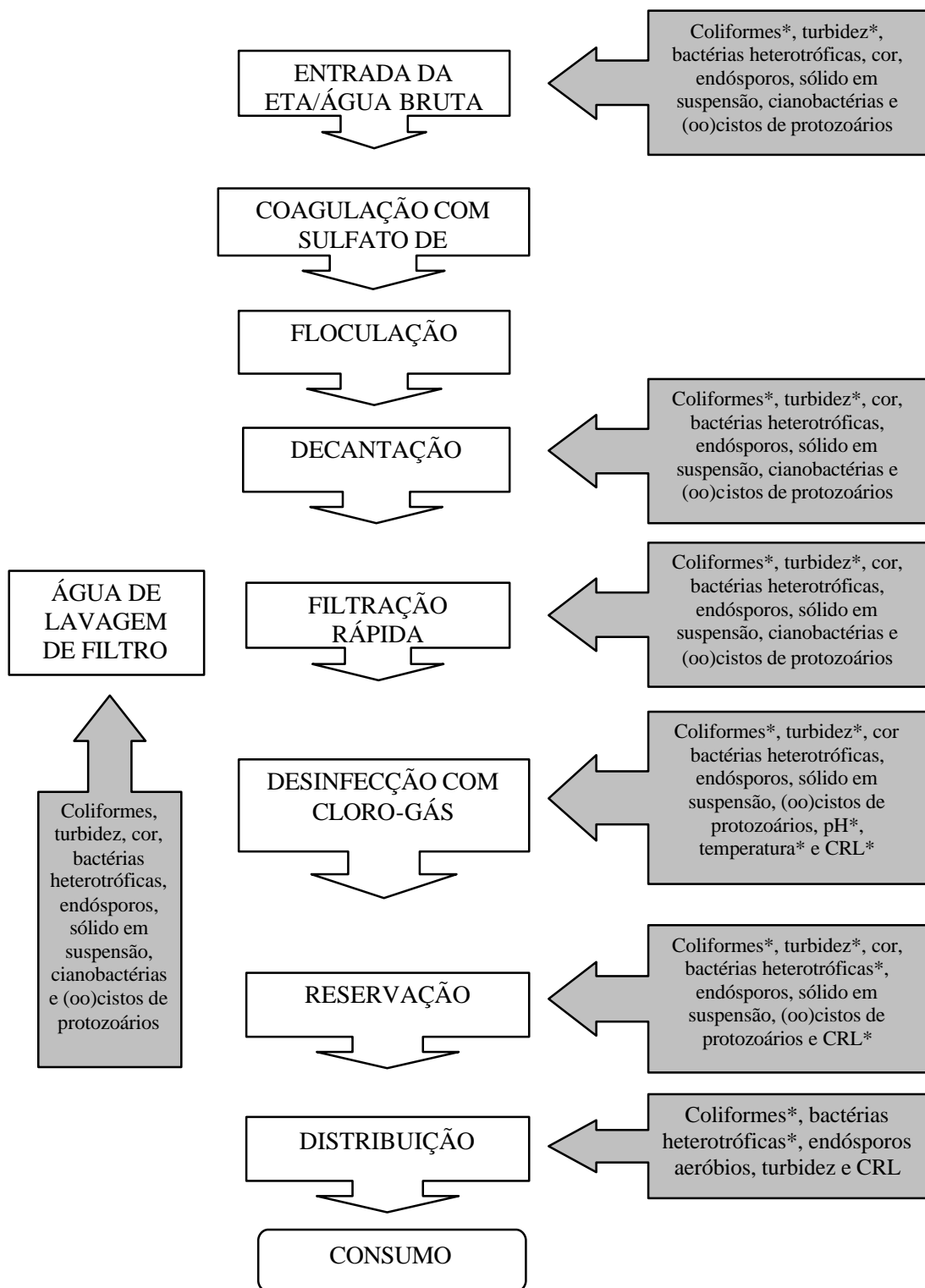
A lavagem dos filtros também foi monitorada durante os 12 meses de pesquisa, mensalmente. O processo de lavagem se dava pela inversão do fluxo de filtração, sendo a água utilizada nesse processo (10<sup>5</sup>L) proveniente de reservatório próprio de água tratada armazenada para essa finalidade. A lavagem de filtro ocorria em, aproximadamente, 8 minutos. Cada amostra consistiu da coleta de um volume de 200 mL da água de lavagem de filtro (ALF), a cada 10 segundos (Figura 13), aproximadamente, e armazenados em um recipiente. A uma amostra composta reservada possuía volume aproximado de 20L, e desta foram retiradas porções, em recipientes adequados, para as devidas análises.

#### **4.4. Descrição das técnicas utilizadas**

##### **4.4.1. Análises bacteriológicas**

###### **a) Bactérias Heterotróficas Totais**

A contagem de bactérias heterotróficas totais foi realizada pela técnica *pour-plate*, descrita no *Standard Methods for the examination of Water and Wasterwater* - seção 9215 (APHA, 1998) (Figura 14).



\* Resultados do monitoramento rotineiro do SAA-UFV (dados secundários).

Figura 11 – Fluxograma de produção e distribuição de água para consumo humano e identificação dos pontos para monitoramento com respectivos parâmetros, SAA-UFV.



Figura 12 – Estação de Tratamento de Água da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. (A) Calha Parshal com dosador de sulfato de alumínio; (B) floculador hidráulico; (C) Decantador; (D) Filtros: 1 - filtro 1 e 2 - filtro 2; (E) Tanque de contato e (F) Reservatório.

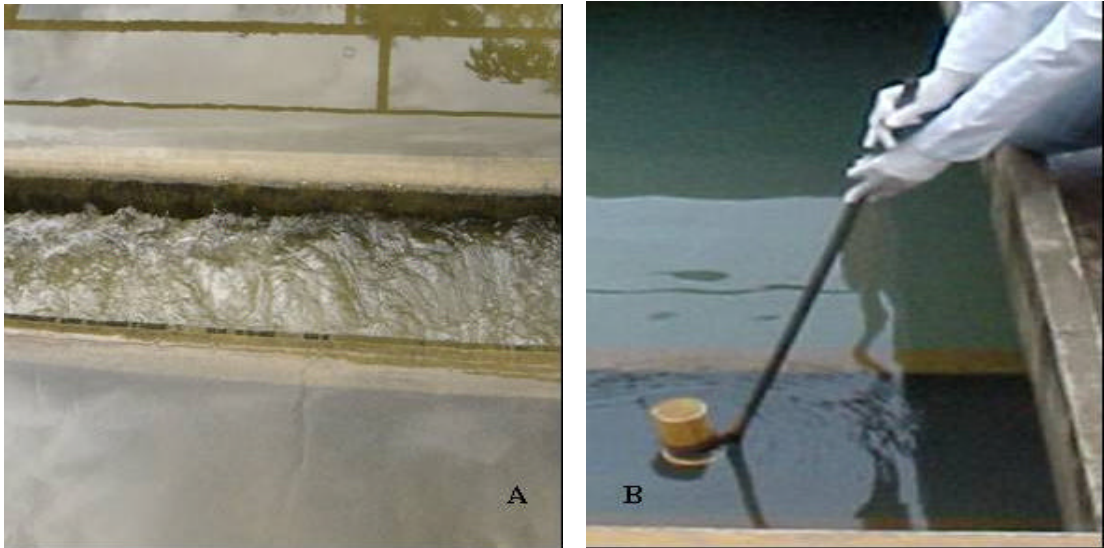


Figura 13 – (A) Fluxo de água durante o processo de lavagem dos filtros. (B) Coleta de amostra durante o procedimento de lavagem do filtro.

A metodologia consiste em dispor em placas de Petri estéreis, 1 mL da amostra ou diluições da mesma caso seja necessário<sup>8</sup>, e adicionar, aproximadamente, 20 mL de meio R2A (Sigma) fundido a uma temperatura de 45 a 50°C. As placas foram agitadas lentamente para distribuição homogênea da amostra no meio e deixadas em repouso. Após a solidificação do meio, as placas foram incubadas, invertidas, a 37°C por 48 horas. Após o período de incubação, a contagem das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) foi realizada. O resultado foi obtido em UFC/mL.

#### **b) Coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli***

A análise de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* foi realizada segundo a técnica dos tubos múltiplos utilizando os meios: caldo lauril triptose, caldo EC, caldo verde brilhante e água de triptona, conforme descrito no *Standard Methods for Water and Wastewater* - Seções 9221-B e 9221-E (APHA, 1998).

---

<sup>8</sup> Nas amostras pesquisadas não foi necessário realizar diluições, sendo sempre utilizadas alíquotas de 1 mL.

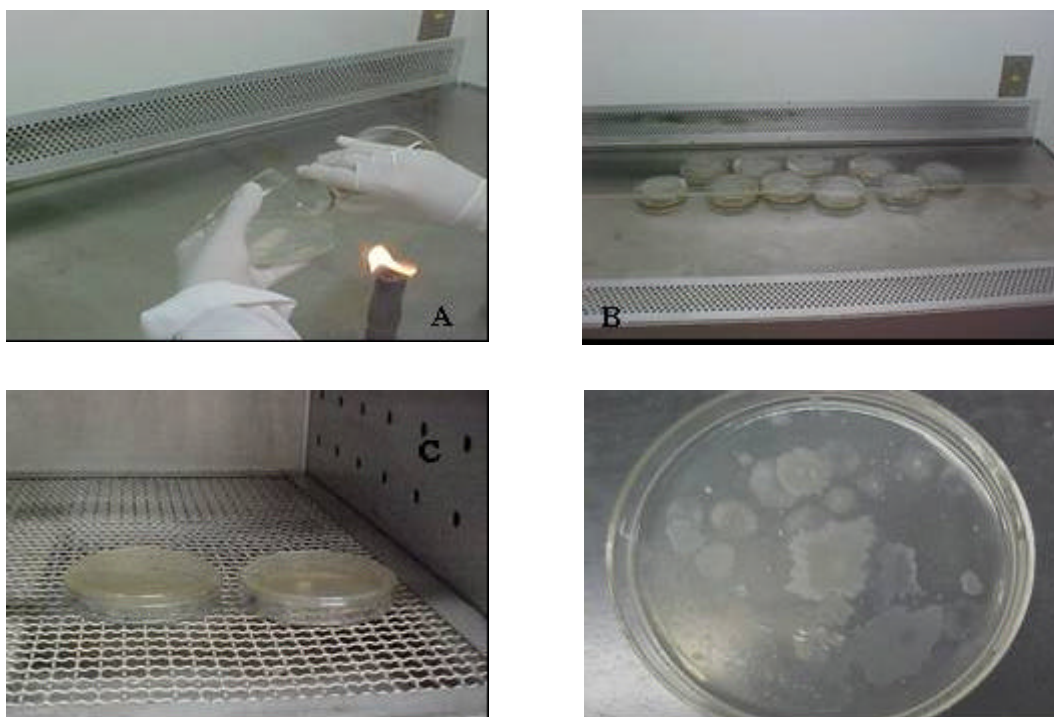


Figura 14 – Etapas de análise para contagem de bactérias heterotróficas pela técnica *pour plate*. (A) Inóculo de 1 mL de amostra em meio R2A. (B) Repouso das placas para solidificação do meio. (C) Incubação das placas invertidas a 37°C por 48hs. (D) Unidades formadoras de colônias nas placas após 48 horas de incubação a 37°C.

A amostra coletada era primeiramente inoculada em tubos contendo caldo lauril triptose com púrpura de bromocresol (Figura 15A). O volume inoculado variava segundo a amostra analisada<sup>9</sup>. Após incubação a 37°C por 24 horas (Figura 15B), os tubos que apresentavam produção de gás e ácido foram considerados positivos, na análise presuntiva de coliformes totais, a mesma leitura era realizada após 48 horas de incubação à mesma temperatura.

A partir dos tubos com resultados positivos da primeira fase descrita acima (Figura 15C), alíquotas eram retidas com alça de platina e inoculadas em tubos contendo caldo EC, caldo verde brilhante e água de triptona (Figura 15D). Os tubos de caldo EC e água de triptona, depois de inoculados, eram incubados em banho-maria a 44,5°C por 24 horas (Figura 15E). Os tubos contendo caldo verde brilhante eram incubados em estufa a 37°C por 24 horas.

<sup>9</sup> Volumes utilizados na inoculação conforme a origem da amostra - água bruta e decantada: 1; 0,1; e 0,01 mL; água filtrada, tratada e água de lavagem de filtro: 10; 1; e 0,1 mL. Sendo utilizados 5 tubos para cada volume.



Figura 15 – Etapas de análise para identificação de coliformes pela técnica dos tubos múltiplos. (A) Seqüência de tubos utilizados. (B) Incubação a 37°C. (C) Resultado da análise presuntiva para coliformes totais: negativo no tubo à esquerda e positivo no tubo à direita. (D) Repique dos tubos positivos para análise de coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli*. (E). Incubação em banho-maria a 44,5°C. (F) Resultados positivos: presuntivo para coliformes totais (tubo 1), confirmativo para coliformes totais (tubo 2), coliformes termotolerantes (tubo 3) e *Escherichia coli* (tubo 4).

Foram considerados positivos e confirmativos, para coliformes totais, os tubos com caldo verde brilhante que apresentaram crescimento e produção de gás; considerados positivos e confirmativos para coliformes termotolerantes os tubos com caldo EC que apresentaram crescimento e produção de gás; e positivos para *Escherichia coli* os tubos com água de triptona que apresentaram crescimento e reação positiva na prova do indol (Figura 15F). Os resultados foram expressos em NMP/100 mL, determinados segundo tabela própria.

### c) Esporos aeróbios e *Bacillus subtilis*

Para a pesquisa de esporos aeróbios foi utilizada a técnica de membrana filtrante, como descrito por Rice *et al.* (1996). Antes da análise, a amostra passou por tratamento a 37 °C por 30 minutos e, em seguida, foi agitada com velocidade de 150 rpm, a 60 °C por 15 minutos (Figura 16A). Posteriormente, foi realizado choque térmico (banho de gelo) e filtração da amostra em sistema de vácuo através de membrana com poros de 0,45 µm (Figura 16B).

O volume utilizado da amostra variou segundo sua origem<sup>10</sup> a fim de obter um resultado final de crescimento de colônias sempre inferior a 200 UFC. Quando o volume a ser usado era inferior a 100 mL, a amostra tinha seu volume completado para 100 mL com água peptonada. Após a filtração, a membrana era disposta sobre meio azul de tripan 0,1% de amido e incubada em câmara úmida a 35 °C por 20-22 horas (Figura 16C). Após esse período, todas as UFC contadas foram consideradas colônias originadas de esporos de bactérias aeróbias (Figura 16D).

Aquelas UFC características para *Bacillus subtilis*<sup>11</sup> foram repicadas em ágar amido e incubadas a 35 °C por 24 horas (Figura 17). A confirmação para tal organismo se deu pela presença do halo formado entorno da colônia pela produção da enzima amilase. Os resultados foram expressos em UFC/100 mL.

---

<sup>10</sup> Volumes utilizados na filtração conforme a origem da amostra - água bruta, decantada e água de lavagem de filtros: 1 e 0,5 mL; água filtrada: 10 e 1 mL; água tratada: 100 e 10 mL. Todas analisadas em duplicata.

<sup>11</sup> Colônias de coloração branca, opacas, com formação de halo visível na porção inferior da placa com meio Azul de Tripan 0,1% de amido.



Figura 16 – Etapas de análise para identificação de esporos aeróbios pela técnica da membrana filtrante. A) Tratamento das amostras em agitador; B) Filtração da amostra; C) Incubação em câmara úmida a 37 °C; D) Placas com crescimento de UFC, após 24 horas de incubação.

#### d) Esporos anaeróbios e *Clostridium perfringens*

Para a pesquisa de esporos anaeróbios foi utilizada a técnica de membrana filtrante, segundo Fout *et al.* (1996). Inicialmente, a amostra foi mantida a 60°C por 15 minutos, em seguida, realizado o choque térmico (banho de gelo) e filtração da amostra em sistema de vácuo, através de membrana com poros de 0,45 µm (Figura 18).

O volume utilizado da amostra variou segundo sua origem<sup>12</sup> a fim de se obter um resultado final de crescimento de colônias sempre inferior a 200 UFC. Quando o volume a ser usado era inferior a 100 mL, a amostra tinha seu volume completado para 100 mL com água peptonada. Após a filtração, a membrana foi disposta em

<sup>12</sup> O volume a ser filtrado foi estabelecido sempre em 10 e 100 mL e todas as amostras foram analisadas em duplicata.

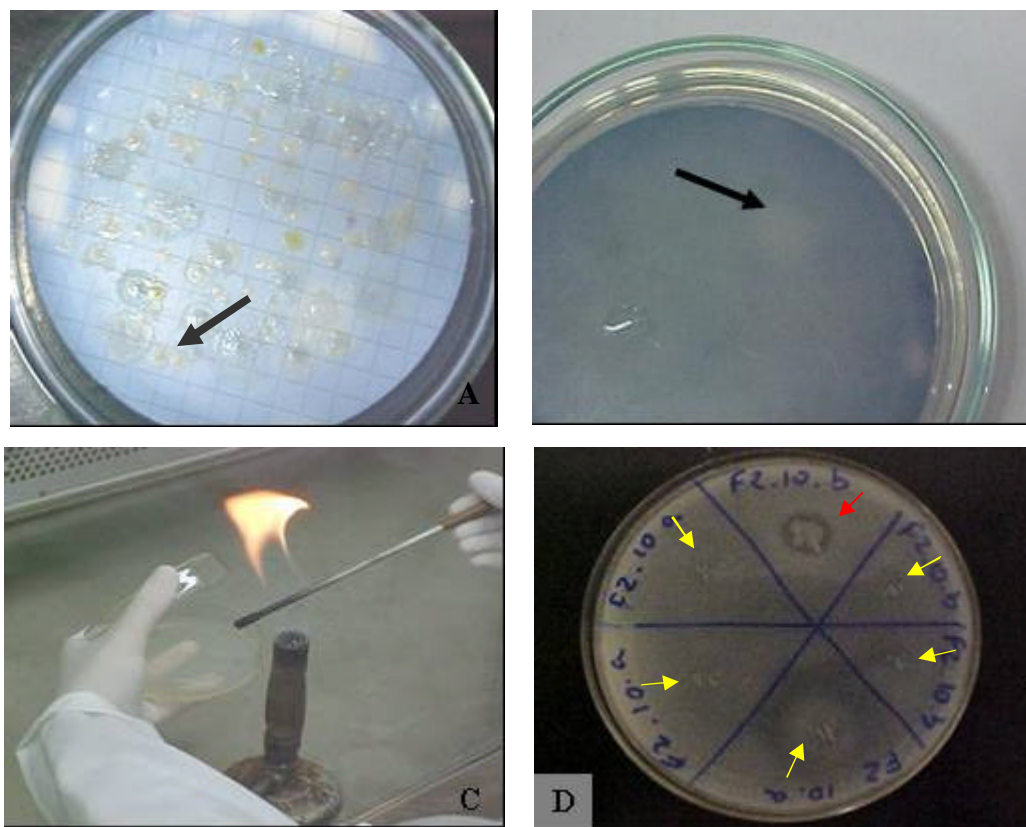


Figura 17 – Etapas de análise para identificação de *Bacillus subtilis*. (A) Colônias características para *Bacillus subtilis*. (B) Halo formado pelas colônias características de *Bacillus subtilis* no fundo das placas. (C) Repique das colônias em meio ágar amido. (D) Resultado positivo para *Bacillus subtilis*: formação do halo de reação da amilase (seta vermelha), após 24 horas de incubação e resultado negativo para as demais colônias (setas amarelas).

placas com meio mCP, sendo essas incubadas em jarra de anaerobiose a 44,5 °C por 24 horas. Todas as UFC de coloração amarelo-palha formadas e que se tornaram rosa, após exposição ao hidróxido de amônia, foram consideradas provenientes de esporos anaeróbios.

Aquelas UFC características foram repicadas em caldo tioglicolato e incubadas a 35°C por 24 horas. Quando houve crescimento no caldo tioglicolato, indicado pela turvação e produção de gás, 1 mL do mesmo era transferido para o meio Iron Milk incubado, por sua vez, em banho-maria a 44,5°C por 2 horas. O crescimento no meio Iron Milk foi indicado pela ocorrência de fermentação (Figura 19). Para confirmação de *Clostridium perfringens* realizou-se, ainda, a coloração Gram, a fim de verificar a presença de bacilos Gram positivos. Os resultados foram expressos em UFC/100 mL.

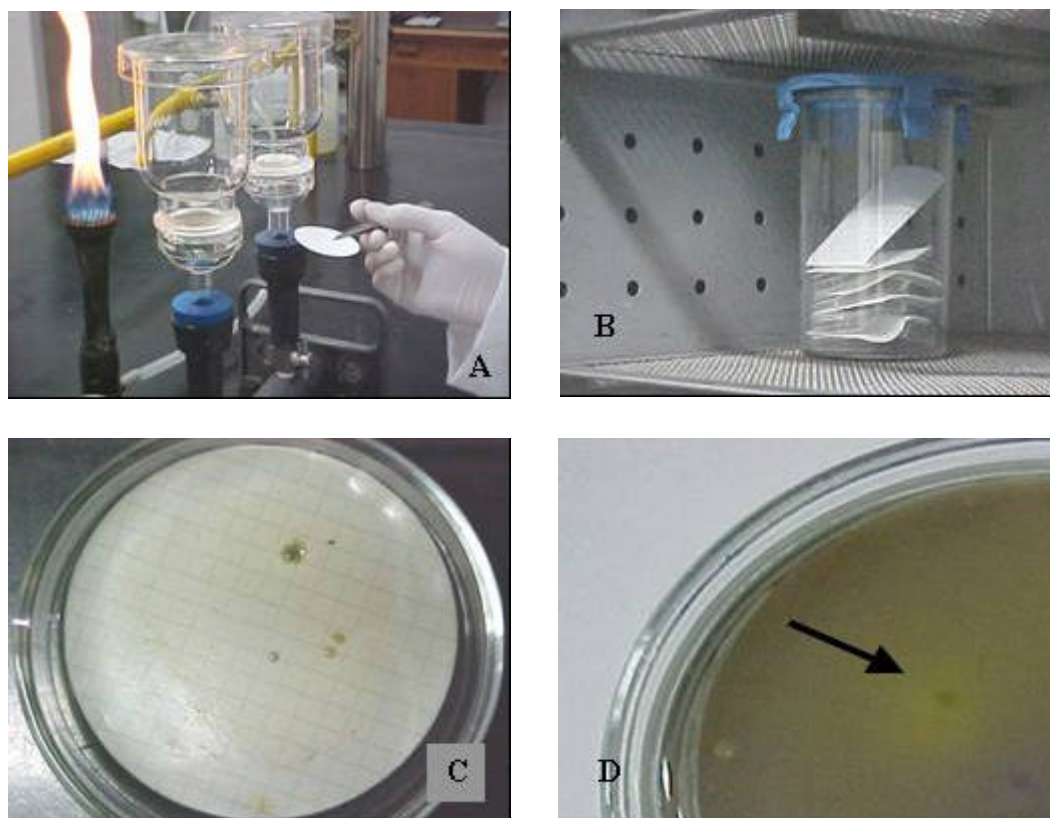


Figura 18 – Etapas de análise para identificação de esporos anaeróbios pela técnica da membrana filtrante. (A) Filtração da amostra. (B) Incubação em jarra de anaerobiose a 45,5°C. (C) Unidades formadoras de colônias, após 24 horas de incubação. (D) Halo formado pelas colônias características de *Clostridium perfringens*, no fundo das placas.

#### 4.4.2. Análises de protozoários

Para análise de cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. foi empregada a técnica de floculação, com carbonato de cálcio, descrita por Vesey *et al.* (1993) e identificação e enumeração de (oo)cistos realizada pela técnica de imunofluorescência direta, utilizando-se o ‘kit’ Merifluor<sup>®</sup> C/G (Cod. 250050).

Inicialmente, a amostra de água é concentrada por floculação com carbonato de cálcio. Um volume de 10 L de água foi colocado em balão de fundo chato de 12 L e adicionado 100 mL de cloreto de cálcio 1M e 100 mL de bicarbonato de cálcio 1M. A amostra foi rigorosamente homogeneizada e o pH corrigido para um valor igual a 10,0 com adição de hidróxido de sódio 1M<sup>13</sup> (Figura 20).

<sup>13</sup> Foram sempre utilizados 100 mL de solução de hidróxido de sódio para esta finalidade.

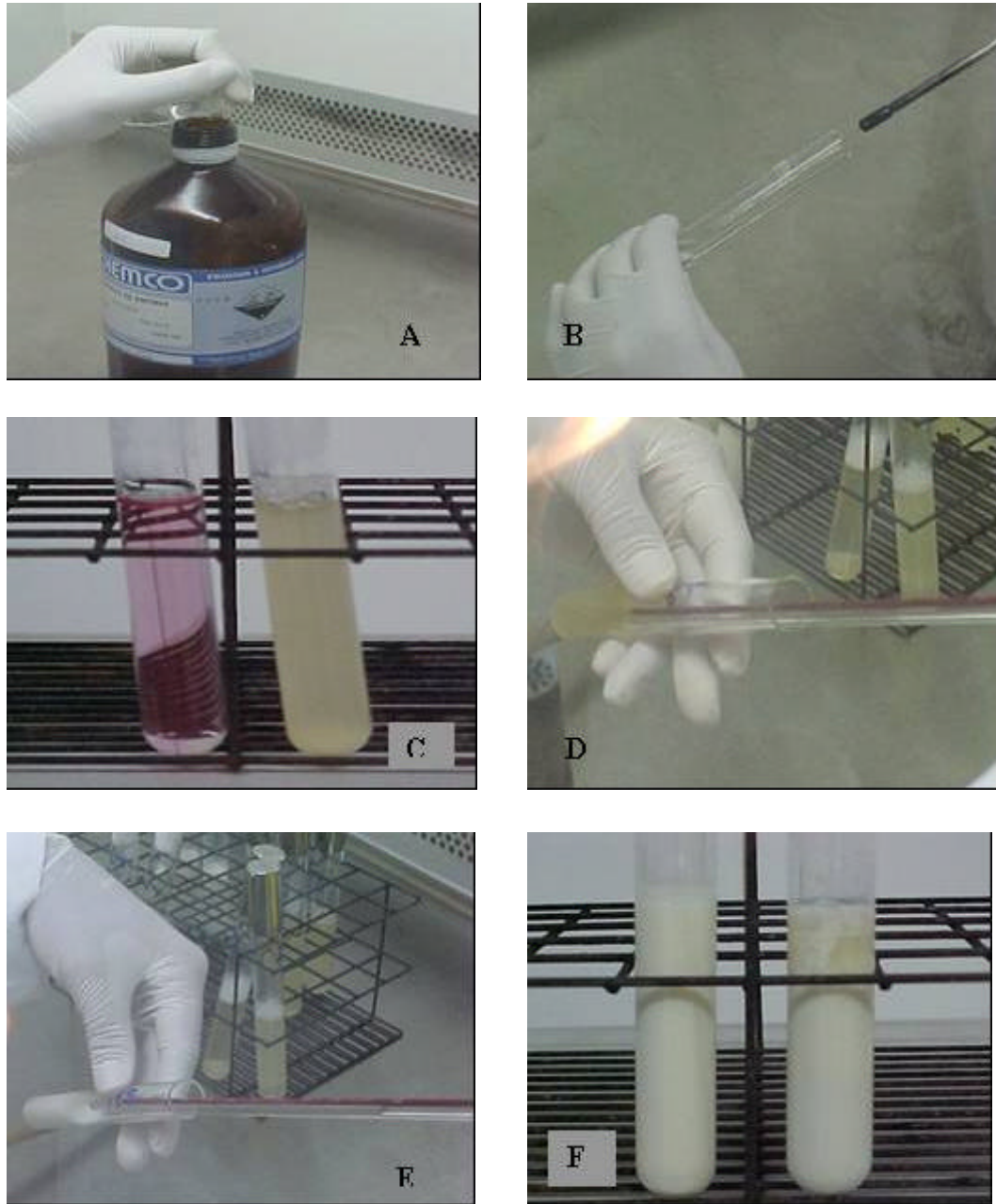


Figura 19 – Etapas de análise para identificação de *Clostridium perfringens*. (A) Exposição das colônias ao gás de amônia. (B) Repique das colônias que apresentaram coloração rosa em caldo tioglicolato. (C) Resultado positivo: crescimento e produção de gás (tubo à direita) e resultado negativo no tubo à esquerda. (D) e (E) Inoculação de 1 mL retirados dos tubos com resultados positivos em meio Iron Milk. (F) Resultado positivo: ocorrência de fermentação (tubo à direita) e resultado negativo (tubo à esquerda).



Figura 20 – Preparo de amostras para identificação de (oo)cistos de protozoários por imunofloreescência. (A) Adição dos reagentes. (B) Homogeneização. (C) Amostras antes e (D) após a sedimentação. (E) Aspiração do sobrenadante. (F) Centrifugação. (G) Sedimento formado. (H) Amostras concentradas prontas para análise de imunofluorescência.

Os balões foram deixados em repouso, *over night*, à temperatura ambiente. Em seguida, o sobrenadante foi aspirado. O resíduo concentrado no fundo dos balões foi dissolvido com adição de 200 mL de ácido sulfâmico a 10%. A mistura foi homogeneizada para garantir completa dissolução do resíduo e depositada em Erlenmeyer de 500 mL. Em seguida, 200 mL de solução Tween 80 a 0,01% foram utilizados para remover o restante do precipitado formado nos balões, quando necessário, mais 100 mL da mesma solução era utilizado. No final deste processo, chegava-se a uma amostra de aproximadamente 500 mL (Figura 20).

O volume obtido na etapa anterior era centrifugado a 3.000 rpm, por 10 minutos, o sobrenadante era removido e os sedimentos formados eram unidos em um único tubo de centrífuga. Todos os tubos eram enxaguados com 50 mL de solução Tween 80 a 0,01% que era, por fim, unida aos sedimentos. O tubo contendo os sedimentos e o Tween era, então, centrifugado a 3.000 rpm por 10 minutos. Em seguida, o sobrenadante era removido e o sedimento ressuspensão com água destilada e cetrifugado novamente. O sobrenadante era novamente dispensado deixando, aproximadamente 10 mL, que eram armazenados em tubos de centrifuga de 15 mL graduados e guardados em geladeira até o momento de identificação e enumeração de (oo)cistos.

Antes de iniciar o protocolo de imunofluorescência, o sedimento formado nos tubos de centrífuga, após cerca de 24hs em geladeira, era verificado e anotado. Em seguida, a amostra era homogeneizada e 10 µL eram retirados para a realização das reações, conforme descrito no kit de imunofluorescência (Merifluor<sup>®</sup> C/G - Cod. 250050), utilizado para a identificação e enumeração dos (oo)cistos em microscópio óptico sob luz ultravioleta e aumento de 100 vezes.

#### **4.4.3. Análises físico-químicas**

Foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: turbidez, cor, pH, temperatura, cloro residual livre e sólidos em suspensão. Todas as análises seguiram as determinações do *Standard Methods for Water and Wasterwater* (APHA, 1998).

#### 4.4.4. Análises de cianobactérias

A pesquisa de cianobactérias nas amostras de água seguiu, a metodologia descrita por Aguiar (1992). Amostras de 50 mL foram coletadas em cada etapa de tratamento e armazenadas em frascos âmbar. Destas, 1 mL, aproximadamente, foi inoculado em placas de Petri com meio BG11 com e sem nitrogênio e incubado em condições fotoautótroficas de crescimento, ou seja, à temperatura de  $21 \pm 2^\circ\text{C}$ , com iluminação constante de  $30\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$ , proveniente de luz fria fluorescente (Figura 21A).

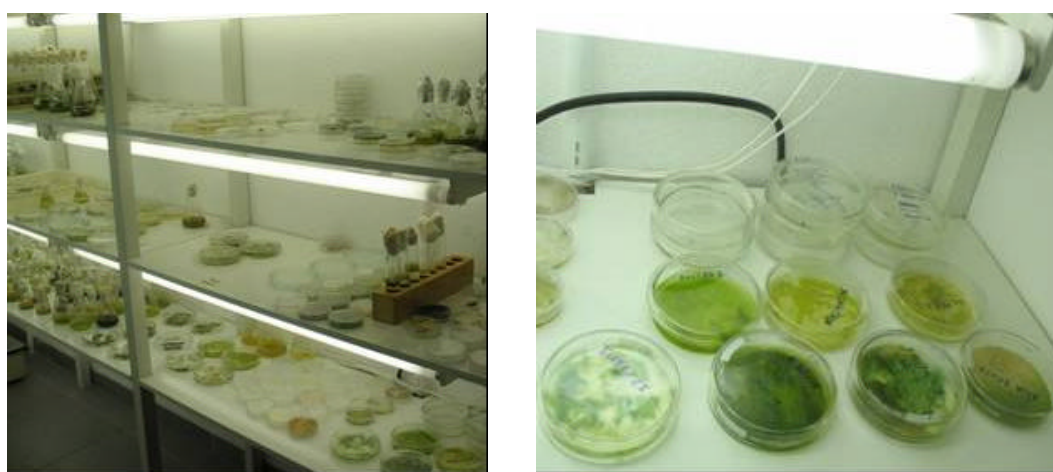


Figura 21 – (A) Sala de cultura para crescimento de microalgas e cianobactérias. (B) Detalhe da placas contendo visível crescimento de microalgas e cianobactérias após 8 a 10 dias de incubação. Unidade de Crescimento de Plantas, UFV.

O monitoramento do crescimento de microalgas e cianobactérias foi realizado por 8 a 10 dias de incubação. As placas contendo crescimento de microrganismos (Figura 21B) foram repicadas em câmara de fluxo laminar e as colônias foram transferidas para novas placas contendo meio, a fim de obter o isolamento dos organismos para posterior identificação dos gêneros presentes.

A identificação das microalgas e cianobactérias foi realizada através de observações em microscópio óptico e foram feitos os registros fotográficos, dos gêneros isolados.

#### **4.5. Análises dos dados**

Os dados obtidos no processo de monitoramento foram utilizados para análise do desempenho de cada etapa de produção medidas descritivas e avaliação da remoção alcançada (isolada e em conjunto).

Para as análises de correlação dentre os parâmetros pesquisados e entre esses e a pluviosidade, inicialmente, foi avaliada a normalidade utilizando o teste D'Agostino-Person, para os dados secundários e Shapiro-wilk para os dados primários. Tendo sido verificado que os dados não seguiam uma distribuição normal, optou-se, pela análise de correlação, e o uso do teste não paramétrico de Spearman. Estas análises foram realizadas com o programa BioEstat 2.0 (AYRES *et al.*, 2000) e interpretadas considerando-se um nível de significância de 5%.

Para a construção do diagrama de fluxo e a elaboração do sistema APPCC, para o SAA-UFV, foi utilizado o modelo de árvore decisória, proposto por Mortimore; Wallace (2001).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados primários foram obtidos em coletas mensais entre outubro de 2005 a setembro de 2006. Os dados secundários avaliados foram os resultados de análises bacteriológicas (análises semanais) e físico-químicas (análises diárias) entre setembro de 2004 a setembro de 2006. Ambos foram utilizados, a fim de caracterizar o tratamento da água empregado na estação em estudo, avaliar a performance de cada etapa de tratamento e verificar a possível correlação dos parâmetros pesquisados com a presença de protozoários e índices pluviométricos.

### **5.1. Avaliação do processo de tratamento da água no SAA-UFV**

#### **5.1.1. Água bruta**

A Tabela 1 traz os resultados das análises bacteriológicas, físicas e químicas realizadas em amostras coletadas na entrada da ETA (calha Parshal). Durante o período de estudo, a vazão se manteve entre 48,5 e 60 L/s.

Foram registradas amplas variações de valores de cor aparente, turbidez e sólidos em suspensão no período analisado (Tabela 1), enquanto o pH e a alcalinidade apresentaram faixas de valores, em geral, adequados ao tipo de tratamento empregado.

Os resultados bacteriológicos são, em geral, similares às informações anteriores sobre o mesmo manancial (BASTOS *et al.* 2000; BASTOS *et al.*, 2004),

Tabela 1 – Caracterização da água bruta, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006

Parâmetro	N <sup>1/</sup>	Média <sup>2/</sup>	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio-Padrão
Vazão <sup>3/</sup>	-	53,5	60,0	48,4	4,0
Turbidez <sup>4/</sup>	735	16,0	237,0	3,9	19,3
Cor aparente <sup>5/</sup>	735	60,6	560,0	5,0	57,6
Sólidos em suspensão <sup>6/</sup>	9	10,7	21,00	2,50	6,5
pH	735	7,3	7,8	6,7	0,2
Alcalinidade <sup>6/</sup>	735	25,8	35,3	19,1	2,9
Coliformes totais <sup>7/</sup>	89	9,55x10 <sup>2</sup>	9,20x10 <sup>3</sup>	3,30x10 <sup>1</sup>	2,31x10 <sup>3</sup>
Coliformes termotolerantes <sup>7/</sup>	73	2,49x10 <sup>2</sup>	5,40x10 <sup>3</sup>	1,30	1,06 x10 <sup>3</sup>
<i>Escherichia coli</i> <sup>7/</sup>	89	1,63x10 <sup>2</sup>	1,10x10 <sup>3</sup>	4,50	1,63x10 <sup>3</sup>
Bactérias heterotróficas <sup>8/</sup>	12	1,25x10 <sup>2</sup>	7,20x10 <sup>2</sup>	2,20	2,44x10 <sup>2</sup>
Esporos aeróbios <sup>9/</sup>	12	8,20x10 <sup>3</sup>	4,56x10 <sup>4</sup>	1,72x10 <sup>3</sup>	1,27x10 <sup>4</sup>
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>9/</sup>	12	1,80x10 <sup>0</sup>	5,00x10 <sup>1</sup>	ND <sup>(12)</sup>	1,97x10 <sup>1</sup>
Esporos anaeróbios <sup>9/</sup>	12	1,20x10 <sup>1</sup>	7,40x10 <sup>1</sup>	ND	2,43x10 <sup>1</sup>
<i>Clostridium perfringens</i> <sup>9/</sup>	12	5,72	3,90x10 <sup>2</sup>	ND	1,40x10 <sup>1</sup>
<i>Cryptosporidium</i> spp. <sup>10/</sup>	8	11,67	2,50x10 <sup>1</sup>	ND	9,66
<i>Giardia</i> spp. <sup>11/</sup>	8	4,00	7,00	ND	2,67

<sup>1/</sup> número de amostras; <sup>2/</sup> médias geométricas para os parâmetros bacteriológicos e médias aritméticas para os parâmetros físico-químicos e protozoários; <sup>3/</sup> L/s; <sup>4/</sup> uT; <sup>5/</sup> uC; <sup>6/</sup> mg/L; <sup>7/</sup> NMP/100 mL; <sup>8/</sup> UFC/mL; <sup>9/</sup> UFC/100 mL; <sup>10/</sup> oocistos/L; <sup>11/</sup> cistos/L; e <sup>12/</sup> Não-detectado.

sugerindo a inexistência de processos acentuados de deterioração (contaminação) da água bruta.

As análises de (oo)cistos de protozoários foram realizadas em dois momentos, período de chuva (outubro a dezembro de 2005) e período de seca (maio a setembro de 2006), totalizando oito amostras. Das três amostras coletadas no período de chuva, duas apresentaram resultados positivos para oocistos de *Cryptosporidium* spp. e não foram identificados cistos de *Giardia* spp. Das cinco amostras coletadas no período de seca, em quatro foram encontrados oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. As concentrações de (oo)cistos encontradas foram também similares aos dados anteriormente registrados (BASTOS *et al.*, 2004).

### 5.1.2. Decantação

Esta etapa mostrou-se eficiente na remoção de turbidez e cor aparente: 80,2% e 85,7%, respectivamente. O valor médio da cor aparente da água decantada já foi inferior ao padrão de aceitação para consumo estabelecido na Portaria MS

nº 518/2004 (15 uC) (Tabela 2). Registre-se que a etapa de decantação se mostrou bastante estável, em termos de remoção de turbidez e cor aparente (Figura 22). Apenas para efeitos dos cálculos dos logaritmos de remoção, os valores achados iguais a “ND” (não-detectáveis) foram considerados como remoção completa, ou seja valores iguais a zero, com 100% de remoção.

A remoção de bactérias se encontra dentro do esperado e daquele obtido em informações genéricas de literatura (WHO, 2004). Dentre as bactérias pesquisadas, os melhores e os piores resultados de remoção foram obtidos, respectivamente, para coliformes totais (90,4%) e *Bacillus subtilis* (48,5%). Em geral, as bactérias do grupo coliforme apresentaram redução elevada, nesta etapa de tratamento: 87,7% para coliformes termotolerantes e 86,2% para *Escherichia coli*, além dos já mencionados resultados de coliformes totais (Tabela 2).

Das cinco amostras coletadas, no período de seca, foram encontrados oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em quatro amostras de água decantada. No período de chuvas, todas as amostras analisadas de água decantada revelaram resultados negativos. Estes resultados são importantes e guardam consistência com o próprio desempenho da decantação, em geral (por exemplo, medido pela remoção de turbidez), uma vez que, durante o período de chuvas, com turbidez da água bruta mais elevada, a formação dos flocos é melhor e, por conseguinte, o processo de sedimentação é mais intenso (Tabela 2).

Quanto à remoção dos protozoários nesta etapa, os valores encontrados foram de 59,9% (0,39  $\log_{10}$ ) para *Cryptosporidium* spp. e 0% (0  $\log_{10}$ ) cistos de *Giardia* spp. (Tabela 2).

Dugan *et al.* (2001), consideraram a fase de decantação como uma importante etapa no tratamento de água para a remoção de (oo)cistos de protozoários, podendo chegar à remoção de 1,3 unidade logarítmica de oocistos de *Cryptosporidium* spp. Em publicação da OMS, encontram-se informações genéricas de remoção na faixa de 30 – 70% (WHO, 2004). Valores estes, não encontrados neste trabalho para remoção de *Giardia* sp.

Entretanto, deve-se levar em consideração, na avaliação dos resultados de remoção de (oo)cistos de protozoários, as limitações relacionadas às técnicas de detecção desses organismos em amostras de água. De forma geral, a literatura aponta percentuais extremamente variáveis de recuperação de (oo)cistos em amostras de água segundo as diferentes metodologias de concentração disponíveis. Segundo

Tabela 2 – Caracterização da água decantada e desempenho do processo de decantação, SAA-UFV setembro de 2004 a setembro de 2006

Parâmetro	N <sup>1/</sup>	Média <sup>2/</sup>	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio-Padrão	Remoção (%) <sup>3/</sup>	Log Remoção <sup>3/</sup>
Turbidez <sup>4/</sup>	735	3,18	12,72	1,26	1,41	80,17	0,70
Cor aparente <sup>5/</sup>	735	8,70	45,00	2,05	4,18	85,65	0,84
Sólidos em suspensão <sup>6/</sup>	8	6,61	20,00	1,00	6,45	38,34	0,21
Coliformes totais <sup>7/</sup>	87	9,19x10 <sup>2</sup>	9,50x10 <sup>2</sup>	2,00x10 <sup>0</sup>	1,90x10 <sup>2</sup>	90,39	1,02
Coliformes termotolerantes <sup>7/</sup>	73	3,06x10 <sup>1</sup>	3,50x10 <sup>2</sup>	2,00x10 <sup>0</sup>	7,66 x10 <sup>1</sup>	87,71	0,93
<i>Escherichia coli</i> <sup>7/</sup>	86	2,26x10 <sup>2</sup>	4,90x10 <sup>2</sup>	1,80x10 <sup>0</sup>	7,98x10 <sup>1</sup>	86,15	0,86
Bactérias heterotróficas <sup>8/</sup>	12	4,81x10 <sup>1</sup>	7,50x10 <sup>2</sup>	3,00x10 <sup>0</sup>	2,05x10 <sup>2</sup>	61,62	0,42
Esporos aeróbios <sup>9/</sup>	12	2,32x10 <sup>3</sup>	3,21x10 <sup>4</sup>	3,15x10 <sup>2</sup>	9,12x10 <sup>3</sup>	71,73	0,55
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>(9)</sup>	12	9,30x10 <sup>-1</sup>	1,25x10 <sup>2</sup>	ND <sup>(12)</sup>	3,59x10 <sup>1</sup>	48,54	0,29
Esporos anaeróbios <sup>9/</sup>	12	2,58	1,50x10 <sup>1</sup>	ND	4,24	78,43	0,67
<i>Clostridium perfringens</i> <sup>9/</sup>	12	4,80x10 <sup>-1</sup>	4,00	ND	1,16	91,56	1,07
<i>Cryptosporidium</i> spp. <sup>10/</sup>	8	4,75	8,00	ND	3,11	59,29	0,39
<i>Giardia</i> spp. <sup>11/</sup>	8	4,00	6,00	ND	2,14	0,00	0,00

<sup>1/</sup> número de amostras; <sup>2/</sup> médias geométricas de dados semanais para os parâmetros bacteriológicos e médias aritméticas de dados diários para os parâmetros físico-químicos e protozoários; <sup>3/</sup> valores médios; <sup>4/</sup> uT; <sup>5/</sup> uC; <sup>6/</sup> mg/L; <sup>7/</sup> NMP/100 mL; <sup>8/</sup> UFC/mL; <sup>9/</sup> UFC/100 mL; <sup>10/</sup> oocistos/L; <sup>11/</sup> cistos/L; e <sup>12/</sup> não-detectado.

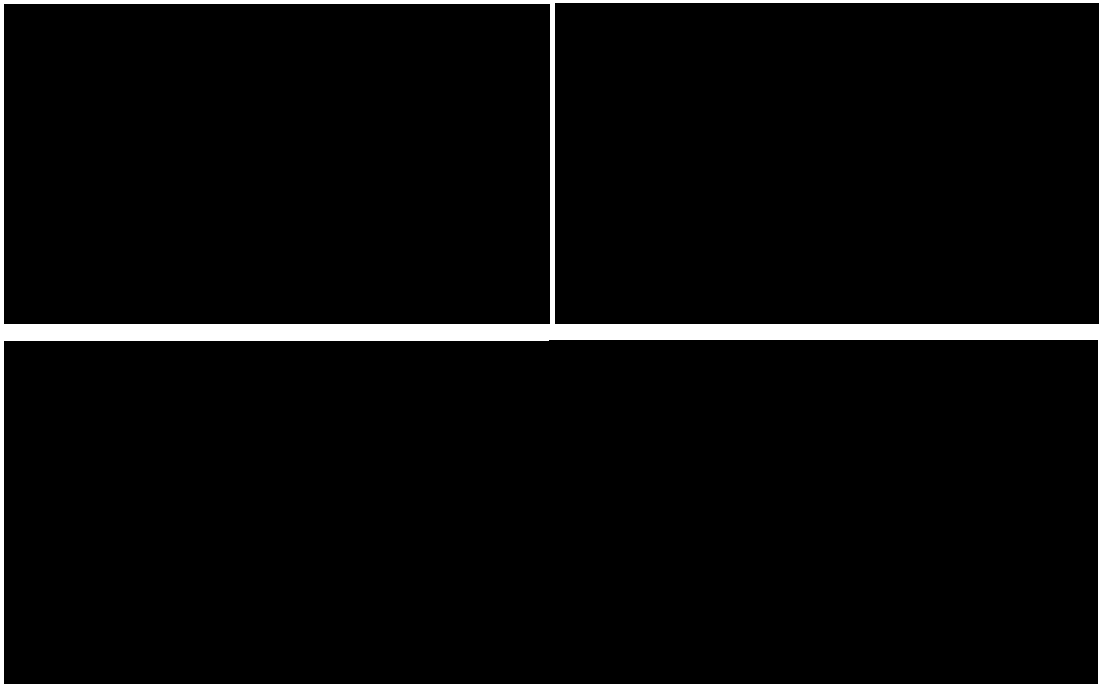


Figura 22 – Estatística descritiva dos dados de turbidez e cor aparente da água bruta e decantada, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.

Fricker e Crabb (1998), a técnica de floculação em carbonato de cálcio, a qual foi utilizada na etapa de concentração das amostras no presente trabalho, apresenta percentuais de recuperação entre 30 e 40%.

### 5.1.3. Filtração

Na Figura 23, apresenta-se a estatística descritiva dos dados de turbidez da água filtrada - filtros 1 e 2 e água após o tratamento a fim de comparação dos perfis encontrados nestas etapas.

Em 0,14% (de fato apenas uma amostra) das amostras dos efluentes dos filtros 1 e 2, a turbidez esteve acima do padrão de potabilidade brasileiro (1 uT). Em 88,7% e 81,5% das amostras de água filtrada dos filtros 1 e 2, respectivamente, a turbidez foi inferior a 0,5 uT, valor recomendado pela Portaria MS nº 518/2004 e assumido pelos critérios norte-americanos como indicativo da remoção (99,9 %) de *Giardia* spp. (< 0,5 uT em 95% do tempo e sempre < 1 uT – USEPA, 2002). Em 37,6% e 42,6% das amostras do filtro 1 e 2, respectivamente, a turbidez foi inferior a 0,3 uT, valor da norma norte-americana como indicativo de remoção (99 %) de oocistos de *Cryptosporidium* spp. (< 0,3 uT em 95% do tempo e sempre < 1 uT – US-EPA, 2001).

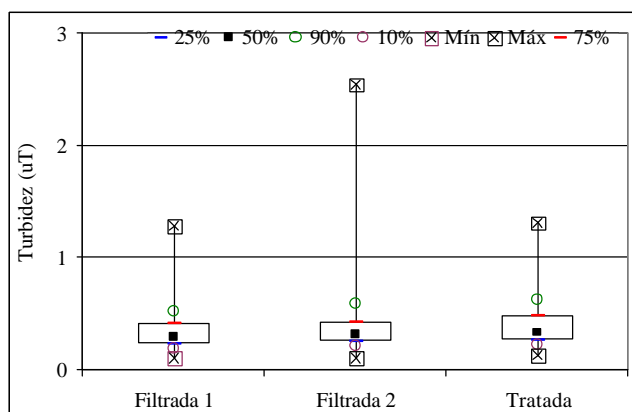


Figura 23 – Estatística descritiva dos dados de turbidez da água filtrada e tratada, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.

Em linhas gerais, pode-se dizer que os filtros da ETA-UFV apresentam bom desempenho e estabilidade, mas os critérios mais rigorosos de turbidez, como indicador da remoção de *Cryptosporidium* (valores menores que 0,3uT) não são facilmente alcançados.

O valor máximo de turbidez encontrado na água filtrada foi igual a 1,3 uT no filtro 1 e 2,6 uT no filtro 2, porém, sempre menores que o valor máximo permitido na portaria (5uT). A remoção de turbidez nos filtros 1 e 2, no período analisado, foi de respectivamente, 89,55 e 88,56%; a remoção total (decantação + filtração) foi de 97,93% e 97,73%. A remoção de cor aparente foi de 70,6% no filtro 1 e 69,58% no filtro 2, sendo que a remoção total (decantação + filtração) alcançou cerca de 96% (Tabela 3).

Das cinco amostras coletadas, no período de seca, para análise de protozoários foram encontrados cistos de *Giardia* spp. em uma amostra de água filtrada (filtro 1), sendo que neste evento a turbidez do efluente filtrado era de 0,36 uT. Nas demais amostras coletadas, não foram encontrados os dois protozoários pesquisados (Tabela 3).

Para efeito de discussão, os resultados iguais a ND (não-detectável) foram considerados iguais a zero, remoção de 100%.

A julgar pelos dados dos eventos de monitoramento de protozoários, a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. teria sido completa, ou seja, 100% de remoção, bem como, a de *Giardia* spp. em 87% destes eventos.

Tabela 3 – Caracterização da água filtrada e desempenho do processo de filtração, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006

Parâmetro	Filtro	N <sup>1/</sup>	Média <sup>2/</sup>	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio-Padrão	Remoção (%) <sup>3/</sup>	Log. Remoção <sup>3/</sup>	Remoção Acumulada (%) <sup>3,4/</sup>
Turbidez <sup>2/</sup>	1	735	0,3	1,3	0,1	0,15	89,55	0,98	97,93
	2	735	0,4	2,6	0,1	0,18	88,56	0,94	97,73
Cor aparente <sup>6/</sup>	1	735	2,6	9,0	<1,0	1,40	70,60	0,53	95,78
	2	735	2,6	8,9	0,0	1,40	69,85	0,52	95,67
Sólidos em suspensão <sup>7/</sup>	1	9	9,7	22,0	2,5	7,76	-46,22	-0,17	9,84
	2	7	5,75	19,50	0,0	6,58	13,03	0,06	43,01
Coliformes totais <sup>8/</sup>	1	87	1,15x10 <sup>1</sup>	5,40x10 <sup>3</sup>	1,80x10 <sup>0</sup>	6,06x10 <sup>2</sup>	87,48	0,90	98,80
	2	88	1,07x10 <sup>1</sup>	3,50x10 <sup>2</sup>	2,00x10 <sup>0</sup>	5,43x10 <sup>1</sup>	88,40	0,94	98,88
Coliformes termotolerantes <sup>8/</sup>	1	73	6,03	7,00 x10 <sup>1</sup>	1,80	1,38 x10 <sup>1</sup>	80,26	0,69	97,57
	2	73	5,62	3,50x10 <sup>2</sup>	1,80	6,12 x10 <sup>1</sup>	81,62	0,72	97,74
<i>Escherichia coli</i> <sup>8/</sup>	1	87	5,04	2,20x10 <sup>2</sup>	1,80	3,41x10 <sup>1</sup>	77,73	0,65	96,91
	2	88	5,13	3,50x10 <sup>2</sup>	2,00	5,61x10 <sup>1</sup>	77,35	0,65	96,86
Bactérias heterotróficas <sup>9/</sup>	1	12	1,35x10 <sup>1</sup>	5,22x10 <sup>2</sup>	ND	1,58x10 <sup>2</sup>	71,85	0,55	89,20
	2	11	2,52x10 <sup>1</sup>	5,40x10 <sup>2</sup>	ND	1,56x10 <sup>2</sup>	47,63	0,28	79,90
Esporos aeróbios <sup>10/</sup>	1	12	3,65x10 <sup>2</sup>	3,16 x10 <sup>4</sup>	ND	9,77x10 <sup>3</sup>	84,27	0,80	95,55
	2	11	2,95x10 <sup>2</sup>	9,08 x10 <sup>3</sup>	ND	3,58x10 <sup>3</sup>	87,26	0,89	96,40
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>10/</sup>	1	12	3,60x10 <sup>-1</sup>	2,50x10 <sup>1</sup>	ND	7,21	61,55	0,42	80,21
	2	11	3,20x10 <sup>-1</sup>	5,00	ND	1,62	65,66	0,46	82,33
Esporos anaeróbios <sup>10/</sup>	1	12	ND <sup>(13)</sup>	ND	ND	-	100	-	100
	2	11	5,00x10 <sup>-1</sup>	5,00x10 <sup>-1</sup>	ND	2,00x10 <sup>-1</sup>	97,04	1,53	99,36
<i>Clostridium perfringens</i> <sup>10/</sup>	1	12	ND	ND	ND	-	100	-	100
	2	11	ND	ND	ND	-	100	-	100
<i>Cryptosporidium</i> spp. <sup>11/</sup>	1	8	ND	ND	ND	-	100	-	100
	2	7	ND	ND	ND	-	100	-	100
<i>Giardia</i> spp. <sup>12/</sup>	1	8	1,00	1,00	ND	3,50x10 <sup>-1</sup>	75,00	0,60	75,00
	2	7	ND	ND	ND	-	100	-	100

<sup>1/</sup> número de amostras; <sup>2/</sup> médias geométricas para os parâmetros bacteriológicos e médias aritméticas para os parâmetros físico-químicos e protozoários; <sup>3/</sup> valores médios; <sup>4/</sup> em relação a água bruta; <sup>5/</sup> uT; <sup>6/</sup> uC; <sup>7/</sup> mg/L; <sup>8/</sup> NMP/100 mL; <sup>9/</sup> UFC/mL; <sup>10/</sup> UFC/100 mL; <sup>11/</sup> oocistos/L; <sup>12/</sup> cistos/L; e <sup>13/</sup> não-detectado.

Na amostra em que foi encontrado cisto de *Giardia* spp., a remoção calculada é de 75,0%, neste caso a etapa de filtração mostrou-se essencial para remoção de protozoários.

Os resultados encontram respaldo na literatura, indicando a etapa de filtração com elevado potencial de remoção de protozoários (até 99,9 %) (REGLI *et al.*, 1999; LADEIA, 2004; WHO, 2004).

Esporos anaeróbios foram detectados apenas em amostras do filtro 2 (16,7% de resultados positivos), não sendo detectados no efluente do filtro 1. Isso corresponderia à remoção completa no filtro 1 e a uma eficiência média de remoção 97,04% no filtro 2 (remoção de 99,36 % na decantação+filtração).

*Clostridium perfringens*, não foram encontrados após a etapa de filtração, ou seja, a remoção completa.

A remoção média de esporos aeróbios por meio da filtração foi 84,27% e 87,26% nos filtros 1 e 2, respectivamente, e 61,55% e 65,66% nos filtros 1 e 2 para *Bacillus subtilis*.

Em relação às bactérias do grupo coliforme a remoção alcançada na filtração foi a seguinte: coliformes totais – 87,48% (filtro 1) e 88,40% (filtro 2), coliformes termotolerantes -80,26% (filtro 1) e 81,62% (filtro 2), *Escherichia coli* -77,73% (filtro 1) e 77,35% (filtro 2).

A Tabela 4 mostra os valores da avaliação feita quanto à correlação entre os valores encontrados para as duas unidades filtrantes.

Através dos valores encontrados, é possível observar que os filtros não diferem entre quanto à maioria dos resultados encontrados, onde os valores de p estiveram abaixo de 0,005. Entretanto, o mesmo não ocorreu para *Bacillus subtilis*, turbidez e sólidos em suspensão ( $p > 0,005$ ).

#### **5.1.4. Desinfecção**

O tanque de contato da ETA-UFV tem capacidade para 35,7m<sup>3</sup> com temperatura e pH em constante monitoramento. O tempo de contato aproximado nesta unidade é de 12 minutos. Os efluentes dos filtros 1 e 2 são reunidos na entrada do tanque de contato.

Durante o período de estudo, a turbidez na entrada do tanque de contato jamais ultrapassou o valor estipulado na Portaria nº 518/2004, para a turbidez da

Tabela 4 – Análise de correlação entre filtro 1 e 2 a partir dos resultados do monitoramento, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006

Pontos de Coleta	N <sup>1/</sup> (Pares)	Coefficiente de Spearman (r <sub>s</sub> )	Valor de p
<i>Cryptosporidium</i> spp. <sup>2/</sup>	11	----	----
<i>Giardia</i> spp. <sup>3/</sup>	11	----	----
Bactérias heterotróficas <sup>4/</sup>	11	0.925	0.000
Coliformes totais <sup>5/</sup>	11	0.583	0.060
Coliformes termotolerantes <sup>5/</sup>	11	0.781	0.005
<i>Escherichia coli</i> <sup>5/</sup>	11	0.847	0.001
Esporos anaeróbios <sup>6/</sup>	11	----	----
<i>Clostridium perfringens</i> <sup>6/</sup>	11	----	----
Esporos aeróbios <sup>6/</sup>	11	0.909	0.000
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>6/</sup>	11	0.593	0.054
Turbidez <sup>7/</sup>	11	0.501	0.116
Cor aparente <sup>8/</sup>	11	0.706	0.015
Sólidos em suspensão <sup>9/</sup>	11	0.466	0.149

<sup>1/</sup> número de amostras; <sup>2/</sup> oocistos/L; <sup>3/</sup> cistos/L; <sup>4/</sup> UFC/mL; <sup>5/</sup> NMP/100 mL; <sup>6/</sup> UFC/100 mL; <sup>7/</sup> uT; e <sup>8/</sup> uC; (9) mg/L.

água pré-desinfecção (1 uT). A cor aparente da água na entrada do tanque de contato apresentou valores entre não detectáveis e 11,9 uC (Tabela 4).

A temperatura no tanque de contato esteve entre 26,7°C e 17,6 °C e o pH entre 6,6 e 7,3, atendendo ao valor recomendado pela legislação, a fim de garantir eficiente remoção/inativação de organismos (pH < 8).

O cloro residual livre na saída do tanque de contato manteve-se entre 0,8 e 1,3 mg/L, sempre acima do valor recomendado pela Portaria MS nº 518/2004 (0,5 mg/L). Isso corresponderia a valores de CT entre 9,6 e 15,6 mg.min/L, por vezes abaixo do recomendado pela Portaria MS nº 518/2004 (15 mg.min/L), mas, de acordo com dados de literatura, suficiente para a inativação de bactérias e vírus (99,99%) (USEPA, 1991).

Com base nas equações 1 e 2 (item 2.2), estes valores de CT corresponderiam a 11,25 – 37,7 log<sub>10</sub> e 0,4 – 1,6 log<sub>10</sub> de remoção de vírus e cistos *Giardia*, respectivamente. Se computados adicionalmente 2,5 log<sub>10</sub> de remoção de cistos de *Giardia* em 88,7% e 81,5% das amostras de água filtrada dos filtros 1 e 2 com turbidez inferior a 0,5 uT (item 5.1.3), a remoção total de cistos seria de 2,9 –

4,1 log<sub>10</sub>. Os dados de monitoramento não indicaram a presença de (oo)cistos de protozoários, após a etapa de desinfecção.

As bactérias do grupo coliforme, esporos anaeróbios e *Clostridium perfringens* não foram detectados, após a desinfecção, podendo-se assumir que tenha ocorrido a inativação completa destes organismos.

Por sua vez, esporos aeróbios foram encontrados em 100% das amostras pesquisadas com valores entre 2,80 x 10<sup>1</sup> e 2,50 x 10<sup>-1</sup> UFC/100 mL. *Bacillus subtilis* também foram detectados, porém, em menor frequência e concentração: presentes em 8,3% das amostras pesquisadas, com valor máximo igual a 5,00 x 10<sup>-1</sup> UFC/100 mL.

Com base nestes valores, poder-se-ia computar uma remoção média de, respectivamente, 95,7% e, 89,5% (Tabela 5). Esta remoção pode ser observada na figura 23, já comentada anteriormente.

Bactérias heterotróficas também foram detectadas na água clorada, mas em contagens baixas e, após 99% de inativação e 99,85% de remoção e inativação (cerca de 3 log<sub>10</sub>), considerando o processo de tratamento como um todo.

#### **5.1.5. Reservação**

Em resumo, não se observa deterioração da qualidade da água no reservatório na saída da ETA/entrada da rede de distribuição (Tabela 6).

Todas as bactérias do grupo coliformes, esporos anaeróbios, *Clostridium perfringens* e os (oo)cistos de protozoários não foram detectados, assim como já não o tinham sido após a desinfecção.

Bactérias heterotróficas, esporos aeróbios e *Bacillus subtilis* foram ainda detectados no reservatório de distribuição, respectivamente em 100, 100 e 8,3 % das amostras analisadas. Embora tal fato indique a presença de contaminantes, as concentrações encontradas foram baixas. Deve-se considerar, ainda, a inativação adicional no reservatório como resultado de tempo extra de contato. As contagens de bactérias heterotróficas mantiveram-se sempre abaixo do valor máximo estabelecido na Portaria MS nº 518/2004 (500 UFC/mL).

Tabela 5 – Caracterização da água no processo de desinfecção e desempenho do processo, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006

Parâmetro <sup>1/</sup>	N <sup>2/</sup>	Média <sup>3/</sup>	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio-Padrão	Remoção (%) <sup>4/</sup>	Log. Remoção <sup>4/</sup>	Remoção Acumulada (%) <sup>4,5/</sup>
Turbidez <sup>6/</sup>	12	0,5	0,9	0,3	0,19	-	-	-
Cor aparente <sup>7/</sup>	12	3,6	11,9	<1,0	3,71	-	-	-
Sólidos em suspensão <sup>8/</sup>	9	6,1	15,0	0,0	5,65	-	-	-
pH	735	7,0	7,3	6,6	0,14	-	-	-
Alcalinidade <sup>8/</sup>	735	25,8	35,3	19,1	2,87	-	-	-
Temperatura <sup>9/</sup>	735	22,7	26,7	17,6	2,35	-	-	-
Cloro residual livre <sup>10/</sup>	735	1,0	1,3	0,8	0,12	-	-	-
Cloro residual total <sup>10/</sup>	735	1,1	2,6	0,8	0,21	-	-	-
Coliformes totais <sup>11/</sup>	12	ND <sup>(16)</sup>	ND	ND	-	100	-	100
Coliformes termotolerantes <sup>11/</sup>	12	ND	ND	ND	-	100	-	100
<i>Escherichia coli</i> <sup>11/</sup>	12	ND	ND	ND	-	100	-	100
Bactérias heterotróficas <sup>12/</sup>	12	2,25x10 <sup>0</sup>	4,00	0,5x10 <sup>0</sup>	1,15	99,06	2,03	99,85
Esporos aeróbios <sup>13/</sup>	12	1,43x10 <sup>1</sup>	8,40x10 <sup>1</sup>	1,00x10 <sup>0</sup>	2,79x10 <sup>2</sup>	95,68	1,36	99,83
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>13/</sup>	12	3,00x10 <sup>-1</sup>	5,00x10 <sup>-1</sup>	ND	1,40x10 <sup>-1</sup>	89,83	0,99	98,10
Esporos anaeróbios <sup>13/</sup>	12	ND	ND	ND	-	100	-	100
<i>Clostridium perfringens</i> <sup>13/</sup>	12	ND	ND	ND	-	100	-	100
<i>Cryptosporidium</i> spp. <sup>14/</sup>	8	ND	ND	ND	-	100	-	100
<i>Giardia</i> spp. <sup>15/</sup>	8	ND	ND	ND	-	100	-	100

<sup>1/</sup> Amostra coletada na saída do tanque de contato; <sup>2/</sup> número de amostras; <sup>3/</sup> médias geométricas para os parâmetros bacteriológicos e médias aritméticas para os parâmetros físico-químicos e protozoários; <sup>4/</sup> valores médios; <sup>5/</sup> em relação a água bruta; <sup>6/</sup> uT; <sup>7/</sup> uC; <sup>8/</sup> mg/L; <sup>9/</sup> °C; <sup>10/</sup> mg/L; <sup>11/</sup> NMP/100 mL; <sup>12/</sup> UFC/mL; <sup>13/</sup> UFC/100 mL; <sup>14/</sup> oocistos/L; <sup>15/</sup> cistos/L; <sup>16/</sup> não-detectado.

Tabela 6 – Caracterização da água no reservatório de distribuição de água tratada, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006

Parâmetro <sup>1/</sup>	N <sup>2/</sup>	Média <sup>3/</sup>	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio-Padrão	Remoção (%) <sup>4/</sup>	Log. Remoção <sup>4/</sup>	Remoção Acumulada (%) <sup>4,5/</sup>
Turbidez <sup>6/</sup>	735	0,40	1,31	0,13	0,18	-	-	-
Cor aparente <sup>7/</sup>	735	2,68	13,63	<1,00	1,58	-	-	-
Sólidos em suspensão <sup>8/</sup>	8	4,28	19,00	0,00	6,42	-	-	-
Cloro residual livre <sup>9/</sup>	735	0,94	1,49	0,64	0,15	-	-	-
Cloro residual total <sup>9/</sup>		0,95	1,49	0,67	0,15	-	-	-
Coliformes totais <sup>10/</sup>	79	ND <sup>(15)</sup>	ND	ND	-	100	-	100
Coliformes termotolerantes <sup>10/</sup>	79	ND	ND	ND	-	100	-	100
<i>Escherichia coli</i> <sup>10/</sup>	79	ND	ND	ND	-	100	-	100
Bactérias heterotróficas <sup>11/</sup>	12	1,00x10 <sup>-1</sup>	2,00	ND	5,80x10 <sup>-1</sup>	47,56	0,28	99,92
Esporos aeróbios <sup>12/</sup>	12	3,09	2,80x10 <sup>1</sup>	2,50x10 <sup>-1</sup>	8,56	78,35	0,66	99,96
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>12/</sup>	12	3,00x10 <sup>-1</sup>	5,00x10 <sup>-1</sup>	ND	1,40x10 <sup>-1</sup>	80,54	0,00	98,10
Esporos anaeróbios <sup>12/</sup>	12	ND	ND	ND	-	100	-	100
<i>Clostridium perfringens</i> <sup>12/</sup>	12	ND	ND	ND	-	-	-	100
<i>Cryptosporidium</i> spp. <sup>13/</sup>	8	ND	ND	ND	-	-	-	100
<i>Giardia</i> spp. <sup>14/</sup>	8	ND	ND	ND	-	100	-	100

<sup>1/</sup> Amostra coletada na saída do reservatório, entrada do sistema de distribuição; <sup>2/</sup> número de amostras; <sup>3/</sup> médias geométricas para os parâmetros bacteriológicos e médias aritméticas para os parâmetros físico-químicos e protozoários; <sup>4/</sup> valores médios; <sup>5/</sup> em relação a água bruta; <sup>6/</sup> uT; <sup>7/</sup> uC; <sup>8/</sup> mg/L; <sup>9/</sup> mg/L; <sup>10/</sup> NMP/100 mL; <sup>11/</sup> UFC/mL; <sup>12/</sup> UFC/100 mL; <sup>13/</sup> oocistos/L; <sup>14/</sup> cistos/L; e <sup>15/</sup> não-detectado.

### 5.1.6. Rede de distribuição

No período analisado, coliformes totais foram detectados apenas em um evento de amostragem (no ponto de coleta do laboratório de papel e celulose, em 28 de junho de 2005) (Tabela 7), não sendo confirmados como *E. coli*, o que permite classificar a água distribuída como potável. A Portaria MS nº 518/2004 admite a ocorrência de um resultado positivo para coliformes totais em 100 mL em sistemas que analisam menos de 40 amostras mensais.

Tabela 7 – Caracterização da água distribuída em função da presença de bactérias do grupo coliforme, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006

Pontos de Coleta	N <sup>1/</sup>	Amostras Positivas (%)	Amostras Negativas (%)
Saída do reservatório da ETA	93	0	100
Rede de distribuição:			
Departamento de Veterinária	93	0	100
Vila Sete Casas	93	0	100
Vila Gianetti	93	0	100
Papel e Celulose	93	1,08	98,92
Refeitório	93	0	100
Creche	93	0	100
Serviço Médico	93	0	100
Alojamento	93	0	100
<b>Total</b>	<b>837</b>	<b>-</b>	<b>99,88</b>

<sup>1/</sup> número de amostras.

A contagem de bactérias heterotróficas (Tabela 8) manteve-se, em grande parte do período analisado, abaixo de 500 UFC/mL (limite estabelecido pela Portaria MS nº 518/2004). Apenas em duas amostras do ponto de coleta do refeitório da Universidade (em 20 e 24 de setembro de 2006) esse valor foi ultrapassado, com o crescimento excessivo de colônias nas placas, inclusive prejudicando a contagem (TMTTC<sup>14</sup>).

<sup>14</sup> Da sigla inglesa *too many to count*.

Tabela 8 – Caracterização da água distribuída em função da contagem de bactérias heterotróficas, SAA-UFV setembro de 2004 a setembro de 2006

Pontos de Coleta	N <sup>1/</sup>	Amostras Positivas (%)	Amostras Negativas (%)	Valor Máximo <sup>2/</sup>	Valor Mínimo <sup>2/</sup>
Saída do reservatório da ETA	79	25,32	74,68	1,75x10 <sup>2</sup>	ND <sup>(3)</sup>
Rede de distribuição:					
Departamento de Veterinária	71	9,86	90,14	1,20x10 <sup>1</sup>	ND
Vila Sete Casas	72	20,83	79,17	2,32x10 <sup>2</sup>	ND
Vila Gianetti	72	23,61	76,39	2,33x10 <sup>2</sup>	ND
Papel e Celulose	71	26,76	73,24	3,50x10 <sup>2</sup>	ND
Refeitório	72	25,00	75,00	TMTC	ND
Creche	72	26,39	73,61	1,10x10 <sup>1</sup>	ND
Serviço Médico	71	19,72	80,28	1,20x10 <sup>1</sup>	ND
Alojamento	71	16,90	83,10	1,11x10 <sup>2</sup>	ND
<b>Total</b>	<b>651</b>	<b>21,66</b>	<b>78,34</b>	<b>TMTC</b>	<b>ND</b>

<sup>1/</sup> número de amostras; <sup>2/</sup> UFC/mL; e <sup>3/</sup> ND: não-detectado

Após a verificação de ocorrência de esporos aeróbios e *Bacillus subtilis* na água clorada e no reservatório de distribuição, os pontos de monitoramento na rede de distribuição passaram a ser analisados, mensalmente, quanto à presença destes organismos. As análises foram realizadas entre junho e setembro de 2006.

Os esporos foram encontrados em 25% das amostras pesquisadas, com valores entre 0 e 48 UFC/100 mL. Os pontos de coleta com maior ocorrência desses organismos foram “Veterinária” e “Serviço Médico”, com valores máximos de 48 e 29 UFC/100 mL, respectivamente (Tabela 9). Na pesquisa de *Bacillus subtilis*, nenhum resultado positivo foi encontrado (Tabela 10).

As Figuras 24 e 25 apresentam a estatística descritiva dos dados de turbidez e cloro residual, nos pontos de coleta de amostras, durante o período deste estudo (dados secundários). Observam-se que, embora, na maioria das amostras, a turbidez tenha ultrapassado o valor máximo permitido (5uT), em alguns momentos houveram picos de valores elevados. Nestes casos sugere-se a descarga de rede, descarte da água. Ainda, houve dificuldades na manutenção do teor mínimo de cloro residual estabelecido pela Portaria MS nº 518/2004 (0,2 mg/L), nas pontas de rede “Papel e Celulose” e “Vila Gianetti”, provavelmente, devido à estagnação da água na rede.

Tabela 9 – Caracterização da água distribuída em função da presença de esporos aeróbios, SAA-UFV, junho a setembro de 2006

Pontos de Coleta	N <sup>1/</sup>	Amostras Positivas (%)	Amostras Negativas (%)	Média <sup>2/</sup>	Valor Máximo <sup>2/</sup>	Valor Mínimo <sup>2/</sup>
Dept <sup>o</sup> de Veterinária	4	25	75	2,65	48	ND <sup>(3)</sup>
Vila Sete Casas	4	25	75	0,26	1	ND
Vila Gianetti	4	25	75	0,25	1	ND
Papel e Celulose	4	0	100	0	ND	ND
Refeitório	4	50	50	0,44	1	ND
Creche	4	0	100	0	ND	ND
Serviço Médico	4	50	50	2,91	29	ND
Alojamento	4	25	75	0,26	1	ND
Total	32	25	75	-	48	ND

<sup>1/</sup> número de amostras; <sup>2/</sup> UFC/100 mL; e <sup>3/</sup> ND: não-detectado.

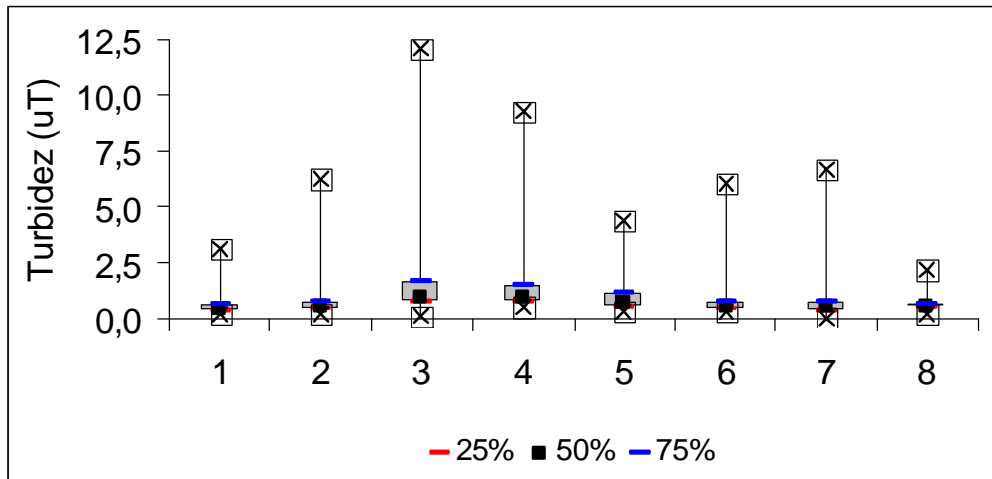
Tabela 10 – Caracterização da água distribuída em função da presença de *Bacillus subtilis*, SAA-UFV, junho a setembro de 2006

Pontos de Coleta	N <sup>1/</sup>	Amostras Positivas (%)	Amostras Negativas (%)	Média <sup>2/</sup>	Valor Máximo <sup>2/</sup>	Valor Mínimo <sup>2/</sup>
Dept <sup>o</sup> de Veterinária	4	0	100	0	ND	ND <sup>(3)</sup>
Vila Sete Casas	4	0	100	0	ND	ND
Vila Gianetti	4	0	100	0	ND	ND
Papel e Celulose	4	0	100	0	ND	ND
Refeitório	4	0	100	0	ND	ND
Creche	4	0	100	0	ND	ND
Serviço Cediço	4	0	100	0	ND	ND
Alojamento	4	0	100	0	ND	ND
Total	32	0	100	0	ND	ND

<sup>1/</sup> número de amostras; (2) UFC/100 mL; (3) ND: não-detectado

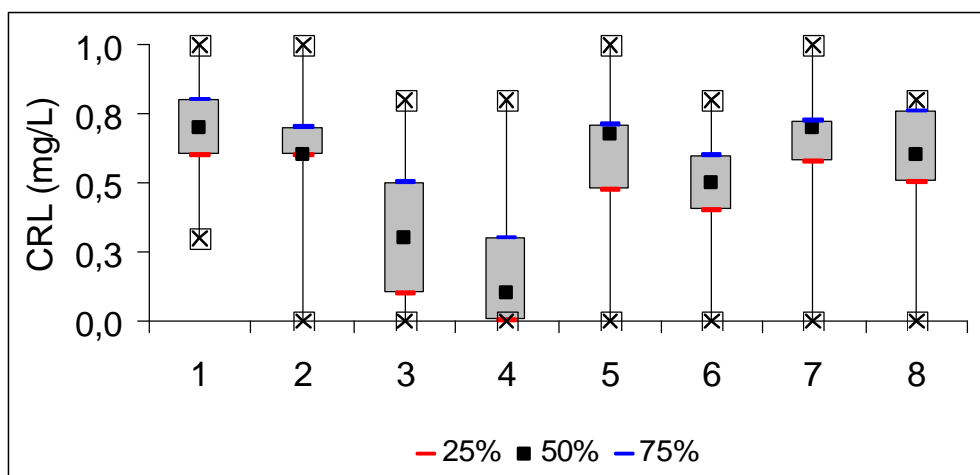
### 5.1.7. Avaliação do processo como um todo

Apenas para efeito de síntese e análise integrada do processo de tratamento de água, incluem-se a seguir alguns dos resultados já apresentados (essencialmente, os dados secundários), de forma seqüencial (Figuras 26 a 30). O que se pretende é uma visualização do decaimento de alguns parâmetros ao longo dos processos unitários.



1 – Veterinária; 2 – Vila sete casas; 3 – Vila Gianetti; 4 – Papel e celulose; 5 – Refeitório; 6 – Creche; 7 – Serviço médico; 8 – Alojamento.

Figura 24 – Estatística descritiva dos dados de turbidez da água distribuída, SAA/UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.



1 – Veterinária; 2 – Vila sete casas; 3 – Vila Gianetti; 4 – Papel e celulose; 5 – Refeitório; 6 – Creche; 7 – Serviço médico; 8 – Alojamento.

Figura 25 – Estatística descritiva dos dados de CRL da água distribuída, SAA/UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.

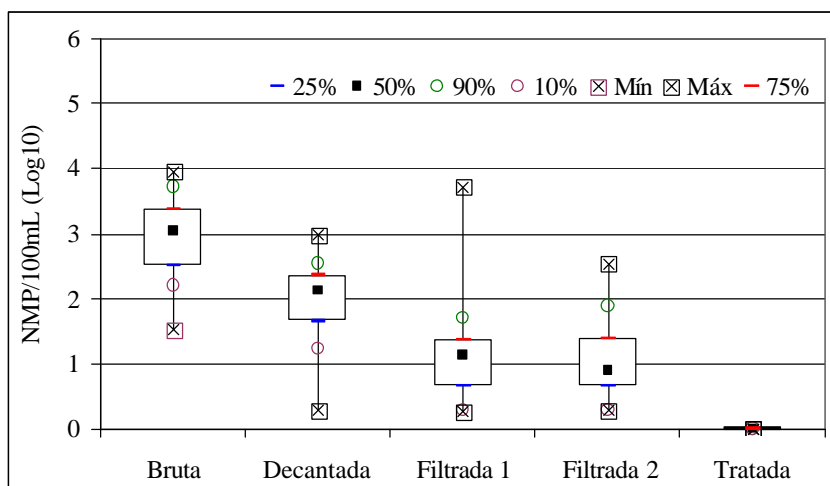


Figura 26 – Remoção de coliformes totais, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.

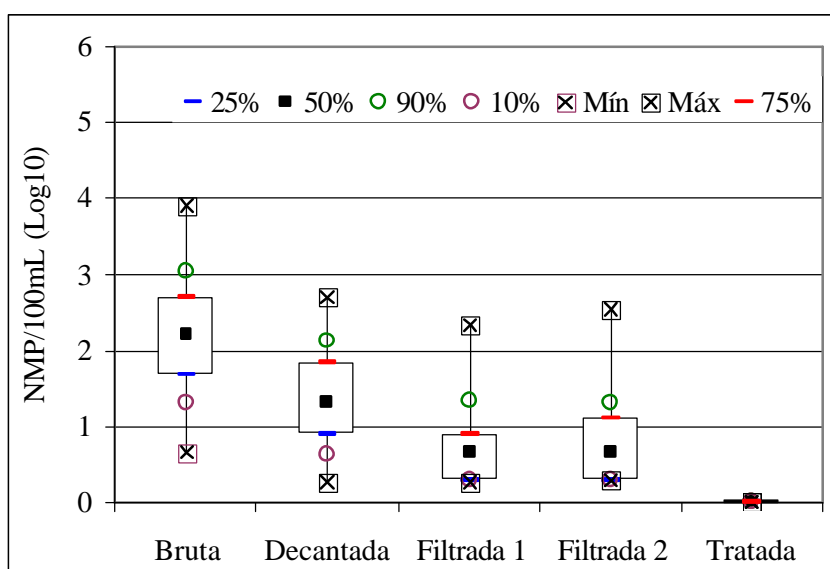


Figura 27 – Remoção de coliformes termotolerantes, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.

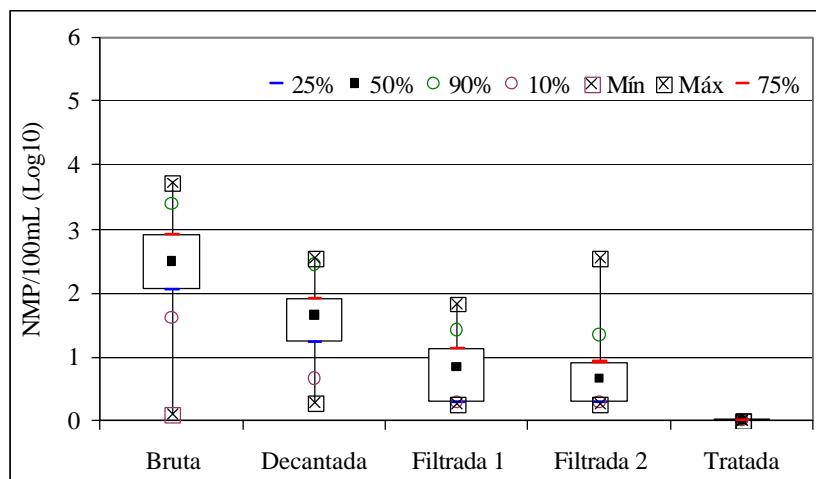


Figura 28 – Remoção de *Escherichia coli*, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.

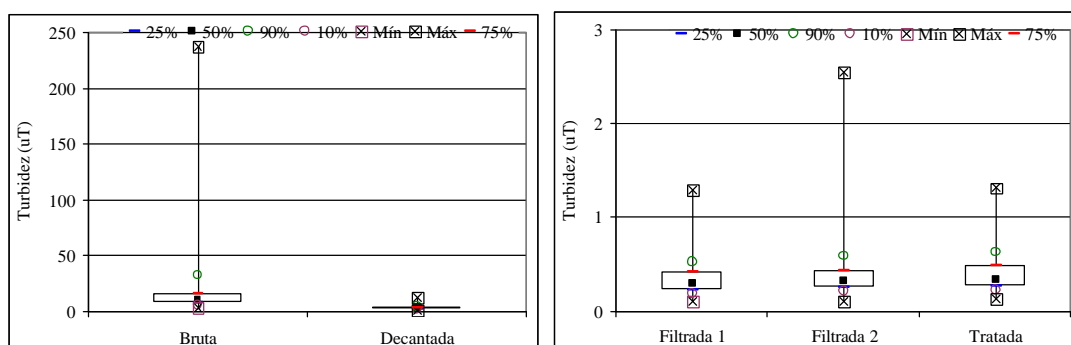


Figura 29 – Remoção de turbidez, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.

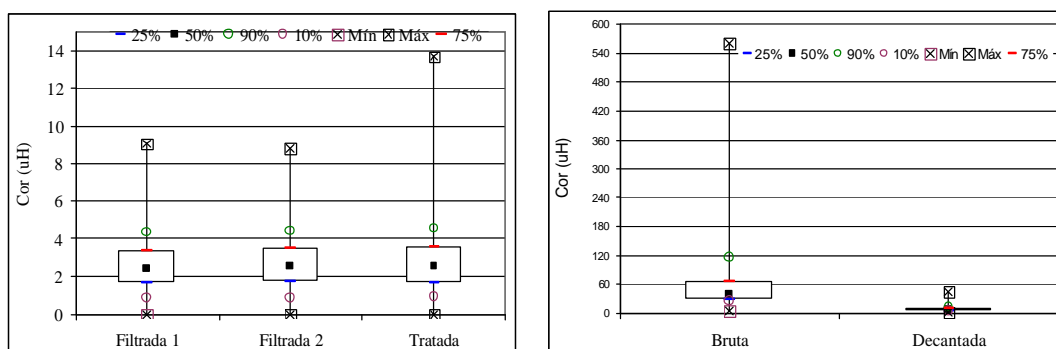


Figura 30 – Remoção de cor aparente, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006.

Em que pese a natural variabilidade dos dados de contagens bacterianas, em geral, observa-se um decaimento consistente de bactérias do grupo coliforme, ao longo dos processos unitários de tratamento. A julgar pelos valores das medianas poder-se-ia computar algo em torno de 1 unidade logarítmica em cada processo, chegando à remoção total (inativação) com a desinfecção.

Salvos alguns picos isolados, a remoção de turbidez e cor aparente é bastante consistente ao longo dos processos unitários e, esses revelam boa estabilidade. Além disso, como já destacado, não se verifica deterioração da qualidade da água no reservatório de distribuição.

#### **5.1.8. Lavagem dos filtros**

A limpeza dos filtros é realizada por retrolavagem a partir de um reservatório elevado com capacidade de 10<sup>5</sup>L abastecido com água tratada. A água proveniente deste processo não é reutilizada, sendo os resíduos lançados no corpo receptor – o próprio Ribeirão São Bartolomeu.

A Tabela 11 apresenta a caracterização microbiológica da água de lavagem dos filtros (ALF). Na análise de protozoários, a água de lavagem do filtro 1 (ALF1) apresentou resultado positivo em 50% das amostras, para *Cryptosporidium* spp., com média de 58,24 oocistos/10 L e 62,5% para *Giardia* spp. com média de 77,6 cistos/10 L. Na ALF2, 28,6% das amostras foram positivas para *Cryptosporidium* spp., com média de 248,5 cistos/10 L e 42,9% para *Giardia* spp. com média de 34,23 cistos/10 L.

Na ALF1, como esperado, 100% das amostras foram positivas na contagem de bactérias heterotróficas, com média de 64,3 UFC/mL. Em relação às bactérias do grupo coliforme, 81,8% das amostras revelaram presença de coliformes totais com média de 79 NMP/100 mL, 54,5% para coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, com média de 2,38 NMP/100 mL. Esporos aeróbios estiveram presentes em 100% das amostras, com média de 1,26 x 10<sup>4</sup> UFC/100 mL, *Bacillus subtilis* em 27,3%, com média de 2,11 UFC/100 mL. Esporos anaeróbios apresentaram-se em 90,9% das amostras (média de 49,8 UFC/100 mL) e *Clostridium perfringens* em 90,9% (média de 23,7 UFC/100 mL).

Na ALF2, 100% dos resultados também foram positivos na contagem de bactérias heterotróficas, com média de 6,41 UFC/mL, 50% para coliformes totais

Tabela 11 – Caracterização microbiológica da água de lavagem de filtros, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006

Parâmetro	Filtro	N <sup>1/</sup>	Amostras Positivas (%)	Amostras Negativas (%)	Média <sup>2/</sup>	Valor Máximo	Valor Mínimo	Desvio-Padrão
Coliformes totais <sup>3/</sup>	1	11	81,82	18,18	7,66	7,90x10 <sup>1</sup>	ND <sup>(8)</sup>	2,30x10 <sup>1</sup>
	2	10	100,0	0,0	8,06	4,50x10 <sup>1</sup>	2,00	1,35x10 <sup>1</sup>
Coliformes termotolerantes <sup>3/</sup>	1	11	54,55	45,45	2,38	3,30x10 <sup>1</sup>	ND	1,09x10 <sup>1</sup>
	2	10	50,0	50,0	1,64	4,50x10 <sup>1</sup>	ND	1,41x10 <sup>1</sup>
<i>Escherichia coli</i> <sup>2/</sup>	1	11	54,55	45,45	2,38	3,30x10 <sup>1</sup>	ND	1,09x10 <sup>1</sup>
	2	10	40,0	60,0	1,08	200x10 <sup>1</sup>	ND	6,40
Bactérias heterotróficas <sup>4/</sup>	1	11	100,0	0,0	6,43x10 <sup>1</sup>	3,64x10 <sup>2</sup>	1,65x10 <sup>1</sup>	1,05x10 <sup>2</sup>
	2	10	100,0	0,0	6,41x10 <sup>1</sup>	4,12x10 <sup>2</sup>	1,80x10 <sup>1</sup>	1,17x10 <sup>2</sup>
Esporos aeróbios <sup>5/</sup>	1	11	100,0	0,0	1,26x10 <sup>4</sup>	8,45x10 <sup>4</sup>	6,36x10 <sup>3</sup>	2,31x10 <sup>4</sup>
	2	10	100,0	0,0	1,27x10 <sup>4</sup>	4,84x10 <sup>4</sup>	6,53x10 <sup>3</sup>	1,32x10 <sup>4</sup>
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>5/</sup>	1	11	27,27	72,73	2,11	1,00x10 <sup>2</sup>	ND	4,00x10 <sup>1</sup>
	2	10	0,0	100,0	ND	ND	ND	-
Esporos anaeróbios <sup>5/</sup>	1	11	90,91	9,09	4,98x10 <sup>1</sup>	1,18x10 <sup>2</sup>	ND	3,69x10 <sup>1</sup>
	2	10	100,0	0,0	4,97x10 <sup>1</sup>	1,99x10 <sup>2</sup>	1,90x10 <sup>1</sup>	5,15x10 <sup>1</sup>
<i>Clostridium perfringens</i> <sup>(5)</sup>	1	11	90,91	9,09	2,37x10 <sup>1</sup>	1,00x10 <sup>2</sup>	ND	3,71x10 <sup>1</sup>
	2	10	100,0	0,0	2,02x10 <sup>1</sup>	5,38x10 <sup>1</sup>	6,00	1,73x10 <sup>1</sup>
<i>Cryptosporidium</i> spp. <sup>6/</sup>	1	8	50,0	50,0	5,82x10 <sup>1</sup>	1,15x10 <sup>2</sup>	ND	4,42x10 <sup>1</sup>
	2	7	28,57	71,43	2,49x10 <sup>2</sup>	4,67x10 <sup>2</sup>	ND	1,75x10 <sup>2</sup>
<i>Giardia</i> spp. <sup>7/</sup>	1	8	62,50	37,50	7,76x10 <sup>1</sup>	1,61x10 <sup>2</sup>	ND	6,60x10 <sup>1</sup>
	2	7	42,86	57,14	3,42x10 <sup>1</sup>	4,67x10 <sup>1</sup>	ND	2,05x10 <sup>1</sup>

<sup>1/</sup> número de amostras; <sup>2/</sup> médias geométricas para dados bacteriológicos e aritmética para protozoários; <sup>3/</sup> NMP/100 mL; <sup>4/</sup> UFC/mL; <sup>5/</sup> UFC/100 mL; <sup>6/</sup> oocistos/L; <sup>7/</sup> cistos/L; e <sup>8/</sup> Não-detectado.

com média de 8,06 NMP/100 mL, 50% para coliformes termotolerantes com média de 1,64 NMP/100 mL, 40% para *Escherichia coli* com média de 1,08 NMP/100 mL, 100% para esporos aeróbios com média de  $1,76 \times 10^4$  UFC/100 mL, nenhum resultado positivo para *Bacillus subtilis*, 100% para esporos anaeróbios com média de 4,97 UFC/100 mL e 100% para *Clostridium perfringens* com média de 2,02 UFC/100 mL.

As contagens médias de bactérias heterotróficas e de coliformes apresentaram resultados inferiores àqueles encontrados na água bruta. Na água bruta, as bactérias heterotróficas apresentam valores na ordem de  $10^2$  UFC/100 mL e os coliformes na ordem de  $10^2 - 10^3$  NMP/100 mL (Tabela 11), enquanto na ALF, as bactérias heterotróficas apresentam-se na ordem de  $10^1$  UFC/100 mL e os coliformes,  $10^0$  NMP/100 mL. Este fato poderia ser explicado pela utilização de água clorada na lavagem dos filtros. Para os demais parâmetros, em geral, organismos mais resistentes à cloração, tal variação não foi observada.

Durante o processo de lavagem dos filtros foi encontrado cloro residual livre entre 0,2 e 0,7 mg/L na ALF1 e, 0,3 e 1,1 mg/L na ALF2 (Figura 31). A temperatura se manteve entre 10 °C e 24,5 °C e 19 °C a 25,5 °C, o pH entre 6,9 - 8,05 e 6,5 - 7,8 na ALF1 e ALF2 respectivamente (Tabela 12). Embora o processo de lavagem ocorra em aproximadamente 7 minutos, os resultados parecem indicar uma redução da carga de organismos mais sensíveis ao tratamento devido à ação do cloro. Na Figura 31, observa-se um incremento dos residuais de cloro ao longo do processo de lavagem, ou seja, decresce a demanda de cloro, incluindo a ação desinfetante.

Quanto aos parâmetros físico-químicos (Tabela 12), os valores encontrados para os dois filtros não diferiram muito, sendo a turbidez média igual a 36,6 e 35,2 uT; cor aparente igual a 117,7 e 101,4 uC e sólidos em suspensão igual a 54,4 e 42,5 mg/L na ALF1 e ALF2, respectivamente.

Na Tabela 13 são considerados os aumentos de carga caso houvesse a recirculação da água de lavagem de filtro. O cenário imaginado consiste em um processo de recirculação contínua com razão  $Q_{ALF} : Q_{ETA}$  em torno de 5%, sem uso de qualquer agente clarificador.

É possível verificar que a recirculação da água de lavagem do filtro 1 ocasionaria aumento de carga para quase todos os parâmetros analisados, exceto para as bactérias do grupo coliforme (totais, termotolerantes e *E. coli*) e esporos anaeróbios. Já a recirculação do efluente da lavagem do filtro 2, causaria menos

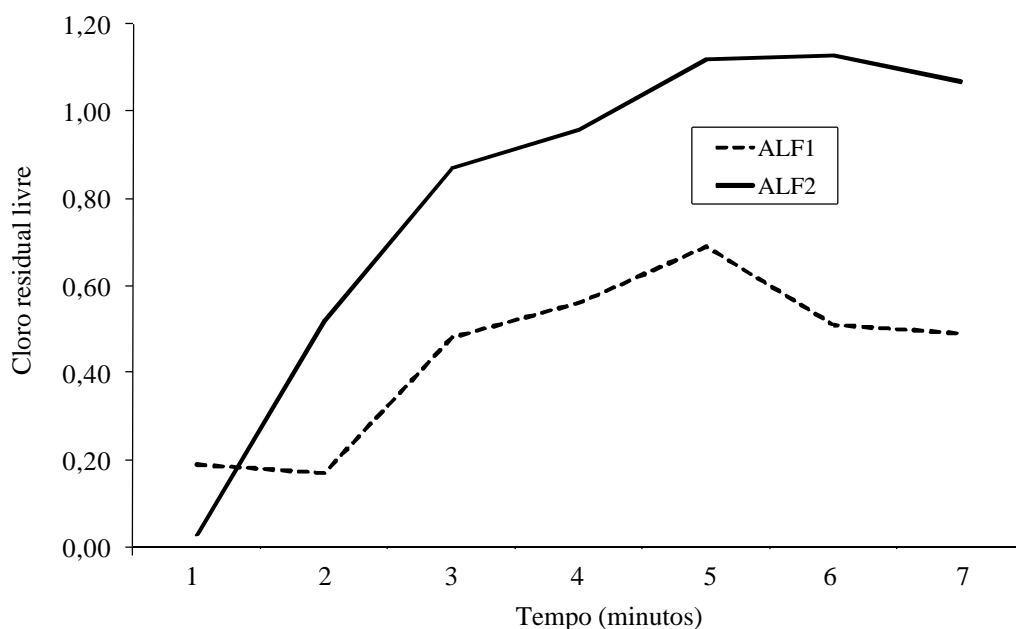


Figura 31 – Variação do cloro residual livre na água de lavagem dos filtros ao longo do processo de lavagem, SAA-UFV, dados da coleta realizada em julho de 2006.

Tabela 12 – Caracterização físico-química da água de lavagem de filtros, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006

Parâmetro	Filtro	N <sup>1/</sup>	Média <sup>2/</sup>	Desvio-Padrão
Turbidez <sup>3/</sup>	1	11	36,6	22,49
	2	10	35,2	21,09
Cor aparente <sup>4/</sup>	1	11	117,7	56,54
	2	9	101,4	62,72
Sólidos em suspensão <sup>5/</sup>	1	8	54,4	42,04
	2	6	42,5	28,32
pH	1	11	7,5	0,36
	2	9	7,3	0,37
Temperatura <sup>6/</sup>	1	3	17,8	7,32
	2	3	22,8	3,40

<sup>1/</sup> número de amostras; <sup>2/</sup> médias aritméticas; <sup>3/</sup> uT; <sup>4/</sup> uC; <sup>5/</sup> mg/L; <sup>6/</sup> °C.

Tabela 13 – Variação percentual da carga microbiana e de parâmetros físicos e químicos, cenário de recirculação contínua da água de lavagem do filtro, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006

Parâmetro	Recirculação Contínua <sup>1/</sup>	
	ALF1	ALF2
Turbidez <sup>2/</sup>	13,63	12,90
Cor aparente <sup>3/</sup>	9,16	6,99
Sólidos em suspensão <sup>4/</sup>	25,68	20,08
Coliformes totais <sup>5/</sup>	-9,15	-9,16
Coliformes termotolerantes <sup>5/</sup>	-8,72	-8,93
<i>Escherichia coli</i> <sup>5/</sup>	-8,63	-9,00
Bactérias heterotróficas <sup>6/</sup>	-4,86	-6,78
Esporos aeróbios <sup>7/</sup>	14,34	8,66
<i>Bacillus subtilis</i> <sup>7/</sup>	15,27	8,19
Esporos anaeróbios <sup>7/</sup>	-2,61	-7,80
<i>Clostridium perfringens</i> <sup>7/</sup>	0,13	-9,26
<i>Cryptosporidium</i> spp. <sup>8/</sup>	25,27	63,23
<i>Giardia</i> spp. <sup>9/</sup>	34,23	39,04

<sup>1/</sup> Razão de recirculação: 5% sem clarificação; <sup>2/</sup> uT; <sup>3/</sup> uC; <sup>4/</sup> mg/L; <sup>5/</sup> NMP/100 mL; <sup>6/</sup> UFC/100 mL; <sup>7/</sup> UFC/100 mL; <sup>8/</sup> oocistos/L; e <sup>9/</sup> cistos/L.

impacto, porém, aumentaria a carga de *Cryptosporidium* spp., esporos aeróbios, *Bacillus subtilis* e dos parâmetros físicos e químicos.

## 5.2. Associação da variação dos parâmetros bacteriológicos e físico-químicos monitorados no SAA-UFV com a precipitação pluviométrica

Os dados de pluviosidade foram obtidos nos registros disponibilizados na internet pelo INPE no período de monitoramento. Estes dados disponibilizados no site são coletados em todo o Brasil a partir de Plataformas de Coleta de Dados (PCD) localizados em diversas cidades. Em Viçosa, são coletados dados agrometeorológicos, dentre os quais encontra-se a pluviosidade.

Para avaliar uma possível correlação entre pluviosidade e os parâmetros monitorados no SAA-UFV, primeiramente, foi verificada a normalidade de distribuição dos dados segundo o teste D'Agostino-Pearson. Os resultados para todos os parâmetros e para a pluviosidade apresentaram valores de  $p < 0,000$ ,

demonstrando assim que a distribuição de todos os dados não seguia uma distribuição normal e, portanto, para as análises estatísticas foram utilizados testes não-paramétricos.

Na Tabela 14, encontram-se os resultados do teste de correlação de Spearman para as análises de associação entre precipitação pluviométrica e os parâmetros indicadores da qualidade da água (dados secundários) - houve correlação significativa entre a maioria das associações ( $p < 0,05$ ), apesar dos coeficientes de correlação apresentarem baixos valores, entre 14,06% e 59,67%; apenas não foi encontrada correlação significativa da pluviosidade com os coliformes totais na água bruta e filtro 2 e da pluviosidade com a turbidez e cor aparente na água decantada e filtrada (filtro 1 e 2).

Na análise de correlação dos dados primários (coletados entre outubro de 2005 e setembro de 2006) com a pluviosidade, foram avaliadas as distribuições dos dados obtidos segundo a normalidade de sua distribuição pelo teste de Shapiro-wilk. Os resultados determinaram que os dados não apresentavam distribuição normal, sendo então aplicado o teste de correlação de Spearman.

Foram encontradas correlações significativas apenas com *Cryptosporidium* spp. ( $p = 0,014$ ) na água decantada; com turbidez ( $p < 0,001$ ) e cor aparente ( $p < 0,001$ ) na água bruta; com coliformes termotolerantes ( $p = 0,048$ ) na água filtrada do filtro 2; com *Cryptosporidium* spp. ( $p = 0,022$ ) e *Giardia* spp. ( $p = 0,007$ ) na água de lavagem do filtro 1 (Tabela 15).

Alguns pares estudados apresentaram correlações negativas, ou seja, como o aumento da pluviosidade o parâmetro tenderia a diminuir. Ainda que não tenham sido estatisticamente significativos, esses resultados, provavelmente, são devido ao número pequeno de análises, uma vez que se esperaria um aumento dos valores dos parâmetros pesquisados (microrganismos, turbidez, cor aparentes e sólidos em suspensão) com o aumento da pluviosidade.

Tabela 14 – Correlação entre pluviosidade, bactérias do grupo coliforme, turbidez e cor aparente, SAA-UFV, setembro de 2004 a setembro de 2006

Pontos de Coleta	Correlações Estudadas	N (Pares)	Coefficiente de Spearman ( $r_s$ )	Valor de p
Água Bruta	Pluviosidade x Coliformes totais	89	0,308	0,003
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	89	0,376	<0,000
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	89	0,351	0,001
	Pluviosidade x Turbidez	735	0,597	<0,000
	Pluviosidade x Cor aparente	735	0,514	<0,000
Água Decantada	Pluviosidade x Coliformes totais	89	0,188	0,078
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	89	0,370	<0,000
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	89	0,287	0,006
	Pluviosidade x Turbidez	735	0,343	1,000
	Pluviosidade x Cor aparente	735	0,148	1,000
Água Filtrada 1	Pluviosidade x Coliformes totais	89	0,215	0,043
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	89	0,283	0,007
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	89	0,288	0,006
	Pluviosidade x Turbidez	735	0,152	1,000
	Pluviosidade x Cor aparente	735	0,140	1,000
Água Filtrada 2	Pluviosidade x Coliformes totais	89	0,166	0,121
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	89	0,445	<0,000
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	89	0,390	<0,000
	Pluviosidade x Turbidez	735	0,196	1,000
	Pluviosidade x Cor aparente	735	0,199	1,000

Tabela 15 – Correlação entre pluviosidade e parâmetros monitorados nos diferentes pontos de coleta, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006

Pontos de Coleta	Correlações Estudadas	N (Pares)	Coefficiente de Spearman ( $r_s$ )	Valor de p
Água Bruta	Pluviosidade x <i>Cryptosporidium</i> spp.	8	0,695	0,056
	Pluviosidade x <i>Giardia</i> spp.	8	-0,268	0,521
	Pluviosidade x Heterotróficas	12	0,147	0,649
	Pluviosidade x Coliformes totais	12	0,007	0,983
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	12	0,299	0,345
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	12	0,347	0,269
	Pluviosidade x Esporos aeróbios	12	-0,140	0,665
	Pluviosidade x <i>Bacillus subtilis</i>	12	0,079	0,807
	Pluviosidade x Esporos anaeróbios	12	0,193	0,549
	Pluviosidade x <i>Clostridium perfringens</i>	12	0,268	0,400
	Pluviosidade x Turbidez	12	0,949	<0,001
	Pluviosidade x Cor aparente	12	0,867	<0,001
	Pluviosidade x Sólidos em suspensão	12	-0,099	0,761
Água Decantada	Pluviosidade x <i>Cryptosporidium</i> spp.	8	-0,812	0,014
	Pluviosidade x <i>Giardia</i> spp.	8	-0,187	0,657
	Pluviosidade x Heterotróficas	12	-0,193	0,549
	Pluviosidade x Coliformes totais	12	-0,141	0,663
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	12	0,127	0,693
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	12	0,046	0,886
	Pluviosidade x Esporos aeróbios	12	-0,028	0,931
	Pluviosidade x <i>Bacillus subtilis</i>	12	0,367	0,240
	Pluviosidade x Esporos anaeróbios	12	-0,191	0,553
	Pluviosidade x <i>Clostridium perfringens</i>	12	-0,109	0,736
	Pluviosidade x Turbidez	12	0,109	0,736
	Pluviosidade x Cor aparente	12	0,133	0,680
	Pluviosidade x Sólidos em suspensão	12	-0,152	0,638

Continua...

Tabela 15, Cont.

Pontos de Coleta	Correlações Estudadas	N (Pares)	Coefficiente de Spearman ( $r_s$ )	Valor de p
Água Filtrada (Filtro 1)	Pluviosidade x <i>Cryptosporidium</i> spp.	8	-	-
	Pluviosidade x <i>Giardia</i> spp.	8	-0,412	0,310
	Pluviosidade x Heterotróficas	12	-0,028	0,931
	Pluviosidade x Coliformes totais	12	-0,175	0,586
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	12	0,117	0,717
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	12	0,187	0,560
	Pluviosidade x Esporos aeróbios	12	-0,119	0,713
	Pluviosidade x <i>Bacillus subtilis</i>	12	0,226	0,480
	Pluviosidade x Esporos anaeróbios	12	-	-
	Pluviosidade x <i>Clostridium perfringens</i>	12	-	-
	Pluviosidade x Turbidez	12	0,439	0,154
	Pluviosidade x Cor aparente	12	0,074	0,820
	Pluviosidade x Sólidos em suspensão	12	0,039	0,904
	Água Filtrada (Filtro 2)	Pluviosidade x <i>Cryptosporidium</i> spp.	8	-
Pluviosidade x <i>Giardia</i> spp.		8	-	-
Pluviosidade x Heterotróficas		12	0,046	0,894
Pluviosidade x Coliformes totais		12	0,317	0,342
Pluviosidade x Coliformes termotolerantes		12	0,607	0,048
Pluviosidade x <i>E. coli</i>		12	0,549	0,080
Pluviosidade x Esporos aeróbios		12	-0,264	0,432
Pluviosidade x <i>Bacillus subtilis</i>		12	-0,135	0,693
Pluviosidade x Esporos anaeróbios		12	-0,447	0,168
Pluviosidade x <i>Clostridium perfringens</i>		12	-	-
Pluviosidade x Turbidez		12	0,255	0,449
Pluviosidade x Cor aparente		12	-0,005	0,989
Pluviosidade x Sólidos em suspensão		12	-0,373	0,258
Água Tratada (Tanque de contato)		Pluviosidade x <i>Cryptosporidium</i> spp.	8	-
	Pluviosidade x <i>Giardia</i> spp.	8	-0,312	0,324
	Pluviosidade x Heterotróficas	12	-	-
	Pluviosidade x Coliformes totais	12	-	-
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	12	-	-
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	12	-	-
	Pluviosidade x Esporos aeróbios	12	-0,337	0,284
	Pluviosidade x <i>Bacillus subtilis</i>	12	0,393	0,206
	Pluviosidade x Esporos anaeróbios	12	-	-
	Pluviosidade x <i>Clostridium perfringens</i>	12	-	-
	Pluviosidade x Turbidez	12	0,423	0,171
	Pluviosidade x Cor aparente	12	0,399	0,198
	Pluviosidade x Sólidos em suspensão	12	-0,267	0,401

Tabela 15, Cont.

Pontos de Coleta	Correlações Estudadas	N (Pares)	Coefficiente de Spearman ( $r_s$ )	Valor de p
Água Tratada (Reservatório)	Pluviosidade x <i>Cryptosporidium</i> spp.	8	-	-
	Pluviosidade x <i>Giardia</i> spp.	8	-	-
	Pluviosidade x Heterotróficas	12	-0,393	0,206
	Pluviosidade x Coliformes totais	12	-	-
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	12	-	-
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	12	-	-
	Pluviosidade x Esporos aeróbios	12	0,007	0,983
	Pluviosidade x <i>Bacillus subtilis</i>	12	0,480	0,114
	Pluviosidade x Esporos anaeróbios	12	-	-
	Pluviosidade x <i>Clostridium perfringens</i>	12	-	-
	Pluviosidade x Turbidez	12	0,498	0,099
	Pluviosidade x Cor aparente	12	0,322	0,307
	Pluviosidade x Sólidos em suspensão	12	-0,242	0,449
	Água Lavagem de Filtro 1	Pluviosidade x <i>Cryptosporidium</i> spp.	8	-0,781
Pluviosidade x <i>Giardia</i> spp.		8	-0,854	0,007
Pluviosidade x Heterotróficas		12	-	-
Pluviosidade x Coliformes totais		12	0,331	0,293
Pluviosidade x Coliformes termotolerantes		12	0,310	0,327
Pluviosidade x <i>E. coli</i>		12	0,310	0,327
Pluviosidade x Esporos aeróbios		12	-0,007	0,983
Pluviosidade x <i>Bacillus subtilis</i>		12	0,368	0,239
Pluviosidade x Esporos anaeróbios		12	0,018	0,957
Pluviosidade x <i>Clostridium perfringens</i>		12	-0,102	0,753
Pluviosidade x Turbidez		12	0,246	0,441
Pluviosidade x Cor aparente		12	0,566	0,055
Pluviosidade x Sólidos em suspensão		12	-0,288	0,363
Água Lavagem de Filtro 2		Pluviosidade x <i>Cryptosporidium</i> spp.	8	0,134
	Pluviosidade x <i>Giardia</i> spp.	8	0,217	0,641
	Pluviosidade x Heterotróficas	12	-0,406	0,216
	Pluviosidade x Coliformes totais	12	0,585	0,059
	Pluviosidade x Coliformes termotolerantes	12	0,446	0,169
	Pluviosidade x <i>E. coli</i>	12	0,396	0,228
	Pluviosidade x Esporos aeróbios	12	0,005	0,989
	Pluviosidade x <i>Bacillus subtilis</i>	12	-	-
	Pluviosidade x Esporos anaeróbios	12	-	-
	Pluviosidade x <i>Clostridium perfringens</i>	12	-0,518	0,102
	Pluviosidade x Turbidez	12	0,356	0,282
	Pluviosidade x Cor aparente	12	0,509	0,110
	Pluviosidade x Sólidos em suspensão	12	-0,263	0,435

### 5.3. Avaliação de possíveis indicadores para a presença de (oo)cistos de protozoários a partir dos parâmetros pesquisados no SAA-UFV

A partir dos dados obtidos na pesquisa, entre setembro de 2005 a outubro de 2006, foram testadas correlações com cálculo do Coeficiente de Spearman entre a ocorrência de (oo)cistos de protozoários com os demais parâmetros, ao longo do tratamento, considerando as médias obtidas em cada etapa do tratamento no período pesquisado (Tabela 16).

Tabela 16 – Correlação entre (oo)cistos de protozoários e demais parâmetros monitorados ao longo do tratamento de água, SAA-UFV, outubro de 2005 a setembro de 2006

Correlações Estudadas	N (Pares)	Coeficiente de Spearman (rs)	Valor de p
<i>Cryptosporidium</i> spp. x <i>Giardia</i> spp.	8	0,929	0,001
<i>Cryptosporidium</i> spp. x Heterotróficas	8	0,837	0,010
<i>Cryptosporidium</i> spp. x Coliformes totais	8	0,485	0,223
<i>Cryptosporidium</i> spp. x Coliformes termotolerantes	8	0,574	0,137
<i>Cryptosporidium</i> spp. x <i>E. coli</i>	8	0,574	0,137
<i>Cryptosporidium</i> spp. x Esporos aeróbios	8	0,939	0,001
<i>Cryptosporidium</i> spp. x <i>Bacillus subtilis</i>	8	0,230	0,584
<i>Cryptosporidium</i> spp. x Esporos anaeróbios	8	0,936	0,001
<i>Cryptosporidium</i> spp. x <i>Clostridium perfringens</i>	8	0,973	<0,000
<i>Cryptosporidium</i> spp. x Turbidez	8	0,919	0,001
<i>Cryptosporidium</i> spp. x Cor aparente	8	0,913	0,002
<i>Cryptosporidium</i> spp. x Sólidos em suspensão	8	0,850	0,008
<i>Giardia</i> spp. x <i>Cryptosporidium</i> spp.	8	0,929	0,001
<i>Giardia</i> spp. x Heterotróficas	8	0,823	0,012
<i>Giardia</i> spp. x Coliformes totais	8	0,580	0,131
<i>Giardia</i> spp. x Coliformes termotolerantes	8	0,704	0,051
<i>Giardia</i> spp. x <i>E. coli</i>	8	0,704	0,051
<i>Giardia</i> spp. x Esporos aeróbios	8	0,945	<0,000
<i>Giardia</i> spp. x <i>Bacillus subtilis</i>	8	0,457	0,255
<i>Giardia</i> spp. x Esporos anaeróbios	8	0,893	0,003
<i>Giardia</i> spp. x <i>Clostridium perfringens</i>	8	0,955	<0,000
<i>Giardia</i> spp. x Turbidez	8	0,852	0,007
<i>Giardia</i> spp. x Cor aparente	8	0,823	0,012
<i>Giardia</i> spp. x Sólidos em suspensão	8	0,933	0,001

Houve correlação significativa entre a presença de oocistos de *Cryptosporidium* spp. com *Giardia* spp. ( $p = 0,001$ ), bactérias heterotróficas ( $p = 0,010$ ), esporos aeróbios ( $p = 0,001$ ), esporos anaeróbios ( $p = 0,001$ ), *Clostridium perfringens* ( $p < 0,000$ ), turbidez ( $p = 0,001$ ), cor aparente ( $p = 0,002$ ) e sólidos em suspensão ( $p = 0,008$ ).

Quanto à ocorrência de cistos de *Giardia* spp. houve correlação significativa para os mesmos parâmetros, a saber: bactérias heterotróficas ( $p = 0,012$ ), esporos aeróbios ( $p < 0,000$ ), esporos anaeróbios ( $p = 0,003$ ), *Clostridium perfringens* ( $p < 0,000$ ), turbidez ( $p = 0,007$ ), cor aparente ( $p = 0,012$ ) e sólidos em suspensão ( $p = 0,001$ ).

As bactérias da espécie *C. perfringens* e *Bacillus subtilis* têm sido sugeridas como indicadores promissores da eficiência dos processos de tratamento da água e da ocorrência de organismos patogênicos, como é o caso do *Cryptosporidium* spp. (SAVICHTCHEVA; OKABE, 2006; SCHIJVEN, *et al.*, 2002; RADZIMINSKI *et al.*, 2002).

Contudo, essas sugestões devem ser consideradas com os devidos cuidados, já que para tal afirmação são necessários estudos mais aprofundados, principalmente, no que diz respeito à coleta e avaliação de um maior número de amostras para um intervalo de tempo maior.

#### **5.4. Avaliação da presença de microalgas e cianobactérias no SAA-UFV**

Atualmente, o Serviço de Tratamento de Água da UFV não realiza de forma rotineira a contagem de células de cianobactérias e, ou, a análise de cianotoxinas, porém isso se encontra em fase de implementação. Foi realizada uma coleta pontual em setembro de 2006 a fim de caracterizar as etapas de tratamento quanto à presença ou ausência desses organismos.

Após o período de incubação de oito dias, foi verificado o crescimento de microalgas e cianobactérias nas amostras de água bruta, decantada e filtrada. Foi realizado, então, o isolamento desses microrganismos para identificação. Foram encontrados seis gêneros distintos, conforme apresentado na Tabela 17 e ilustrado nas Figuras 32 a 37.

A não-quantificação dos organismos nas amostras coletadas, não nos permite observar a redução de destes ao longo do tratamento. Ainda, podemos observar que a

Tabela 17 – Gêneros de microalgas e cianobactérias presentes nas etapas de tratamento, SAA-UFV, 2006

Pontos de Coleta	Gênero Identificado
Água bruta	<i>Chorella, Pseudoanabaena, Selenastrum</i>
Água decantada	<i>Chlorococccum, Pseudoanabaena</i>
Água filtrada (filtro1)	<i>Chorella, Euglena</i>
Água Filtrada (filtro 2)	<i>Chorella, Euglena, Pseudoanabaena, Trachelomonas</i>
Água tratada (tanque de contato)	-
Água tratada (reservatório)	-

ocorrência das microalgas não apresentou-se de forma homogênea, ou seja, não foram observados os mesmos organismos nas diferentes amostras. Este último fator pode ser explicado por um possível crescimento de algas nas unidades de filtração. Ainda, pode ser explicado pela limitação do método de análise, já que apenas 1mL da amostra era inoculado para crescimento.

A maior preocupação surgida foi com o aparecimento do gênero *Pseudoanabaena* em amostras de água filtrada, significando um perigo na produção de água para consumo humano, pois trata-se de um gênero potencialmente produtor de toxina.

Ainda, os demais gêneros encontrados também representam perigos para a produção de água, devido à capacidade de fixarem-se às partículas de areia dos filtros. Isto leva à redução da carga dos filtros e prejudica seu funcionamento.

### **5.5. Identificação dos perigos em cada etapa de tratamento e sugestões de monitoramento para implementação do sistema APPCC na produção de água para consumo humano no SAA/UFV**

A partir dos resultados encontrados, nas etapas de produção, foi possível sugerir um esquema de monitoramento com detalhamento dos pontos críticos de controle (PCC) e pontos críticos de atenção (PCA), e respectivos aspectos a serem observados, a fim de servir como base para maior discussão sobre o emprego do sistema APPCC, em estações de tratamento de água (Tabela 18). O diagrama de fluxo proposto para essa análise está apresentado na Figura 38. Ressalta-se que a ênfase foi dada aos perigos de natureza microbiológica, caracterizado pela ocorrência de indicadores e, ou, organismos patogênicos (protozoários) em diferentes etapas da produção da água no SAA-UFV.



Figura 32 – Gênero *Selenastrum* identificado, SAA-UFV, setembro de 2006.

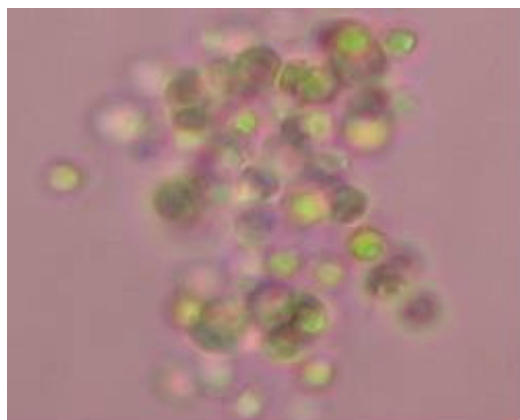


Figura 33 – Gênero *Chlorella* identificado, SAA-UFV, setembro de 2006.

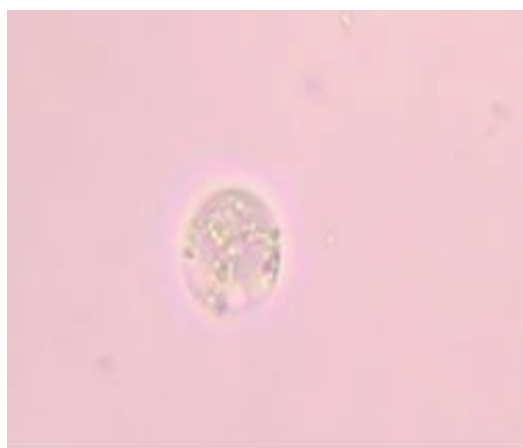


Figura 34 – Gênero *Euglena* identificado, SAA-UFV, setembro de 2006.

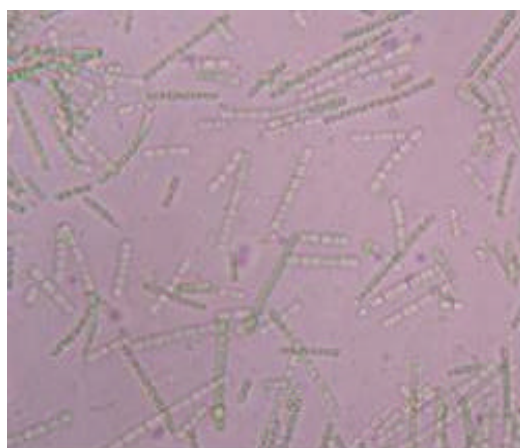


Figura 35 – Gênero *Pseudoanabaena* identificado, SAA-UFV setembro de 2006.

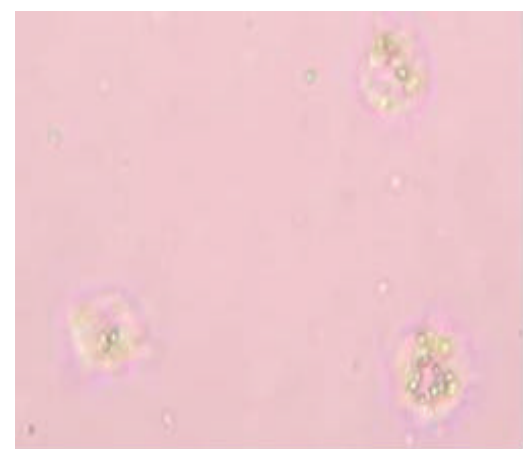


Figura 36 – Gênero *Trachelomonas* identificado, SAA-UFV setembro de 2006.

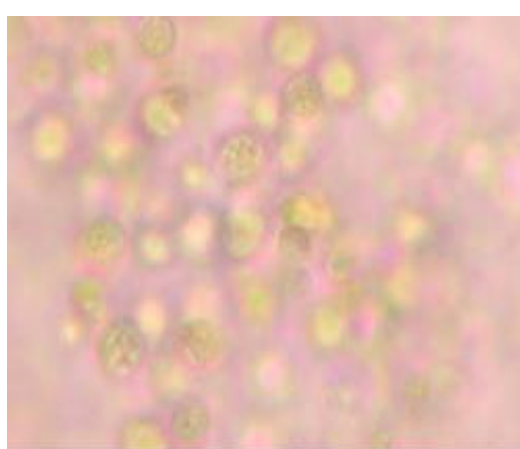


Figura 37 – Gênero *Chlorococcus* identificado, SAA-UFV, setembro de 2006.

Tabela 18 – Quadro resumo de um plano de Análise de Pontos Críticos de Controle na produção de água, SAA-UFV, 2007

Etapa do Processo	Perigos	Medidas Preventivas	PCC ou PCA	Limite Crítico	Monitoramento	Ações Corretivas
Água bruta	Contaminação por esgotos humanos e animais (organismos patogênicos)	Identificação de fontes de contaminação e medidas de gerenciamento na bacia de captação	PCA	(Valor inexistente)	Monitoramento de indicadores (coliformes) e patogênicos na medida do possível	Tratamento de esgoto e proteção do manancial de abastecimento
	Microalgas e cianobactérias	Verificar e combater os processos de eutrofização	PCC	< 20.000 células cianobactérias/mL	Monitoramento do número de células (microalgas e cianobactérias) no ponto de captação de água	Implementação de técnicas de tratamento para remoção de microalgas e cianobactérias
	Turbidez elevada	Medidas de gerenciamento na bacia de captação	PCC	(Valor inexistente)	Monitoramento <i>on line</i> da turbidez da água bruta	Redução da vazão da ETA
Sedimentação	Falha no processo de coagulação + floculação + sedimentação	Controle rigoroso da coagulação	PCC	Estabelecido segundo as condições de turbidez da água bruta	Jar test e monitoramento <i>on-line</i> da turbidez da água decantada	Redução da vazão da ETA
Filtração	Turbidez elevada	Controle rigoroso da coagulação + floculação + sedimentação	PCC	0,5 uT Desenvolver estudos para a determinação de limites críticos	Monitoramento <i>on-line</i> dos efluentes filtrados	Controle da coagulação. Descarte de produto não conforme (> 0,5 uT)
	(oo)cistos de protozoários	Controle rigoroso da coagulação + floculação + sedimentação	PCA	(Valor inexistente)	Monitoramento de (oo)cistos na medida do possível	Ajuste no processo de desinfecção ou descarte do efluente filtrado

Continua...

Tabela 18, Cont.

<b>Etapa do Processo</b>	<b>Perigos</b>	<b>Medidas Preventivas</b>	<b>PCC ou PCA</b>	<b>Limite Crítico</b>	<b>Monitoramento</b>	<b>Ações Corretivas</b>
Desinfecção	Esporos aeróbios	Controle rigoroso da filtração	PCA	(Valor inexistente)	Monitoramento na medida do possível	Ajuste do processo de desinfecção
	CT	Controle rigoroso da filtração Dosagem correta do desinfetante	PCC	CT <sub>99,99</sub> para vírus e CT <sub>99,9</sub> para Giardia	Monitoramento <i>on line</i> de pH, temperatura e cloro residual e CT	Ajuste do processo de desinfecção
	(oo)cistos de protozoários	Controle da coagulação e monitoramento das etapas de floculação e sedimentação	PCA	(Valor inexistente)	Monitoramento na medida do possível	Descarte de produto não conforme e informação ao consumidor para ferver a água
Distribuição	Cloro residual	Manutenção do sistema	PCA	0,2 mg/L	Cloro residual	Ajuste da dosagem de cloro na ETA. Reparos na rede Recoleta.
	Coliformes	Manutenção do sistema	PCA	Ausência	Coliformes	Desinfecção complementar, descarte de produto não conforme e informação ao consumidor para ferver a água

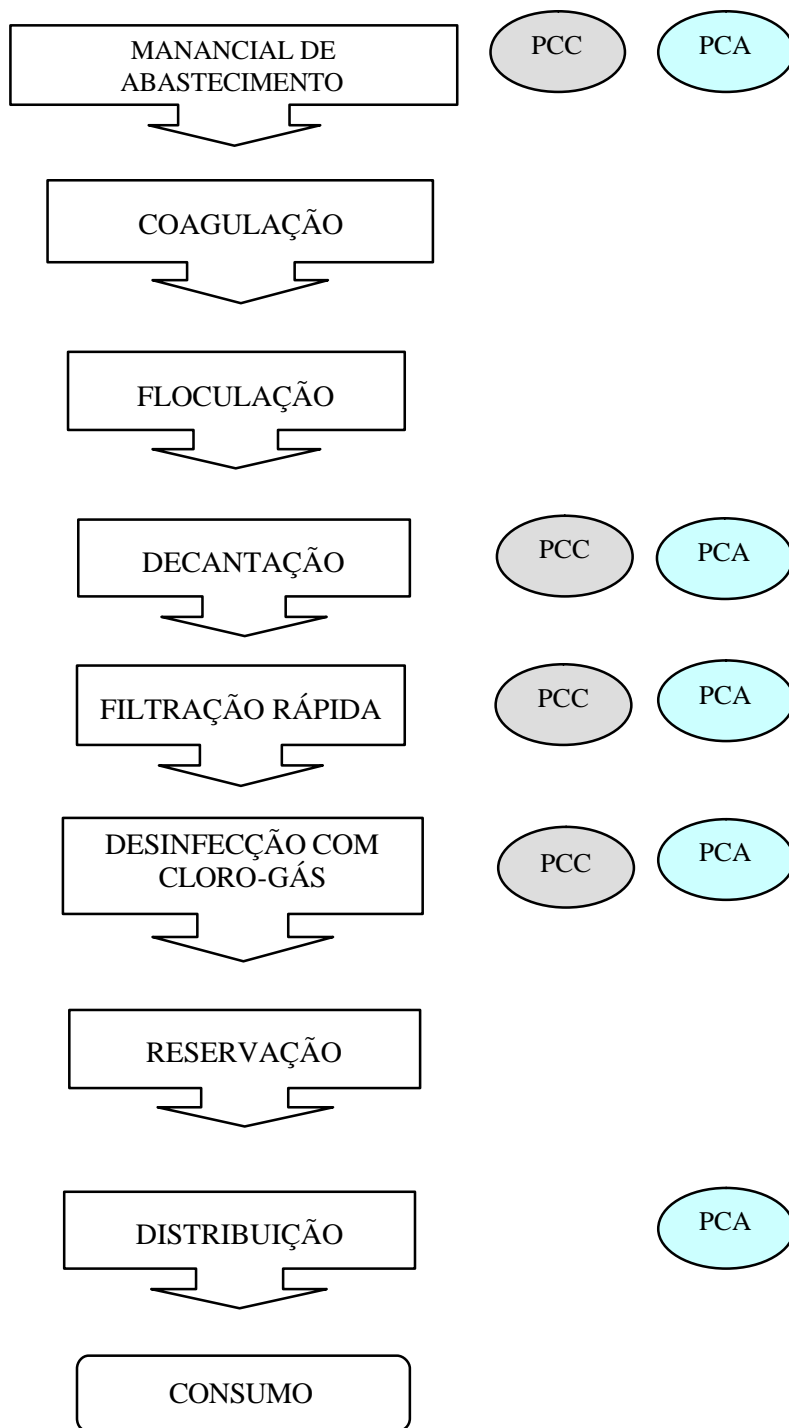


Figura 38 – Fluxograma de produção de água para consumo humano com identificação de PCC e PCA, SAA-UFV.

Conforme já explicitado anteriormente, a distinção entre PCCs e PCAs está relacionada à possibilidade de operacionalização de seu monitoramento. Os PCCs devem ser monitorados *on-line*, com resultados imediatos, assim, as ações corretivas podem ser tomadas de forma imediata. Portanto, quando o parâmetro utilizado para o monitoramento do PC não disponibiliza resultados *on-line*, podemos optar por considerar um ponto crítico como objeto de atenção (PCA).

Quanto ao monitoramento, procuramos manter a necessidade de um monitoramento ideal para o PCC, ou seja, feito a partir de análises simples, de baixo custo e que resultem em dados imediatos, o que é possível com a adoção de indicadores físicos (por exemplo, pH e temperatura, na indústria de alimentos; no caso da água de consumo, a turbidez), conforme caracterizado a seguir.

Considerando o exposto e a partir dos resultados apresentados anteriormente, identificamos como perigos: i) eventuais falhas na etapa de coagulação/sedimentação, principalmente em época de chuvas; ii) dificuldades de se alcançar padrões mais rigorosos de turbidez da água filtrada, sugeridos como indicadores da remoção de *Cryptosporidium* (0,3 uT); iii) presença de cistos de protozoários e esporos anaeróbios após a filtração; iv) ocorrência de esporos aeróbios após a desinfecção; e v) dificuldades de manutenção dos teores de cloro residual mínimo em alguns pontos da rede de distribuição.

O monitoramento das microalgas no manancial poderia ser também sugestivo de perigos, mas a escassez de dados impede considerações mais detalhadas. Não obstante, durante o período deste estudo foram registrados eventos de drástica redução das carreiras de filtração, com fortes indícios de floração de microalgas como causa.

A eventual recirculação de água de lavagem de filtros poderia ser considerada uma introdução de perigos.

O efeito da elevação acentuada de turbidez no desempenho da ETA-UFV já foi demonstrado em trabalhos anteriores, bem como as dificuldades do processo de filtração em sistematicamente alcançar valores inferiores a 0,3 uT, a eventual detecção de protozoários na água filtrada e as dificuldades de manutenção dos residuais de cloro na rede de distribuição (BASTOS *et al.*, 2003a; BASTOS *et al.* 2003b; BASTOS *et al.*, 2004).

Assim, foram considerados PCC as etapas de captação, decantação, filtração e desinfecção. Isto para diferentes parâmetros, conforme descrito na tabela 17. Ainda,

foram considerados PCA, as etapas de captação, decantação, filtração, desinfecção e distribuição.

Com a aplicação deste sistema de monitoramento espera-se reduzir riscos associados à presença de organismos patogênicos. Para tanto, ainda sugerimos a aplicação de indicadores, como a pluviosidade, turbidez, cor, esporos aeróbios e anaeróbios, a fim de reduzir custos e adquirir respostas mais rápidas nas avaliações das diferentes etapas do processo de produção.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O SAA-UFV, no período analisado, estava de acordo com os requisitos estabelecidos pela Portaria MS nº 518/2004, referentes ao controle da qualidade da água produzida, em se tratando dos parâmetros físicos (turbidez, cor aparente), químicos (CRL) e microbiológicos (coliformes), seja no tratamento ou na distribuição. Alguns problemas foram identificados em dois pontos da rede de distribuição com relação à turbidez e cor aparente.

A avaliação inicial da produção de água no SAA-UFV permitiu subsidiar a aplicação dos princípios do APPCC, incluindo: i) a identificação de perigos e medidas preventivas; ii) a definição de pontos de críticos de controle; iii) a elaboração de plano de monitoramento, com definição de limites críticos; e iv) a proposição de medidas corretivas.

Adicionalmente, os resultados do trabalho demonstraram correlações significativas entre (oo)cistos de protozoários e os parâmetros esporos (aeróbios e anaeróbios), contagem de bactérias heterotróficas, *Clostridium perfringens*, turbidez, cor e sólidos em suspensão. Entretanto, ainda são necessários estudos que demonstrem a efetividade da utilização desses parâmetros como indicadores da presença de (oo)cistos de protozoários.

Na aplicação do sistema APPCC, uma das questões que precisa de maior aprofundamento científico é a definição dos limites críticos dos parâmetros a serem monitorados. Nesse sentido, o conhecimento do processo de produção, falhas,

problemas e desempenho, é fundamental para a adequada tomada de decisão a esse respeito, sob risco de se estabelecerem limites inviáveis de serem cumpridos.

Por outro lado, a responsabilidade em relação aos riscos associados, à saúde da população consumidora, não podem ser negligenciados. Assim, a metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco (AQR) se apresenta como uma possibilidade a ser mais explorada e utilizada, subsidiando a aplicação do APPCC na produção de água para consumo humano.

Há ainda de se considerar que, sendo o APPCC um sistema que visa o monitoramento e prevenção de perigos, é necessário que cada unidade de produção, neste caso, as estações de tratamento de água, realizem estudos preliminares para verificação de seus perigos e suas medidas próprias de prevenção.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, M. J.; EDBERG, S. C.; REASONER, D. S. Heterotrophic plate count bacteria – What is their significance in drinking water? *International journal of food microbiology*. v. 92, p. 265-274, 2004.

ALMEIDA, C. R. O sistema HACCP como instrumento para garantir a inocuidade dos alimentos. *Higiene Alimentar*, v. 12, n. 53, p. 12-20, 1998.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington, 1998. 1300 p.

AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. S. *BioEstat 2.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas*. Belém/Brasília: Sociedade Civil Mamirauá/CNPq, 2000. 272 p.

AZEVEDO, S. M. F. O.; BRANDÃO, C. C. S. *Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano*. Brasília: Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, 2003. 56 p.

BARTRAM, J. *et al.* (Ed.). *Heterotrophic plate count and drinking water safety: the significance for water quality and the human health*. London: WHO/IWA Publishing, 2003 (WHO Emerging Issues in Water and Infectious Disease Series).

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; KELLER, R. Organismos patogênicos e efeitos sobre a saúde humana. In: FRANCI, R.G. (Coord.). *Desinfecção de efluentes sanitários*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003, p. 27-88 (Projeto PROSAB).

BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; FORMAGGIA, D. M. E. *Comentários sobre a Portaria MS nº 518/2004: Subsídios para a implementação*. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 92 p. (Série E. Legislação em Saúde).

BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; BEVILACQUA, P. D. Tendências no controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. In: SEMINÁRIO NOVAS TENDÊNCIAS NO TRATAMENTO E NA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO, Belo Horizonte, 2004. *Anais...* Belo Horizonte: UFMG, DESA, 2004 (CD ROM).

BASTOS, R.K.X.; HELLER, L.; VIEIRA, M.B.C.M.; BRITO, L.L.A.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E. *Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts dynamics in Southeast Brazil. Occurrence in surface water and removal in water treatment processes. *Water Science and Technology*, v. 14, n. 2, p. 15-22. 2004.

BASTOS, R. K. X.; NASCIMENTO, L. E.; BETÔNICO, G. C. Otimização do controle de qualidade da água tratada e distribuída para consumo humano - implementando a Portaria 1.469/2000 In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville-SC. *Anais...*Rio de Janeiro: ABES, 2003b. (CD ROM).

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E. *et al.* Coliformes como indicadores da qualidade da água. Alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

BASTOS, R.K.X.; HELLER, L.; FORMAGGIA, D.M.E.; AMORIM, L. C.; SANCHEZ, P. S.; BEVILACQUA, P. D.; COSTA, S. S.; CÂNCIO J. A. Revisão da Portaria 36 GM/90. Premissas e princípios norteadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. (CD-ROM).

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 INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 2000 (anais eletrônicos).

BETANCOURT, W.Q.; ROSE, J.B. Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Veterinary parasitology*, v. 126, p. 219-234, 2004.

BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; HELLER, L. *et al.* Densidades de *Giardia* e *Cryptosporidium* em mananciais de abastecimento de água e prevalência de giardiase: usos e aplicações do modelo teórico de avaliação de risco. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancun. *Anais...* Cancun: Asociacion Interamericana de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental, 2002. (CD-ROM).

BEZERRA, R. P.; BORBA, F. K. S. L.; MOREIRA, K. A.; LIMA FILHO, J. L.; PORTO, A. L. F.; CHAVES, A. C. Extração líquido-líquido da amilase produzida pelo *Bacillus subtilis* no sistema de duas fases aquosas. *Brazilian Biology and technology*, Curitiba, v. 49, n.4, July 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 de Dezembro de 2004.

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

COSTA, G. M.; ASSIS, R. A.; LOBATO, F. C. F.; ABREU, V. L. V.; SANTOS, S. L.; UZAL, F. A. Diarréia em leitões lactentes por *Clostridium perfringens* tipo A em granjas tecnificadas nos estados de Minas Gerais e São Paulo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 56, n. 3, p. 401-404, 2004.

CRAUN, G. F.; HUBBS, S. A.; FROST, F. *et al.* Waterborne outbreaks of cryptosporidiosis. *Journal of American Water Works Association*, v. 90, n. 9, p. 81-91, 1998.

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

DAWSON, D. Foodborne protozoan parasites. *International Journal of Food Microbiology*, v. 103, n. 2, p. 207-227, 2005.

DEWETTINCK, T.; HOUTTE, E. V.; GEENENS, D.; HEGE, K. V.; VERSTRAETE, W. HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) to guarantee safe water reuse and drinking water production – a case study. *Water Science and Technology*, v. 43, n. 12, p. 31-38, 2001.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2. ed. Volume 1. São Carlos: RiMa, 2005a. 792 p.

DI BERNARDO, L. DANTAS, A. D.B. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2. ed. Volume 2. São Carlos, RiMa, 2005b. 792 p.

DRESCHI, R. R.; JONG, E. V. Implantação da análise de perigos e pontos críticos de controle na fabricação de queijos. *Higiene Alimentar*, v. 16, n. 100, p. 30-36, 2002.

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

EDBERG, S. C.; ALLEN, M. J. Virulence and risk from drinking water of heterotrophic plate count bacteria in human population groups. *International Journal of Food Microbiology*, v. 92, p. 255-263, 2004.

FAYER, R. *Cryptosporidium*: a water-borne zoonotic parasite. *Veterinary Parasitology*, v. 126, p. 37-56, 2004.

FLEMMING, J. S.; FREITAS, R. J. S. Avaliação do efeito de prebióticos (MOS), probióticos (*Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis*) e promotor de crescimento na alimentação de frangos de corte. *Archives de Veterinary Science*, v. 10, n. 2, p. 41-47, 2005.

FOPEN, J. W. A.; SCHIJVEN, J. F. Evaluation of data from the literature on the transport and survival of *Escherichia coli* and thermotolerant coliforms in aquifers under saturated conditions. *Water Research*, v 40, p. 401-406, 2006.

FOUT, G. S.; SCHAEFFER III, F. W.; MESSER, J. W.; DAHLING, D. R.; STETLER, R. E. Membrane filtration method for *C. perfringens*. *ICR Microbiological Laboratory Manual*, EPA 600/R- 95/178, Cincinnati, 1996.

FRICKER C.R; CRABB, J.H. *Advancer in Parasitology*, v. 40, p. 242-278, 1998.

GIANI, A.; FIGUEREDO, C. C.; ETEROVICK, P. C. Algas planctônicas do reservatório da Pampulha-MG: Euglenophyta, Chrysophyta, Pyrrophyta, Cyanobacteria. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 107-116, agosto, 1999.

GIMBEL R.; CLASEN, J. International report: removal of micro-organisms by clarification and filtration processes. *Water Supply*, 16:203–208.1998, *apud* Le CHEVALLIER, M. W.; AU, KWOK-KEUNG. *Water treatment and pathogen control Process. Efficiency in achieving safe drinking water*. London: WHO/IWA, 2004.

HAAS, C. N.; ROSE, J.; GERBA, C. P. *Quantitative microbial risk assessment*. New York: John Wiley & Sons, 1999. 449 p.

HAVELAAR, A. H. Application of HACCP to drinking water supply. *Food Control*, v. 5, n. 3, p. 215-220, 1994.

HELLER, L.; BASTOS, R. K. X.; VIEIRA, M. B. C. M.; LIMA, J. D.; BEVILACQUA, P. D.; LEAL, P. F. G.; MOTA, S. M. M.; BRITO, L. L. A. Avaliação de risco à saúde humana associado à ingestão de protozoários e da eficiência de processos de tratamento de águas de abastecimento na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., *Anais* Cancum, México, 2003.

HOWARD, G. Water safety plans for small systems: a model for applying HACCP concepts for cost-effective monitoring in developing countries. *Water Science and Technology*, v. 47, n. 3, p. 215-220, 2003.

HUNTER, P. R. *Waterborne disease – Epidemiology and ecology*. England: Wiley, 1997. 372 p.

JAGALS, C.; JAGALS, P. Application of HACCP principles as a management tool for monitoring and controlling microbiological hazards in water treatment facilities. *Water Science and Technology*, v. 50, n. 1, p. 69-76, 2004.

LADEIA, M. M. Avaliação da Eficiência da filtração rápida descendente na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* sp. em instalação piloto. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte, 2004.

LAZZARETTI, E.; MELO, I. S. Influência de *Bacillus subtilis* na promoção de crescimento de plantas e nodulação de raízes de feijoeiro. *Boletim de pesquisa e desenvolvimento - EMBRAPA*, v. 28, n. 155, p. 1516-4675, janeiro 2005.

LE CHEVALLIER M. W.; NORTON W. D; LEE R. G Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* spp. in surface water supplies. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 57, n. 99, pp. 2610-2616, 1991, *apud* Le CHEVALLIER, M. W; AU, KWOK-KEUNG. *Water treatment and pathogen control Process. Efficiency in achieving safe drinking water*. London: WHO/IWA, 2004.

LE CHEVALLIER, M. W.; AU, KWOK-KEUNG. *Water treatment and pathogen control Process. Efficiency in achieving safe drinking water*. London: WHO/IWA, 2004.

LE CHEVALLIER, M. W.; NORTON, W. D. Examining relations between particle counts and *Giardia*, *Cryptosporidium* and turbidity. *Journal of American Water Works Association*, v. 84, n. 12, p. 54-60, dezembro 1992.

LE CHEVALLIER, M. W.; NORTON, W. D. *Giardia* and *Cryptosporidium* in raw and finished water. *Journal of American Water Works Association*, v. 87, p. 54-68, setembro 1995.

LIYANAGE, L. R. I.; FINCH, G. R.; BELOSEVIC, M. Effect of aqueous chlorine and oxychlorine compounds on *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Environmental Science Technology*, v. 31, p. 1992-1994, 1997.

LOBATO, F.; ASSIS, R. A. Clostridioses dos animais In: SIMPÓSIO MINEIRO DE BUIATRIA, 2., 2005. *Anais...* Belo Horizonte: ABM, 2005.

Mac KENZIE, W. R.; HOXIE, N. J.; PROCTOR, M. E.; GRADUS, S.; BLAIR, K. A.; PETERSON, D. E.; KAZMIERZAK, 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. *New England Journal of Medicine*, v. 331, p. 161-167, 1994.

MACÊDO, J. A. B. *Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas*. Belo Horizonte: CRQ/MG, 2003.

MACLER, B. A.; REGLI, S. Use of microbial risk assessment in setting US drinking water standards. *International Journal of Food Microbiology*, v. 18, p. 245-256, 1993.

MELO, I. S.; VALARINI, P. J. Potencial de rizobactérias no controle de *Fusarium solani* (Mrat.) Sacc. Em pepino (*Cucumis sativum* L.). *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 326-330, Maio-Ago. 1995.

MONIS, P. T.; THOMPSON, R. C. A. *Cryptosporidium* and *Giardia* – zoonoses: fact or fiction? *Infection, Genetics and Evolution*, v. 3, p. 233-244, 2003.

MORTIMORE, S.; WALLACE, C. HACCP: Um enfoque práctico. 2. ed. Editora Acribia S.A., 2001. 427 p.

MOSSEL, D. A. A.; STRIJK, C. B. Assessment of the microbial integrity, sensu Wilson, G. S. of piped and bottled drinking water in the condition as ingested. *International Journal of Food Microbiology*, v. 92, p. 375-390, 2004.

NEVES, D. P. *Parasitologia humana*. 3. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

ONGERTH, J. E.; HUTTON, P. E. De filtration to remove *Cryptosporidium*. *Journal of American Water Works Association*, v. 89, n. 12, p. 39-46, dezembro 1997.

OTUKI, A. K.; MACRUZ, R.; BALDASSI, L. Morte de equino puro sangue determinada por mionecrose. *Arquivo do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 71, p. 748-749, 2004.

PELCZAR, M. J. JR.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. *Microbiologia, conceitos e aplicações*. Vol.1, 1996. 524 p.

PENHA, M. D. L.; BALDASSI, L.; CORTEZ, A.; PIATTI, R. M.; RICHTZENHAIN, L. J. Detecção dos genes das toxinas alfa, beta e épsilon em amostras de *Clostridium perfringens* isoladas do bovinos pela reação em cadeia da polimerase (PCR). *Arquivo do Instituto Biológico*, São Paulo, v. 72, n. 3, p. 277-281, jul.-Set. 2005.

PROFIQUA. *Manual de análise de perigos e pontos críticos de controle – APPCC*. Campinas: SBCTA, 1995. 28 p.

RADZIMINSKI, C.; BALLANTYNE, L.; HODSON, J. Disinfection of *Bacillus subtilis* spores with chlorine dioxide: a bench-scale and pilot-scale study. *Water Research*, v. 36, n. 6, p. 1629-1639, março 2002.

REAL, G.; HENRIQUES, A. D. Controle da iniciação da esporulação em *Bacillus subtilis*. *Boletim Biotecnologia – Microbiologia molecular*, v. 68, p. 2-12, 1999.

REGLI, S.; ROSE, J. B.; HAAS, C. N. *et al.* Modeling the risk from *Giardia* and viruses in drinking water. *Journal of American Water Works Association*, v.83, n.11, p.76-84, 1991.

REGLI, S.; ODOM, R.; GROMWELL, J.; LUSTIC, M.; BLANK, V. Benefits and costs of the IESWTR. *Journal of American Water Works Association*, v. 91, n. 4, abril 1999.

REIFF, F. M.; WITT, V. M. *Manual de desinfección. Guías para la selección y aplicación de las tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y El caribe*. Washington, DC: OPS/OMS, 1995. 227 p. (División de Salud y Ambiente. Serie Técnica, 30)

RICE, E. W.; FOX, K. R.; MILTNER, R. J.; LYTLE, D. A.; JOHNSON, C. H. Evaluating plant performance with endospores, *Journal of American Water Works Association*, v. 88, n. 9, p. 112-130, 1996.

ROSE, J. B.; GERBA, C. P. Use of risk assessment for development of microbial standards. *Water Science and Technology*, v. 24, n. 2, p. 29-34, 1991.

SARTORY, D. P. Heterotrophic plate count monitoring of treated drinking water in the UK a useful operation tool. *International journal of food microbiology*, v. 92, p. 297-306, 2004.

SAVICHTCHEVA, O.; OKABE, S. Alternative indicators of fecal pollution: relation with pathogens and conventional indicator, current methodologies for direct pathogen monitoring and future application perspectives. *Water Research*, v. 40, p. 2463-2476, 2006.

SCHIJVEN, J. F.; BRUIN, H. A. M.; HASSANIZADEH, S. M.; HUSMAN, A. M. R. Bacteriophages and *Clostridium* spores as indicator organisms for removal of pathogens by passage through saturated dune sand. *Water Research*, v. 37, p. 2186-2194, 2002.

SCHULZE, E.; SCHUBERT, L. B.; CAVALLI, V.; PACHECO, M. R. Reconhecimento de algas e contagem de células e cianofíceas nos mananciais que abastecem as ETA's do SAMAE de Blumenau. *Relatório Técnico do Serviço Municipal de Água e Esgoto*, Blumenau, 2003.

SENAI/SEBRAE/CNI. *Guia para elaboração do plano APPCC geral*. Rio de Janeiro: Cetec, 2000. 60 p.

SERRANO, M.; FIOR, R.; NEVES, A.; HENRIQUES, A. D. Comunicação intercelular durante a esporulação em *Bacillus subtilis*. *e-Boletim Biotecnologia – Microbiologia molecular*, p. 22-32, 2000.

SLAPETA, J. *Cryptosporidium* species found in cattle: a proposal for a new species. *TRENDS in Parasitology*, v. 22, n. 10, p. 469-474, 2006.

SOARES, J.; BENNITEZ, L. B.; TERRA, N. N. Análise de pontos críticos no abate de frangos, através da utilização de indicadores microbiológicos. *Higiene Alimentar*, v. 16, n. 95, p. 53-61, abril 2002.

SOBSEY, M. D. Inactivation of health-related microorganisms in water by disinfection processes. *Water Science and Technology*, v. 21, n. 3, p. 179-195, 1989.

SOUSA, A. A.; BRADACZ, D. C. Análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC) em uma cozinha hospitalar. *Higiene Alimentar*, v. 11, n. 47, p. 27-33, 1997.

SPERS, E. E.; KASSOUF, A. L. A abertura de mercado e a preocupação com a segurança alimentar. *Higiene Alimentar*, v. 10, n. 46, p. 16-26, 2000.

STROHL, W. A.; ROUSE, H.; FISHER, B. D. *Microbiologia Ilustrada*. Porto Alegre: Artmed, 2004. 520 p.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. (Ed.) *Microbiologia*. 6. ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000. 827 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Cryptosporidium* human health criteria document. Washington-DC: EPA, 2001 (EPA-822-K-094-001).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Giardia* human health criteria document. Washington-DC: EPA, 1998 (EPA-823-R-099-002).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public systems using surface water sources*. Science and Technology Branch. Criteria and Standards Division. Office of Drinking Water. Washington- DC: EPA, 1991

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, p. 82-86, 1993.

VIANNA M. R. *Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água* Rio de Janeiro: Imprimatur, Artes Ltda., 1997.

VIDOTTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. C. E. Algas: da economia nos ambientes aquáticos à biorremediação e à química analítica. *Química Nova*, v. 27, n. 1, p. 139-145, 2004.

WARE, M. W.; WYMER, L.; LINDQUIST, H. D. A.; SCHAEFER, F. W. Evaluation of an alternative IMS dissociation procedure for use with method 1622: detection of *Cryptosporidium* in water. *Journal of Microbiological Methods*, v. 55, n. 3, p. 575-583, dezembro 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Water Safety Plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer*. Geneva: WHO Library, 2005 (WHO/SDE/WSH/05.06).

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality - Recommendations*, Vol. 1, Geneva: WHO Library, 2006

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Emerging issues in water and infectious disease*. Geneva: WHO Library, 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Foodborne disease: a focus for health education*. Geneva: WHO Library, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality*. 3. ed. 2004. Disponível em: <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/)>. Acesso em: 17 nov. 2004.

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, 2004.

<[www.epa.gov/microbes](http://www.epa.gov/microbes)> Acesso: 18 mar. 2004.

<[www.stanford.edu](http://www.stanford.edu)> Acesso: 18 mar. 2004.

<[www.waterfiltreview.com](http://www.waterfiltreview.com)> Acesso: 18 mar. 2004.