

DANIEL COBUCCI DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE
CONTROLE NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO
HUMANO**

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

**Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos
Co-orientadores: Paula Dias Bevilacqua e
Paulo Sérgio de Arruda Pinto**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

O48a
2010
Oliveira, Daniel Cobucci, 1979-
Aplicação da análise de perigos e pontos críticos de
controle no tratamento de água para consumo humano / Daniel
Cobucci Oliveira. – Viçosa, MG, 2010.
xiv, 114f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.109-114.

1. Água - Microbiologia. 2. Abastecimento de água.
3. Controle de qualidade da água. 4. Água - Purificação.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
II. Título.

CDD 22. ed. 628.162

DANIEL COBUCCI DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE
CONTROLE NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO
HUMANO**

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

Viçosa, 22 de março de 2010

BANCA EXAMINADORA

Rafael Kopschitz Xavier Bastos – UFV
Orientador

Paula Dias Bevilacqua – UFV
Co-orientadora

Paulo Sérgio de Arruda Pinto – UFV
Co-orientador

José Carlos Mierzwa – Escola Politécnica USP

Luís Augusto Nero – UFV

AGRADECIMENTOS

A orientação dos professores Rafael Kopschitz Xavier Bastos, Paula Dias Bevilacqua e Paulo Sérgio de Arruda Pinto;

Aos membros da banca examinadora Prof^o José Carlos Mierzwa e Prof^o Luís Augusto Nero;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na pessoa do Prof^o Eduardo Antônio Gomes Marques;

Aos servidores da Divisão de Água e Esgotos, Departamento de Administração da Universidade Federal de Viçosa;

Aos servidores do Setor de Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Pública, Departamento de Veterinária da Universidade Federal de Viçosa;

Aos estudantes vinculados ao projeto de pesquisa Plano de Segurança da Água;

Ao projeto de pesquisa Plano de Segurança da Água financiado pelo Ministério da Saúde, EPA - United States Environmental Protection Agency e CDC - Centers for Disease Control and Prevention;

À The Coca Cola Company, pela concessão de bolsa de mestrado, no âmbito de seu programa Water Quality Support Program Academic Partnerships;

Aos meus familiares.

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE QUADROS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 Introdução.....	1
2 Revisão de literatura	5
2.1 Avaliação de risco	5
2.1.1 Aspectos conceituais.....	5
2.1.2 Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM).....	8
2.1.2.1 AQRM - aspectos conceituais	8
2.1.2.2 AQRM aplicada à qualidade de água para consumo humano.....	9
2.2 Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle.....	10
2.2.1 APPCC -aspectos conceituais.....	10
2.2.2 APPCC aplicada ao abastecimento de água para consumo humano	15
2.3 Planos de Segurança da Água	19
2.4 Processos convencionais de tratamento da água.....	24
2.4.1 Descrição das etapas do tratamento convencional.....	24
2.4.2 Remoção de organismos patogênicos por meio do tratamento da água	27
2.4.2.1 Mecanismos de remoção dos principais organismos patogênicos de interesse para o abastecimento de água para consumo humano.....	27
2.4.2.2 Eficiência de remoção das técnicas de tratamento de água.....	28
2.4.3 Indicadores da eficiência do tratamento	30
2.4.3.1 Indicadores da eficiência da desinfecção	30

2.4.3.2 Indicadores da remoção de cistos de Giardia e de oocistos de Cryptosporidium por filtração 32

3	Objetivo	34
4	Material e métodos	35
4.1	Etapas Preliminares	35
4.1.1	Descrição geral da área do estudo	35
4.1.2	Descrição das estações de tratamento de água.....	36
4.1.3	Avaliação de desempenho das estações de tratamento de água	42
4.2	Identificação de perigos	43
4.3	Identificação de pontos de controle, pontos críticos de controle e pontos de atenção....	44
4.4	Estabelecimento dos limites críticos e operacionais	47
5	Resultados e discussão	48
5.1	Etapas preliminares – diagrama de fluxo do tratamento e avaliação de desempenho das ETA	48
5.1.1	Avaliação de desempenho da ETA UFV.....	49
5.1.2	Avaliação de desempenho da ETA SAAE I.....	57
5.1.3	Avaliação de desempenho da ETA SAAE II.....	61
5.2	Princípio 1: Identificação de perigos.....	69
5.3	Princípio 2: Identificação de Pontos Críticos de Controle.....	71
5.4	Princípio 3: Estabelecimento de limites críticos	84
5.4.1	Limites operacionais - ETA UFV	85
5.4.2	Limites operacionais - ETA SAAE I.....	89
5.4.3	Limites operacionais ETA SAAE II.....	94
5.5	Princípio 4: Estabelecimento do monitoramento dos Pontos Críticos de Controle	101
5.6	Princípio 5: Estabelecimento de medidas corretivas.....	104
5.7	Princípio 6: Estabelecimento de processos de verificação do sistema APPCC.....	106

5.8	Princípio 7: Documentação de todos os procedimentos e registros relacionados aos princípios e sua aplicação	107
6	Conclusões e recomendações	108
7	Referências bibliográficas	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Árvore de decisão para identificação de pontos críticos de controle no sistema APPCC	12
Figura 2 Diagrama de fluxo e identificação de pontos críticos de controle (PCC) em sistemas de abastecimento de água para consumo humano supridos por manancial superficial e com processo convencional de tratamento	16
Figura 3 Diagrama de fluxo de processo convencional de tratamento de água	17
Figura 4 Etapas para o desenvolvimento de um Plano de Segurança da Água.....	20
Figura 5 Exemplo de matriz semiquantitativa de priorização de risco.....	23
Figura 6 Ilustração esquemática das etapas do tratamento convencional da água	24
Figura 7 Vista geral das bacias do Ribeirão São Bartolomeu e do Rio Turvo Sujo nos limites do município de Viçosa e localização das estações de tratamento de água.	38
Figura 8 Vista geral e das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração da ETA UFV	39
Figura 9 Vista geral e das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração da ETA SAAE I.....	40
Figura 10 Vista geral e das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração da ETA SAAE II	41
Figura 11 Árvore de decisão para identificação de PCC proposta por Vieira e Morais (2005)	45
Figura 12 Árvore de decisão para identificação de PCC adaptada para aplicação em sistemas de abastecimento de água	46
Figura 13 Diagrama de fluxo operacional do tratamento de água em ciclo completo	48
Figura 15 Distribuição de vazão na borda vertedoura do decantador da ETA UFV, antes e após a limpeza	54
Figura 16 Detalhes da coleta de água decantada nas bordas vertedouras do decantador da ETA UFV, regiões 4 (A) e 2 (B).	55
Figura 17: Turbidez da água de lavagem dos filtros, ETA UFV.....	56
Figura 18 Turbidez da água filtrada após a lavagem, ETA UFV	56
Figura 19 Resultado do ensaio com traçador do floculador da ETA SAAE I,.....	58
Figura 20 Avaliação do nivelamento das bordas vertedouras da ETA SAAE I.....	59
Figura 21 Turbidez da água de lavagem (gráficos à esquerda) e da água filtrada (gráficos à direita) após as operações de limpeza, ETA SAAE I.	60
Figura 22 Resultados dos testes de jarros para a determinação do tempo e dos gradientes de velocidade de floculação, ETA SAAE II.....	62
Figura 23 Resultados do ensaio com traçador no floculador da ETA SAAE II, avaliação pelo método Wolf-Resnick.....	65

Figura 24 Resultado dos ensaios com traçador nos decantadores 1 e 2 da ETA SAAE II, avaliação pelo método convencional.....	66
Figura 25 Detalhe de uma das passagens da canaleta de distribuição de água flocculada para o decantador 1, ETA SAAE II.....	67
Figura 26 Turbidez da água de lavagem durante a limpeza do Filtro 1, ETA SAAE II.....	68
Figura 27 Turbidez da água filtrada após a lavagem do Filtro 1, ETA SAAE II.....	68
Figura 28 Turbidez da água de lavagem durante a limpeza do Filtro 2, ETA SAAE II.....	68
Figura 29 Turbidez da água filtrada após a lavagem do Filtro 2, ETA SAAE II.....	68
Figura 30 Identificação de coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> no ponto de captação dos sistemas ETA UFV, ETA SAAE I e II.....	69
Figura 31 Identificação de <i>Giardia</i> spp. e <i>Cryptosporidium</i> spp no ponto de captação dos sistemas ETA UFV, ETA SAAE I e II.....	70
Figura 32 Diagrama de fluxo de identificação de pontos críticos de controle ETA SAAE I e II e UFV.....	76
Figura 33 Diagrama de fluxo de identificação de pontos de controle e pontos críticos de controle.....	83
Figura 34 Diagrama de coagulação da água bruta do Ribeirão São Bartolomeu (ETA UFV e ETA SAAE I), valores de turbidez da água decantada em ensaios de jarros.....	85
Figura 35 Frequência acumulada para turbidez da água filtrada, ETA UFV.....	86
Figura 36 Classes de turbidez da água filtrada x turbidez da água decantada, ETA UFV.....	86
Figura 37 Frequência acumulada para turbidez da água decantada, ETA UFV.....	87
Figura 38 Classes de turbidez da água decantada x turbidez da água bruta, ETA UFV.....	87
Figura 39 Frequência acumulada para turbidez da água bruta, ETA UFV.....	88
Figura 40 Valores médios de turbidez e de concentração de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. no ponto de captação de água e na ETA UFV.....	88
Figura 41 Valores médios de turbidez e de cistos de <i>Giardia</i> spp. no ponto de captação de água e na ETA UFV.....	88
Figura 42 Concentração de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. e valores turbidez, efluente do filtro 1, ETA UFV.....	89
Figura 43 Concentração de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. e valores turbidez, efluente do filtro 2, ETA UFV.....	89
Figura 44 Frequência acumulada para turbidez da água filtrada, ETA SAAE I.....	90
Figura 45 Classes de turbidez da água filtrada x turbidez da água decantada, ETA SAAE I.....	90
Figura 46 Frequência acumulada para turbidez da água decantada, ETA SAAE I.....	91
Figura 47 Classes de turbidez da água decantada x turbidez da água bruta, ETA SAAE I.....	91
Figura 48 Frequência acumulada para turbidez da água bruta, ETA SAAE I.....	92
Figura 49 Valores médios de turbidez e de concentração de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. no ponto de captação de água e na ETA SAAE I.....	92

Figura 50 Valores médios de turbidez e de concentração de cistos de <i>Giardia</i> spp. no ponto de captação de água e na ETA SAAE I.....	92
Figura 51 Concentração de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. e valores turbidez, efluente do filtro 1, ETA SAAE I.....	93
Figura 52 Concentração de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. e valores turbidez, efluente do filtro 2, ETA SAAE I.....	93
Figura 53 Concentração de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. e valores turbidez, efluente do filtro 3, ETA SAAE I.....	93
Figura 54 Concentração de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. e valores turbidez, efluente do filtro 4, ETA SAAE I.....	93
Figura 55 Frequência acumulada para turbidez da água filtrada, ETA SAAE II.....	94
Figura 56 Classes de turbidez da água filtrada x turbidez da água bruta, ETA SAAE II	95
Figura 57 Frequência acumulada para água bruta, ETA SAAE II	95
Figura 58 Diagrama de coagulação da água bruta do Rio Turvo (ETA SAAE II), valores de turbidez da água decantada em ensaios de jarros	96
Figura 59 Estatística descritiva dos valores de pH da água bruta, ETA SAAE II.....	97
Figura 60 Estatística descritiva das doses de coagulante aplicada na ETA SAAE II	97
Figura 61 Acúmulo excessivo de lodo no decantador da ETA SAAE II (a marca em vermelho mostra o nível atingido pelo lodo)-	97
Figura 62 Concentração de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. e valores turbidez, efluente do filtro 1, ETA SAAE II	98
Figura 63 Concentração de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. e <i>Giardia</i> spp. e valores turbidez, efluente do filtro 2, ETA SAAE II	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Resultados dos ensaios de jarros para determinação dos valores ótimos de dose e concentração do coagulante (sulfato de alumínio) para turbidez da água bruta típica de períodos de chuvas no Ribeirão São Bartolomeu, ETA UFV e ETA SAAE I.....	49
Tabela 2 Resultados dos ensaios de jarros para determinação dos valores ótimos de gradientes de velocidade e tempo de floculação para turbidez da água bruta típica de períodos de chuvas no Ribeirão São Bartolomeu, ETA UFV e ETA SAAE I	50
Tabela 3 Parâmetros ótimos de coagulação, floculação e decantação obtidos dos ensaios de tratabilidade com a água bruta do Ribeirão São Bartolomeu para as ETA UFV e SAAE I.....	51
Tabela 4 Características hidrodinâmicas do floculador e do decantador da ETA UFV	52
Tabela 5 Gradientes de velocidade do floculador para vazão de 50 L.s-1,ETA UFV	53
Tabela 6 Características do leito filtrante dos filtros da ETA UFV	55
Tabela 7 Caracterização das carreiras de filtração de acordo com os diferentes procedimentos de lavagem dos filtros - ETA UFV.....	57
Tabela 8 Características hidrodinâmicas do floculador e do decantador da ETA SAAE I.....	58
Tabela 9 Avaliação das carreiras de filtração da ETA SAAE I.....	61
Tabela 10 Resultados dos ensaios de jarros para determinação do par de valores dose x concentração de coagulante para turbidez da água bruta típica de períodos de seca no Rio Turvo Sujo	62
Tabela 11 Resultados dos ensaios de jarros para determinação dos gradientes de velocidade e do tempo de floculação para turbidez da água bruta típica de períodos de seca no Rio Turvo Sujo.....	63
Tabela 12 Parâmetros ótimos obtidos dos ensaios de tratabilidade com a água bruta do Rio Turvo Sujo para a ETA SAAE II.....	64
Tabela 13 Principais dimensões e parâmetros da floculação da ETA SAAE II.....	65
Tabela 14 Pesquisa de protozoários realizada no efluente dos filtros – valores médios	72
Tabela 15 Cálculo da qualidade microbiológica da água pós filtração considerando risco de infecção anual aceitável de 1×10^{-4}	72

Tabela 16 Avaliação da turbidez pós filtração para verificação do o atendimento à recomendação da Portaria MS nº 518/2004	73
Tabela 17 Avaliação de coliformes totais pós desinfecção para verificação do o atendimento à Portaria MS nº 518/2004	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Características dos perigos microbiológicos e químicos que influenciam a aplicação da metodologia de avaliação de risco	7
Quadro 2 Exemplos de parâmetros de monitoramento em pontos críticos de controle em estações de tratamento de água.....	23
Quadro 3 Remoção de bactérias, vírus e protozoários nas etapas do tratamento da água em ciclo completo	29
Quadro 4 Programa de controle de qualidade da água: pontos de coleta de amostras, frequência de monitoramento e parâmetros analisados.....	43
Quadro 5 Sequência de respostas para determinação de pontos críticos de controle, segundo a árvore de decisão proposta por Vieira, 2005 – Bactérias e Vírus (ETA SAAE I, SAAE II e UFV).....	74
Quadro 6 Sequência de respostas para determinação de pontos críticos de controle, segundo a árvore de decisão proposta por Vieira, 2005 – Protozoários (ETA SAAE I e II e UFV)	75
Quadro 7 Sequência de respostas para determinação de pontos críticos de controle – Bactérias e Vírus (ETA SAAE I e II e UFV).....	81
Quadro 8 Sequência de respostas para determinação de pontos críticos de controle – Protozoários (ETA SAAE I e II e UFV).....	82
Quadro 9 Limites críticos e operacionais para os PCCs e PCs – Bactérias e Vírus (ETA SAAE I e II e UFV)	99
Quadro 10 Limites críticos e operacionais para os PCCs e PCs – Protozoários (ETA SAAE I e II e UFV)	100
Quadro 11 Monitoramento dos pontos críticos de controle e pontos de controle – Bactérias e Vírus (ETA SAAE I e II e UFV).....	102
Quadro 12 Monitoramento dos pontos críticos de controle e pontos de controle – Protozoários (ETA SAAE I e II e UFV).....	103
Quadro 13 Medidas corretivas Pontos Críticos de Controle para os perigos identificados ..	105

RESUMO

OLIVEIRA, Daniel Cobucci de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2010. **Aplicação da Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle no tratamento de água para consumo humano.** Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos. Co-orientadores: Paula Dias Bevilacqua e Paulo Sérgio de Arruda Pinto.

Este trabalho visa discutir a aplicação da metodologia de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle em estações de tratamento de água para consumo humano, por meio de estudos de caso em estações de tratamento de água para consumo humano que operam com ciclo completo, quais sejam: ETA UFV - responsável pelo abastecimento de água do 'campus' da Universidade Federal de Viçosa e ETA SAAE I e II, responsáveis pelo abastecimento de água da área urbana do município de Viçosa - MG. A dissertação foi desenvolvida seguindo, basicamente, a sequência de passos para implantação do sistema APPCC, ou seja: (i) etapas preliminares; (ii) identificação de perigos; (iii) identificação de pontos críticos de controle; (iv) estabelecimento de limites críticos; (v) definição do monitoramento dos PCC; (vi) estabelecimento das medidas corretivas. Vale ressaltar que o presente trabalho restringe-se à avaliação de perigos microbiológicos. Como resultado foram identificados como perigos microbiológicos as bactérias, os vírus e os protozoários, que são os principais perigos presentes nos mananciais e estações de tratamento de água. Sendo que neste trabalho foram monitorados e detectados nos pontos de captação dos mananciais que abastecem os sistemas em estudo a presença de *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., coliformes totais e *Escherichia coli*. Para identificação dos pontos críticos de controle foi aplicada a árvore de decisão proposta por Vieira 2005. Considerando os resultados obtidos e as diferenças entre o trabalho de Vieira e este viu-se a necessidade de proposição de adaptações à árvore de decisão. Neste sentido foram incorporados os conceitos de pontos de atenção e pontos de controle, além dos tradicionais pontos críticos de controle. Com as adaptações na árvore de decisão foram identificados como: (i) PCC para o perigo protozoários as etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração, demonstrando que as estações em estudo necessitam de adequações; (ii) PCC para o perigo bactérias/vírus a etapa de desinfecção, sendo as etapas que antecedem a desinfecção consideradas pontos de controle. Os limites críticos foram estabelecidos com base no padrão de potabilidade vigente. Foram estabelecidos também limites operacionais através da avaliação de desempenho das estações e banco de dados do monitoramento de rotina das mesmas.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Daniel Cobucci de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2010. **Application of Hazard Analysis and Critical Control Points to drinking water treatment.** Advisor: Rafael Kopschitz Xavier Bastos. Co-advisors: Paula Dias Bevilacqua and Paulo Sérgio de Arruda Pinto.

This dissertation aims to discuss the application of the Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP) methodology in water treatment plants for human consumption through case studies of full cycle water treatment plants, namely: ETA UFV, which is responsible for the water supply of the Federal University of Viçosa campus, and ETA SAAE I e II, which are responsible for the water supply of the urban area of the municipality of Viçosa, MG. The dissertation was developed by basically following the implementation steps of the HACCP system: (i) preliminary stages; (ii) hazard identification; (iii) identification of critical control points (CCP); (iv) establishment of critical limits; (v) establishment of critical control point monitoring; (vi) establishment of corrective measures. The scope of the present study is restricted to microbiological hazards. The microbiological hazards were identified as being bacteria, viruses, and protozoa, which are the main hazards found in water sources and water treatment plants. The presence of *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., total coliform and *Escherichia coli* were detected and monitored at the sources that feed the systems under investigation. In order to identify the critical control points, the decision tree proposed by Vieira 2005 was applied. Considering the results obtained and the differences between this study and Vieira's, adaptations to the decision tree were found necessary. As a result, in addition to the traditional critical control points, the concepts of attention points and control points were incorporated. With the adaptations to the decision tree, the following points were identified: (i) CCP for protozoa hazard were the coagulation, flocculation, decantation, and filtration stages; (ii) CCP for bacterial/viral hazards was the disinfection stage, while the stages preceding disinfection were considered as control points. The critical limits were established based on the current potability standards. Operational limits were also established through performance evaluations of the plants and the routine monitoring databases of these plants.

1 INTRODUÇÃO

O controle de qualidade da água para consumo humano tem passado por uma revisão de paradigmas, deslocando o foco principal do controle laboratorial do produto final (água tratada) para a gestão preventiva de risco. Em parte, isso se deve às reconhecidas limitações do controle laboratorial, como por exemplo: de ordem analítica; inexistência de indicadores da qualidade da água de emprego universal, limitações inerentes ao princípio amostral e dificuldade ou mesmo impossibilidade de monitoramento em tempo real (BASTOS *et al.*, 2001; BASTOS *et al.*, 2009).

Tal evolução se torna evidente nas três edições mais recentes das Diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) sobre qualidade da água para consumo humano. As duas primeiras edições (WHO, 1984; WHO, 1993) tinham como foco principal limites máximos de contaminantes a serem observados na água (ou seja, o padrão de potabilidade) e o respectivo controle (programas de monitoramento por meio do controle laboratorial). Já na segunda edição das Diretrizes da OMS, mas principalmente na terceira (WHO, 2006), passa a ganhar destaque o citado enfoque preventivo de gestão de risco, aplicado de forma abrangente e integrada, desde a captação até o consumo, como forma mais efetiva de garantia da segurança da qualidade da água para consumo humano. Tal abordagem, na terceira edição das Diretrizes da OMS, recebe a denominação de Planos de Segurança da Água (WHO, 2004).

É interessante observar a própria evolução de terminologia – ‘segurança’, ao invés de potabilidade da água. Na definição da OMS, 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). Ou seja, introduz-se conceito mais abrangente que potabilidade, se água potável for entendida apenas como aquela que atenda aos padrões numéricos de qualidade.

É interessante também observar que a Portaria do Ministério da Saúde nº 518 de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004), que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, mesmo antecedendo a terceira edição das Diretrizes da OMS¹, supera a

¹ A Portaria MS nº 518 de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004) é, essencialmente, uma reedição da Portaria MS nº 1469 de 29 de dezembro de 2000 (BRASIL, 2001), com pequenas alterações relacionadas à transferência de competências da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) para a Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS) e à prorrogação de prazos para o cumprimento de alguns quesitos.

abordagem restrita ao mero atendimento ao padrão de potabilidade e incorpora o enfoque de gestão preventiva de risco, por exemplo, nas disposições destacadas a seguir.

Art. 9.º Ao(s) responsável (is) pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

(...)

II - manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, por meio de:

a) controle operacional das unidades de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição

(...)

d) análises laboratoriais da água, em amostras provenientes das diversas partes que compõem o sistema de abastecimento

(...)

III - manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída

Heller *et al.* (2005) chegam a sugerir que “a Portaria 1469/2000 teve a capacidade de antecipar a tendência a ser internacionalmente proposta para a qualidade da água para consumo humano”, pois nos fundamentos que nortearam a elaboração daquela portaria lê-se: *a adoção de limites de presença de substâncias e organismos potencialmente nocivos à saúde humana na água consumida, embora necessária, não é suficiente para garantir a desejável proteção à saúde*”.

Entretanto, como destacado por Bastos *et al.* (2007), embora a Portaria 518/2004 incorpore elementos de boas práticas em abastecimento de água e os princípios de análise de risco, isso não se apresenta sistematizado o suficiente na legislação de forma que possa ser traduzido em uma ferramenta metodológica de pronta utilização pelos responsáveis pelos serviços de abastecimento de água. Nesse sentido, ainda de acordo com Bastos *et al.* (2007), “algumas

disposições da Portaria 518/2004 aguardavam regulamentação complementar, o que pode ser suprido com a recente sistematização metodológica dos Planos de Segurança da Água”.

Planos de Segurança da Água (PSA) são 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, promovem um sistema estruturado e organizado visando minimizar a ocorrência de falhas e ainda permitem o desenvolvimento de planos de contingência para responder às falhas no sistema ou eventos imprevistos de perigos (WHO, 2005; WHO, 2006). Os elementos básicos do PSA estão baseados nos princípios e conceitos de múltiplas barreiras, Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), avaliação e gerenciamento de risco e gestão de qualidade (normas de certificação ISO) (BARTRAM *et al.*, 2001; AS/NZS, 2004; WHO, 2005; WHO, 2006)

A metodologia de APPCC apresenta abordagem científica, racional e sistemática para identificação, avaliação e controle de riscos durante a produção, transformação, fabricação, preparo e consumo de alimentos de forma segura. A metodologia deve ser aplicada em toda a cadeia alimentar, desde o produtor primário até o consumidor final e sua implementação deve ser guiada por evidências científicas de risco à saúde humana (WHO, 1997).

No Brasil, a Portaria nº 1428/1993 do Ministério da Saúde, que aprova o Regulamento Técnico para Inspeção Sanitária de Alimentos, incorpora os princípios de APPCC para avaliação de processos, meios, instalações e controles utilizados na produção, armazenamento, transporte, distribuição, comercialização e consumo de alimentos (BRASIL, 1993).

Entretanto, o processo de produção de água para consumo humano se diferencia do de alimentos em alguns aspectos-chave, tais como: (i) a ‘matéria prima’ nem sempre é passível de controle de qualidade rigoroso, pois, por mais que se tenha cuidado na proteção dos mananciais, estes sempre poderão estar sujeitos a interferências e impactos naturais ou antrópicos; (ii) em geral, o abastecimento de um sistema fica dependente de apenas um ou alguns poucos fornecedores (mananciais), enquanto na indústria alimentícia o empresário pode estabelecer padrões de qualidade, impor aos fornecedores tais requisitos e contar com vários fornecedores de regiões diferentes; e (iii) em tese, na indústria de alimentos, o tempo que um produto industrializado leva para ser consumido após sua produção facilita ações de

intervenção caso seja detectada alguma inconformidade; porém, no caso da água para consumo humano, ações corretivas podem ser dificultadas pelos fatos de que a produção e a distribuição ocorrem quase simultaneamente e que nem todos os parâmetros indicadores da qualidade da água podem ser determinados de imediato (por exemplo, os parâmetros microbiológicos).

Não obstante, a literatura internacional registra vários trabalhos de aplicação da metodologia APPCC em sistemas de abastecimento de água para consumo humano, como, por exemplo: Havelaar (1994), Dewettinck et al. (2001); Howard (2003); Jagals e Jagals, (2004), Kuslikis e Branco, (2004), Stevens et al. (2004), Smith (2004), Westrell et al. (2004), Gunnarsdottir e Gissurason (2006); no Brasil, os exemplos são ainda escassos.

Braga (2007) desenvolveu estudo de caso no sistema de abastecimento de água da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O presente trabalho, de certa forma, amplia a abordagem apresentada por Braga, não somente por envolver três estações de tratamento de água (a mesma do estudo de Braga - a da UFV, e duas ETA do sistema de abastecimento do município de Viçosa), mas também por procurar problematizar a aplicação da metodologia APPCC ao caso específico da produção de água para consumo humano.

A estrutura desta dissertação inclui um capítulo de revisão de literatura, onde se procurou explorar aspectos conceituais das metodologias de avaliação de risco e, mais especificamente, de APPCC, além de outros tópicos utilizados neste estudo de caso, como, por exemplo, a remoção de contaminantes por meio de processos convencionais de tratamento de água. No capítulo seguinte optou-se por apresentar os resultados e discussão em itens distintos, de acordo com os passos típicos da metodologia APPCC. Por fim, de forma consistente com o próprio entendimento de que os PSA têm a metodologia APPCC como um de seus alicerces, cumpre registrar que este trabalho foi desenvolvido no âmbito de um projeto de pesquisa mais amplo sobre PSA, desenvolvido na UFV.

Cabe esclarecer que o presente trabalho restringe-se à avaliação de perigos microbiológicos, ou seja, os perigos físicos e químicos não foram abordados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Avaliação de risco

2.1.1 Aspectos conceituais

Avaliação de Risco é uma metodologia que permite a caracterização e estimativa, quantitativa ou qualitativa, de efeitos potencialmente adversos à saúde de indivíduos ou populações, em determinado prazo e cenário de exposição a um dado perigo. Envolve as etapas de identificação de perigos, avaliação da dose-resposta, avaliação (ou caracterização) da exposição e caracterização do risco. Essa metodologia faz parte de uma abordagem maior, denominada Análise de Risco, a qual compreende dois outros procedimentos desenvolvidos normalmente de forma sequencial e integrada com a etapa de Avaliação de Risco: Gestão (ou gerenciamento) de Risco e Comunicação de Risco (HAAS et al., 1999; FAO/WHO, 2005).

Dado que a literatura e diferentes áreas do conhecimento por vezes empregam alguns desses termos com conotações um pouco distintas, a seguir são apresentadas as definições assumidas neste trabalho, as quais têm uso consagrado no campo da higiene alimentar (CODEX, 2003) e, mais especificamente, nas áreas da saúde ambiental e do abastecimento de água para consumo humano (HAAS *et al.*, 1999; AS/NZS, 2004; WHO, 2006).

Identificação do perigo: compreende a identificação do agente envolvido (biológico, químico ou físico), a avaliação do conhecimento disponível e a descrição de efeitos adversos à saúde associados ao agente. Em geral, os perigos químicos são avaliados levando em consideração exposição de longo prazo e efeitos crônicos; os perigos microbiológicos estão relacionados com exposição de curto prazo e efeitos agudos.

Avaliação da dose-reposta: avaliação do potencial que o agente tem de causar resposta (efeito adverso à saúde) em diversos níveis de exposição (doses, no caso do consumo de água, via ingestão). Na maioria das vezes são utilizados resultados de estudos experimentais (com humanos ou animais), em outros casos são utilizadas informações de estudos epidemiológicos. Em geral, esses resultados são expressos por meio de funções matemáticas.

Avaliação da exposição: compreende a determinação do tamanho e a caracterização da população exposta, bem como a magnitude, a frequência, a duração e as prováveis vias da exposição.

Caracterização do risco: integra as informações das etapas de identificação do perigo, avaliação da dose-resposta e da exposição, fornecendo estimativas da magnitude do risco,

qualitativas ou quantitativas, incorporando variabilidades e incertezas que cerquem todo o processo de avaliação de risco.

Gestão de risco: processo sistemático de controle de risco, ponderando alternativas para a implementação de ações, considerando aspectos científicos, tecnológicos, sociais, econômicos e políticos. Envolve inevitavelmente tomada de decisões e juízo de valor em termos de tolerabilidade e razoabilidade, em relação a custos de aspectos de saúde pública.

Comunicação de risco: troca de informações e de opiniões, que deve ocorrer durante toda o processo de Gerenciamento de Risco, entre gestores, avaliadores, consumidores, indústria, comunidade científica e outros interessados, a respeito dos perigos, riscos, dos resultados da avaliação e sobre as decisões do gerenciamento.

Risco: probabilidade da ocorrência e magnitude de efeito adverso à saúde de um indivíduo ou população em determinado prazo e cenário de exposição a um dado perigo.

Perigo (ou agente perigoso): agente biológico, químico, físico ou radiológico com capacidade de provocar dano à saúde.

Evento perigoso: Situação que possa levar à presença de perigos

Enquanto risco está associado à probabilidade de ocorrência de um efeito, perigo é uma característica intrínseca de uma substância ou de uma situação. Ampliando o conceito de perigo, ‘situações’ que possam levar a introduzir perigos caracterizam os ‘eventos perigosos’ (HAAS *et al.* 1999). No caso do abastecimento de água para consumo humano, como exemplificado por Bastos *et al.* (2009), a presença de organismos patogênicos ou substâncias químicas na água para consumo humano seria exemplo de um perigo. O consumo da água (exposição) pode levar à ocorrência de efeitos adversos na população consumidora, significando o risco, o qual pode ser quantificado e expresso em termos de probabilidade. A existência de exploração agrícola na bacia de contribuição do manancial, a descarga de esgotos sanitários ou efluentes de agroindústrias no manancial de água bruta, falhas no tratamento da água e rupturas na rede de distribuição, são exemplos de eventos perigosos.

Segundo FAO, WHO (2005) a metodologia de Avaliação de Risco pode apresentar variantes, dependendo do tipo de perigo (biológico, químico ou físico), do cenário (por exemplo, se o perigo é um agente conhecido emergente, se novas tecnologias de produção estão sendo usadas), do tempo disponível para a avaliação e dos recursos disponíveis, conforme

apresentado no Quadro 1, formulado originalmente para alimentos em geral e adaptado para o caso específico do abastecimento de água para consumo humano.

O risco, acima definido como a probabilidade de um evento adverso ocorrer e suas consequências, poderá ser apenas identificado e caracterizado, e expresso, portanto, em termos qualitativos, ou poderá ser quantificado, sendo expresso em termos numéricos. No segundo caso, trata-se da Avaliação Quantitativa de Risco (AQR), Químico (AQRQ) ou Microbiológico (AQRM). No desenvolvimento desse capítulo, particular atenção será dada à AQRM e seu potencial de aplicação ao abastecimento de água para consumo humano.

Quadro 1 Características dos perigos microbiológicos e químicos que influenciam a aplicação da metodologia de avaliação de risco

Microbiológicos	Químicos
A contaminação pode ocorrer em diversos pontos, desde a produção até o consumo (ou desde o manancial de abastecimento até os pontos de consumo).	Normalmente entram em contato com o alimento cru ou ingredientes, ou durante determinadas etapas do processamento. O tratamento da água envolve a adição ou a geração de produtos químicos.
A prevalência e concentração do agente variam ao longo da cadeia de produção. A concentração dos patógenos pode aumentar ou diminuir devido à multiplicação ou inativação dos mesmos.	Após a introdução no alimento, em geral, não há mudanças significativas na concentração.
A presença do agente no alimento não é homogênea. Em amostras ambientais, em geral, os microrganismos não estão distribuídos de forma uniforme.	Presença homogênea, ou seja, os compostos químicos encontram-se dissolvidos no meio.
O transporte no meio ambiente, bem como a remoção por processos de tratamento de água, difere entre os vários microrganismos.	O transporte no meio ambiente, bem como a remoção por processos de tratamento de água, também difere entre as várias substâncias químicas. A remoção de substâncias químicas pode ser mais difícil, ao menos quando considerados os processos convencionais de tratamento de água.
Número elevado de patógenos e alta variabilidade na resposta do hospedeiro. Elevada variação na suscetibilidade, por exemplo com o desenvolvimento de imunidade, ou entre grupos populacionais particularmente mais susceptíveis (ex.: crianças, idosos, imunocomprometidos).	Em geral, a toxicidade do agente é invariável entre indivíduos, embora possa haver grupos populacionais mais susceptíveis.
Frequentemente, a manifestação do efeito nocivo tem curso agudo, após exposição única.	Os efeitos nocivos podem ter manifestação aguda, porém usualmente o curso é crônico.
As doenças infecciosas são transmissíveis	As intoxicações não são transmissíveis.

Fonte: adaptado de FAO, WHO (2005)

2.1.2 Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM)

2.1.2.1 AQRM - aspectos conceituais

Haas *et al.* (1999) definem Análise Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) como a aplicação dos princípios da avaliação dos riscos para estimar as consequências da exposição a microrganismos patogênicos, ou seja, a magnitude do risco expresso em termos probabilísticos.

Na etapa de identificação de perigos, naturalmente, devem ser considerados todos os patógenos possíveis de ocorrer. Entretanto, como discutido adiante, de forma aplicada ao abastecimento de água para consumo humano, se pode recorrer a ‘organismos referência’, no entendimento de que o controle desses asseguraria o dos demais.

Para a avaliação da dose-resposta, resultados de estudos experimentais indicam o emprego dos modelos β -Poisson (Equação 1) e exponencial (Equação 2), para determinar a probabilidade de infecção decorrente da exposição a, respectivamente, bactérias e vírus, e protozoários (HAAS *et al.*, 1999).

$$P_i(d) = 1 - (1 + d/\beta)^{-\alpha} \quad (1)$$

$$P_i(d) = 1 - \exp(-d/k) \quad (2)$$

Onde:

$P_i(d)$ = probabilidade de infecção por evento de exposição à dose d ;

d = número de organismos ingeridos por exposição (dose);

β, α, k = parâmetros característicos da interação agente-hospedeiro.

Para a caracterização do risco, costuma-se estimar o risco associado a múltiplas exposições à mesma dose d (por exemplo, risco anual), de acordo com a Equação 3.

$$P_i(A) = 1 - [1 - P_i(d)]^n \quad (3)$$

Onde:

$P_i(A)$ = probabilidade de infecção decorrente de n exposições à dose (d). Para a estimativa do risco anual, $n = 365$. $P_i(A)$ pode também ser interpretado como o risco associado a um

período maior ou menor, por exemplo, o correspondente a m meses, sendo, então, n o número de exposições durante os m meses.

$P_i(d)$ = probabilidade de infecção para uma única exposição

2.1.2.2 *AQRM aplicada à qualidade de água para consumo humano*

Como referido anteriormente, na etapa de identificação de perigos é importante identificar os organismos patogênicos possíveis de serem transmitidos via abastecimento de água para consumo humano e, posteriormente, priorizá-los.

Vários organismos, dentre bactérias, vírus, protozoários e helmintos, têm importância associada ao abastecimento e consumo de água. Entretanto a transmissão de helmintos é, em geral, considerada menos importante do que por outros modos de transmissão, tais como a ingestão de alimentos ou o contato com solos contaminados (WHO, 2006). Dentre as bactérias, vírus e protozoários, usualmente têm sido priorizados, respectivamente, *Campylobacter*, rotavírus e *Cryptosporidium*, devido a fatores tais como: importância epidemiológica, infectividade e, ou dificuldades de remoção por meio de processos de tratamento (WHO, 2006). Porém, naturalmente, a priorização dos agentes microbianos deverá levar em consideração especificidades locais, como, por exemplo, a ocorrência nos mananciais de abastecimento. De toda forma, os organismos acima referidos foram as referências utilizadas para a formulação das Diretrizes da OMS para a qualidade da água para consumo humano (WHO, 2006) e também o têm sido em estudos de AQRM aplicados ao abastecimento de água.

Modelos de AQRM envolvem modelos exposição e de dose-reposta. Na etapa de avaliação da exposição, fundamentalmente, o que se busca é a estimativa do número de organismos patogênicos ingeridos, por indivíduos ou populações, a cada evento de exposição ou em exposição continuada (por exemplo, ao longo de um ano). Assim, conhecida a concentração de determinado organismo na água e assumido um padrão de consumo diário de água ($L.d^{-1}$), pode-se estimar os riscos diários e anuais de infecção com o emprego das equações 1, 2 e 3. Inversamente, estabelecido um nível de risco tido tolerável², pode-se estimar a concentração

² Nos EUA, admite-se risco anual de infecção de 10^{-4} (1 caso em cada 10.000 indivíduos em um ano ou um risco de 1:10.000 por pessoa por ano) para os diversos organismos patogênicos transmissíveis via abastecimento de água para consumo humano (HAAS *et al.*, 1999). As diretrizes da OMS encontram-se baseadas no conceito de ‘carga de doença’, medida pelo indicador ‘anos de vida perdidos ajustados por incapacidade’ (da sigla inglesa DALYs – *Disability Adjusted Life Years*), o qual permite a transformação de uma ‘incapacidade vivenciada’ (por

admissível de organismos patogênicos na água tratada e, por conseguinte, o grau de tratamento requerido.

Porém, como o monitoramento de patógenos na água tratada encontra dificuldades analíticas devido à baixa concentração desses organismos, pode-se recorrer ao monitoramento na água bruta, à estimativa de remoção por meio do tratamento e, por conseguinte, da concentração na água tratada. Esta é a base, por exemplo, da formulação das Diretrizes da OMS (WHO, 2006) e da norma dos Estados Unidos (EUA) de qualidade da água para consumo humano (USEPA, 2006).

2.2 Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle

2.2.1 APPCC -aspectos conceituais

A Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), do inglês *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP), é uma metodologia de avaliação e gerenciamento de risco, consagrada na indústria alimentícia e que surgiu a partir de dois eventos importantes. O primeiro se refere às teorias sobre a gestão da qualidade total desenvolvidas por W. E. Deming na década de 1950, consideradas cruciais para a reviravolta que ocorreu na qualidade dos produtos japoneses. O segundo momento, no final da década de 1950, se refere ao desenvolvimento do sistema APPCC propriamente dito pelo Programa Espacial Americano, que necessitava produzir alimentos inócuos para os primeiros voos tripulados sem a dependência exclusiva de amostragens e de análises dos produtos finais (FAO, 2002). A partir daí, o sistema se consolidou cada vez mais entre as indústrias americanas até que, no início da década de 1980, passou a ser recomendado pela *National Academy of Science* dos EUA, tendo sido posteriormente referendado pela Comissão *Codex Alimentarius* que, em 1993, reconheceu a importância da metodologia e passou a recomendar a sua aplicação nas indústrias de alimentos (WHO, 1993; WHO, 1995).

A APPCC se baseia em um sistema de engenharia conhecido como Análise de Modos de Falhas e Efeitos (*Failure Mode and Effect Analysis*), em que se observa, em cada etapa do processo, as falhas que podem ocorrer, suas causas prováveis e seus efeitos, para então estabelecer mecanismos de controle (OPAS, 2001).

exemplo, três dias com diarreia ou óbito devido à diarreia) em ‘anos de vida saudáveis perdidos’. A OMS assume como carga de doença tolerável 1×10^{-6} DALY por pessoa por ano (pppa), o que corresponde a níveis de risco toleráveis anuais de $7,7 \times 10^{-4}$ pppa para rotavírus, $3,1 \times 10^{-4}$ pppa para *Campylobacter* e $2,2 \times 10^{-3}$ pppa para *Cryptosporidium* (WHO, 2006).

De acordo com Vaz *et al.* (2000), o sistema APPCC resulta da aplicação do bom senso à princípios técnicos e científicos, através de uma reflexão sobre algumas questões como:

- Qual é o produto?
- Que perigos estão associados ao processo?
- Em que etapas do processo podem ocorrer?
- Qual o risco ao consumidor associado a estes perigos?
- Qual a gravidade dos perigos?
- Como é possível prevenir ou controlar esses perigos de forma a garantir a segurança dos consumidores.

O sistema APPCC está baseado em sete princípios fundamentais (FAO, 1998), descritos a seguir.

- **Princípio 1: Identificação de perigos**

Envolve a elaboração de um diagrama de fluxo do processo de produção do alimento, a identificação dos perigos, a avaliação da sua severidade e a identificação das fases do processo onde os perigos mais significativos podem ocorrer.

É um passo chave para o sucesso da aplicação da APPCC. Deve-se fazer uma avaliação de todas as etapas de produção, identificando aspectos fundamentais para a garantia da inocuidade, ou seja, quais perigos devem ser eliminados ou reduzidos para garantir a produção de um alimento seguro (CODEX, 2001).

- **Princípio 2: Determinação dos Pontos Críticos de Controle**

O controle é a medida necessária para assegurar e manter o cumprimento dos critérios estabelecidos na APPCC e pontos de controle são pontos, procedimentos, operações ou etapas nas quais o controle pode ser exercido ou aplicado. Pontos Críticos são caracterizados por situações ou locais nos quais os perigos identificados na etapa anterior podem estar presentes.

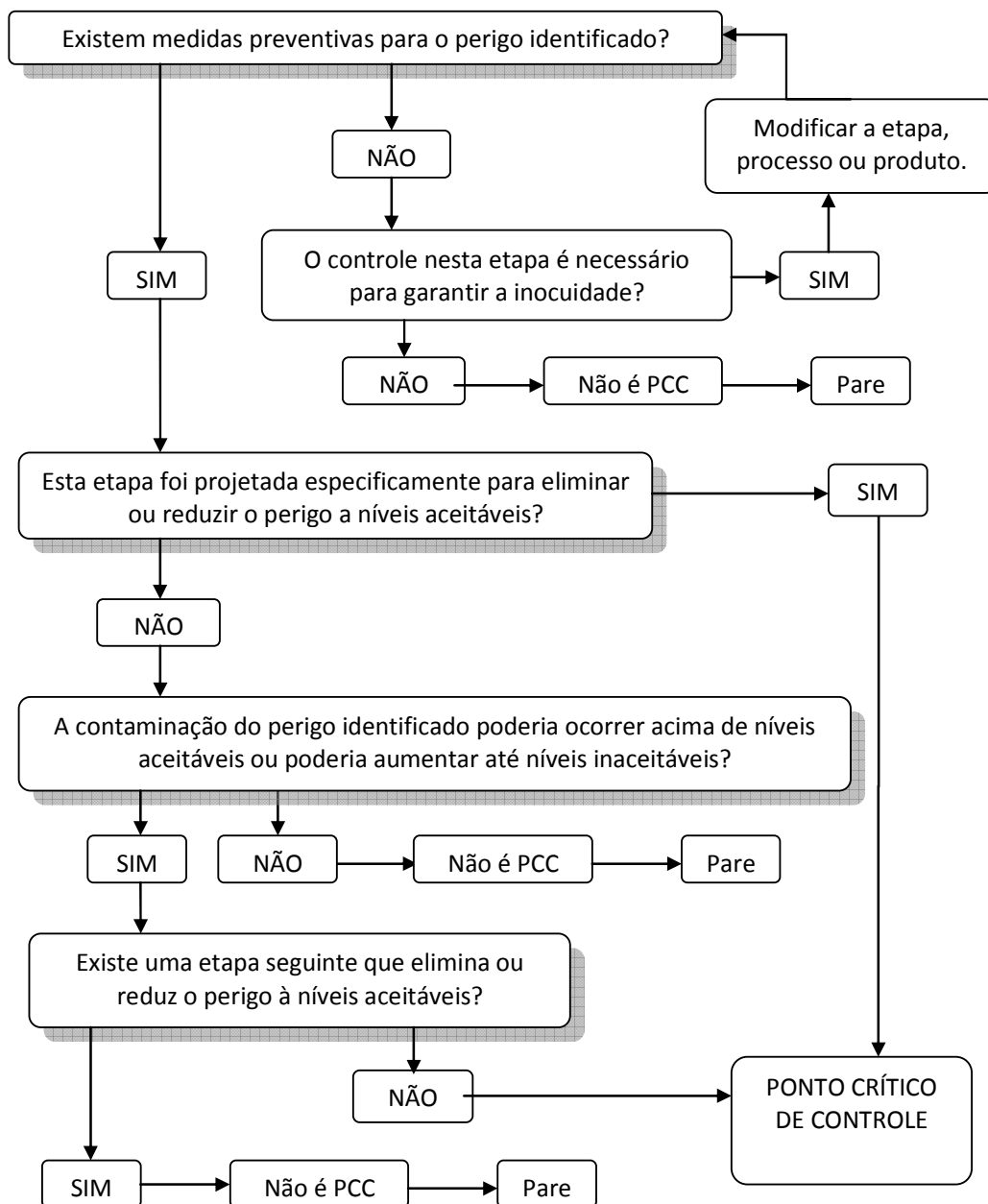


Figura 1 Árvore de decisão para identificação de pontos críticos de controle no sistema APPCC

Fonte: adaptado de Codex (2001)

Por sua vez, Pontos Críticos de Controle (PCC) se referem aos pontos do processo ou operação que devem ser supervisionados para possibilitar a eliminação do perigo ou a redução

do risco à níveis aceitáveis . A determinação dos PCC é realizada por meio da árvore de decisão (Figura 1).

Aos PCC devem ser associados limites críticos e programas de monitoramento, os quais devem se basear em parâmetros de fácil determinação e que possibilitem respostas ágeis. Quando isso se torna de difícil operacionalização, alguns autores preferem o termo ‘pontos críticos de atenção’ (PCA), ou seja, o ponto crítico é objeto de atenção e verificação, mas não por meio de monitoramento sistemático e contínuo (OPAS, 2001).

- **Princípio 3: Estabelecimento de limites críticos e de medidas preventivas**

Envolve a especificação de critérios, limites e tolerância que indicam se um determinado perigo está sob controle num dado PCC.

Limites críticos têm que ser mensuráveis, geralmente são parâmetros químicos, físicos ou microbiológicos e devem atender às exigências estabelecidas por órgãos governamentais, legislações, padrões da empresa, dados científicos e, ou dados operacionais.

No estabelecimento dos limites críticos, se deve tomar o cuidado de conhecer as limitações do processo, para que não sejam estabelecidos valores que a etapa de produção não consiga atingir – limite operacional. Os limites operacionais são, em geral, mais restritivos e estabelecidos em nível que é atingido antes que o limite crítico seja violado; isto é, devem evitar que os limites críticos sejam atingidos (OPAS, 2001). Na prática, os limites operacionais propiciam margem de segurança, servindo de alerta e permitindo maior tempo para ajustes de processo (OPAS, 2001).

Entretanto, antecedendo às ações corretivas, em todos os PCC deverão ser associadas medidas preventivas visando o controle dos perigos.

- **Princípio 4: Monitoramento dos Pontos Críticos de Controle**

O monitoramento é o ato de realizar uma sequência planejada de observações ou medidas de parâmetros de controle para avaliar se um perigo em determinado PCC está sob controle.

Segundo Almeida (1998), o monitoramento é utilizado fundamentalmente com dois propósitos. Em primeiro lugar, é essencial para assegurar a inocuidade dos alimentos. Se o monitoramento indica tendência para a perda de controle, isto é, se um limite operacional ou crítico é excedido, ações corretivas devem ser tomadas de formas à retornar o processo aos níveis anteriores, antes que ocorram desvios dos limites estabelecidos (críticos ou

operacionais). Segundo, o monitoramento gera um banco de dados que auxilia o gerenciamento do processo e a etapa de verificação (Princípio 7).

O monitoramento ideal deve fornecer respostas ágeis e que permitam ajustes no processo em tempo hábil. Quando não for possível monitorar um ponto crítico de maneira contínua, é necessário certificar que o intervalo entre observações é suficientemente confiável para que seja possível assegurar que o perigo se encontra sob controle. O registro de dados através de monitoramento contínuo ou amostragem com base estatística se presta a essa finalidade. (ALMEIDA, 1998).

- **Princípio 5: Estabelecimento de ações corretivas**

Medida corretiva é a ação a ser tomada quando os resultados do monitoramento dos PCC indicam perda do controle. Essas medidas devem assegurar que o PCC volte a garantir padrões aceitáveis, bem como prever destinação adequada para os produtos não conformes. Torna-se, portanto, clara a importância da adoção de limites operacionais, pois, ao atingir tais limites o produto ainda atenderia aos padrões de qualidade, evitando medidas extremas, por exemplo, o descarte.

- **Princípio 6: Documentação de todos os procedimentos e registros relacionados aos princípios e sua aplicação**

Todas as etapas e procedimentos do sistema APPCC devem ser documentados e arquivados, de forma a permitir fácil acesso e revisão periódica.

- **Princípio 7: Estabelecimento de processos de verificação do sistema APPCC**

A verificação e revisão do sistema APPCC objetiva demonstrar seu funcionamento adequado. Para isso podem ser utilizados testes complementares, amostragens aleatórias e a análise do banco de dados gerados pelo monitoramento. O sistema de gestão da APPCC deve ser atualizado em intervalos regulares ou quando necessário. A necessidade de revisão pode decorrer das seguintes situações (NBR 14900/2002):

- Em função de resultados de análise crítica;
- Procedimentos de verificação, incluindo auditorias internas ou externas, quando existirem, que indiquem inadequações ou não-conformidades;
- Inclusão de novo(s) produto(s) em uma linha ou grupo de produtos;
- Substituição de insumos, produtos ou serviços;
- Substituição de sistemas ou equipamentos de produção;

- Alterações nas premissas de produção, localização de equipamento ou em ambiente circunvizinho;
- Alterações nos programas de limpeza e desinfecção;
- Alterações na embalagem, armazenamento e sistemas de distribuição;
- Alterações no nível de qualificação do pessoal ou distribuição de responsabilidades;
- Antecipação a mudanças de hábitos de uso do consumidor e grupos de consumidores;
- Investigação pertinente de reclamações de partes interessadas externas;
- Atualização da legislação;
- Alterações solicitadas por clientes;
- Alteração da política de segurança de alimentos da organização;
- Outras condições ou alterações que tenham impacto na segurança de alimentos.

2.2.2 APPCC aplicada ao abastecimento de água para consumo humano

Segundo Hellier (2003), diferenças entre a aplicação da APPCC na indústria alimentícia e no abastecimento de água incluem:

- (i) Diversidade de possíveis contaminantes e organismos patogênicos que podem ser transmitidos pela água, o que destaca a importância da equipe responsável pela implantação da APPCC ser multidisciplinar;
- (ii) Produção e distribuição simultânea de água para consumo humano, o que reduz, e em alguns casos impede, que se tenha tempo hábil para adotar uma medida corretiva. Isso torna a implementação de medidas preventivas e ações corretivas no início do sistema de abastecimento de água ainda mais importante;
- (iii) Complexidade operacional das redes de distribuição: mesmo com o desenvolvimento de *softwares* que simulam a distribuição da água na rede, a adoção de medidas corretivas específicas para um determinado ponto ou região do sistema nem sempre é tarefa simples;
- (iv) Controle à distância dos processos de abastecimento (incluindo o tratamento) e da qualidade da água

Em relação ao primeiro princípio da APPCC, já se discutiu a questão da necessidade da identificação de todos os perigos e eventos perigosos de ocorrência potencial nos diversos pontos do sistema de abastecimento, do manancial ao consumo, mas também a pertinência de priorizá-los. Também já se viu que isso é facilitado com a elaboração de um diagrama de

fluxo, o qual poderia ser representado genericamente como na Figura 2 para sistemas supridos por manancial superficial e com processo convencional de tratamento, conforme proposto por Havelaar (1994).

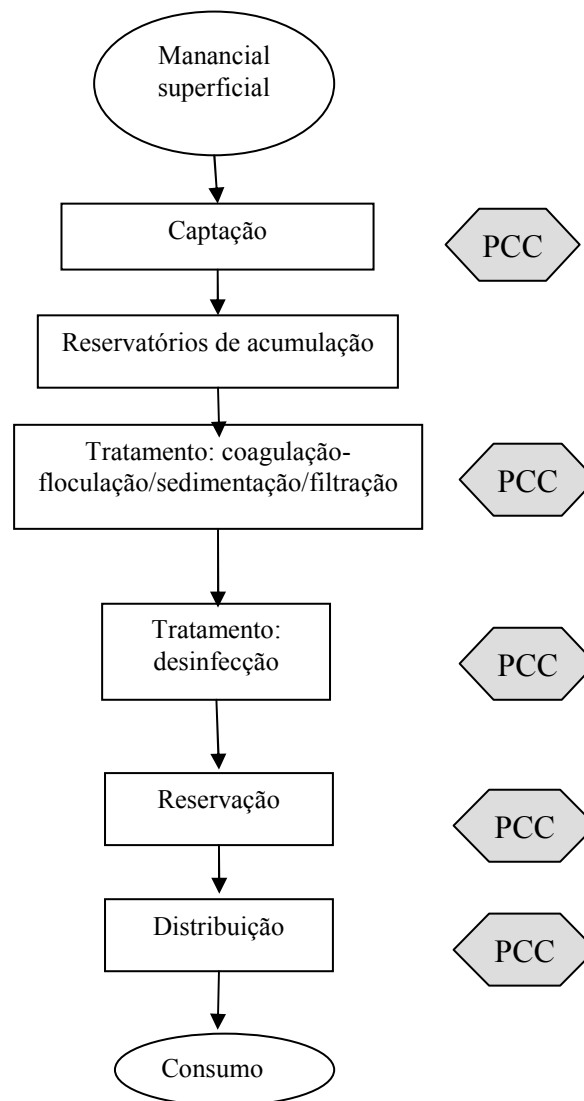


Figura 2 Diagrama de fluxo e identificação de pontos críticos de controle (PCC) em sistemas de abastecimento de água para consumo humano supridos por manancial superficial e com processo convencional de tratamento

Fonte: adaptado de Havelaar (1994).

Entretanto, o tratamento convencional da água é composto por etapas sequenciais, que devem também ser detalhadas para efeito da aplicação das diversas etapas da APPCC (Figura 3).

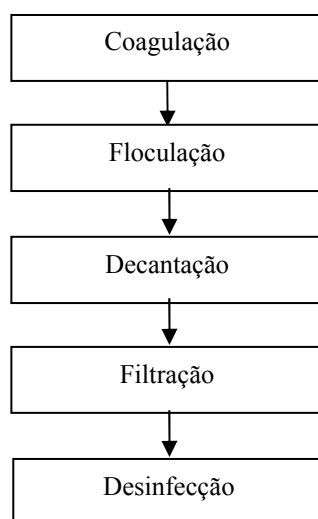


Figura 3 Diagrama de fluxo de processo convencional de tratamento de água

Os principais pontos de introdução de perigos microbiológicos em sistemas de abastecimento de água são (HAVELAAR, 1994; DEWETIINCK *et al.*, 2001):

- (i) contaminação dos mananciais superficiais por esgotos domésticos e atividades agropecuárias; além da drenagem urbana;
- (ii) contaminação da água tratada no sistema de distribuição (reservatório e rede) devido a despressurização do sistema (por exemplo, decorrente de intermitência de abastecimento), infiltrações, rupturas, vazamentos e em operações de manutenção.
- (iii) formação de biofilmes no sistema de distribuição, com crescimento de bactérias patogênicas oportunistas.

Possivelmente, a identificação dos PCC é a etapa mais problemática na aplicação da APPCC ao abastecimento de água para consumo humano. Segundo Hellier (2003), os profissionais envolvidos pela primeira vez com a metodologia tendem a apontar um grande número de PCCs, alguns dos quais, na prática, não se caracterizam como PCC propriamente dito, e isso seriam devido a, essencialmente, dois fatores ou situações: (i) quando os riscos são geridos adequadamente com medidas padrões ou de "boas práticas de produção", o que evita ou reduz a possibilidade de ocorrência de condições que podem conduzir contaminação (por exemplo,

procedimentos de gestão nas bacias hidrográficas, inspeções preventivas nos reservatórios), ou (ii) existência de controle adequado à jusante de um suposto PCC que garanta a segurança da qualidade da água para o perigo em questão.

A respeito do segundo ponto, cabe destacar o conceito de múltiplas barreiras, aplicável de forma nítida aos sistemas de abastecimento de água, desde o manancial até o consumo, ou seja, que as consequências de eventual falha de uma barreira possam ser absorvidas pelas barreiras subsequentes (WHO, 2004). Nesse sentido, a proteção do manancial seria a primeira barreira (minimização da contaminação, redução de perigos), seguida dos diversos processos unitários de tratamento (remoção de contaminantes, redução ou eliminação de perigos) e, por fim, pelo sistema de distribuição, o qual deve funcionar como efetiva barreira contra a recontaminação da água. Portanto, mesmo que um determinado perigo não seja eliminado/controlado em um determinado ponto, este não deve ser caracterizado como um PCC se o perigo pode ser eliminado/controlado em pontos subsequentes.

Para Havelaar (1994), na bacia de captação, a identificação de PCC pode se tornar difícil, pois as ações preventivas identificadas podem não ser suficientemente objetivas para o estabelecimento de medidas de controle mensuráveis quantitativamente. Esse seria, portanto, um caso em que se aplicaria o conceito de Pontos Críticos de Atenção (PCA).

Os passos seguintes envolvem o estabelecimento de limites críticos, de medidas preventivas e de programas de monitoramento em todos os PCC. Os limites críticos podem corresponder, por exemplo, a valores máximos permitidos estabelecidos em normas de qualidade da água. Outra opção seria a determinação dos limites críticos com base na aplicação da metodologia de AQRM (DEERE *et al.*, 1998), o que pressupõe o estabelecimento de um nível de risco tolerável (ver item 2.1.2.2).

Entretanto, o monitoramento rotineiro de organismos patogênicos pode não ser factível e, de mais a mais, compatível com o princípio preventivo da APPCC, que inclui o monitoramento com base em variáveis de pronta determinação e resposta. Assim, com o emprego de AQRM ou não, o fato é que o monitoramento de rotina em estações de tratamento de água é baseado em parâmetros indicadores da eficiência do tratamento, dos quais se esperam associações adequadas com perigos, e por conseguinte, com os riscos que se deseja prevenir.

2.3 Planos de Segurança da Água

Conforme antecipado na introdução deste trabalho, Planos de Segurança da Água (PSA) são 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 preventiva (WHO, 2005; WHO, 2006).

Um PSA envolve três componentes centrais (WHO, 2004), detalhados a seguir e ilustrados na Figura 4.

- (i) Diagnóstico e avaliação do sistema de abastecimento de água, no tempo e no espaço e em todos os seus componentes, de forma a facilitar o melhor conhecimento possível de seu funcionamento e verificar sua estabilidade na produção e fornecimento de água segura para consumo.
- (ii) Especificação de medidas de controle para os perigos identificados, acompanhada da prescrição de medidas ou protocolos de monitoramento, de forma que qualquer desvio do desempenho desejado possa ser prontamente corrigido.
- (iii) O estabelecimento de planos de gerenciamento, incluindo: a documentação do diagnóstico e da avaliação do sistema de abastecimento de água, a descrição das rotinas de operação e de monitoramento (para períodos de operação normal ou em condições incidentais), planos de comunicação interna e externa (por exemplo aos responsáveis pela vigilância da qualidade da água e ao público consumidor).

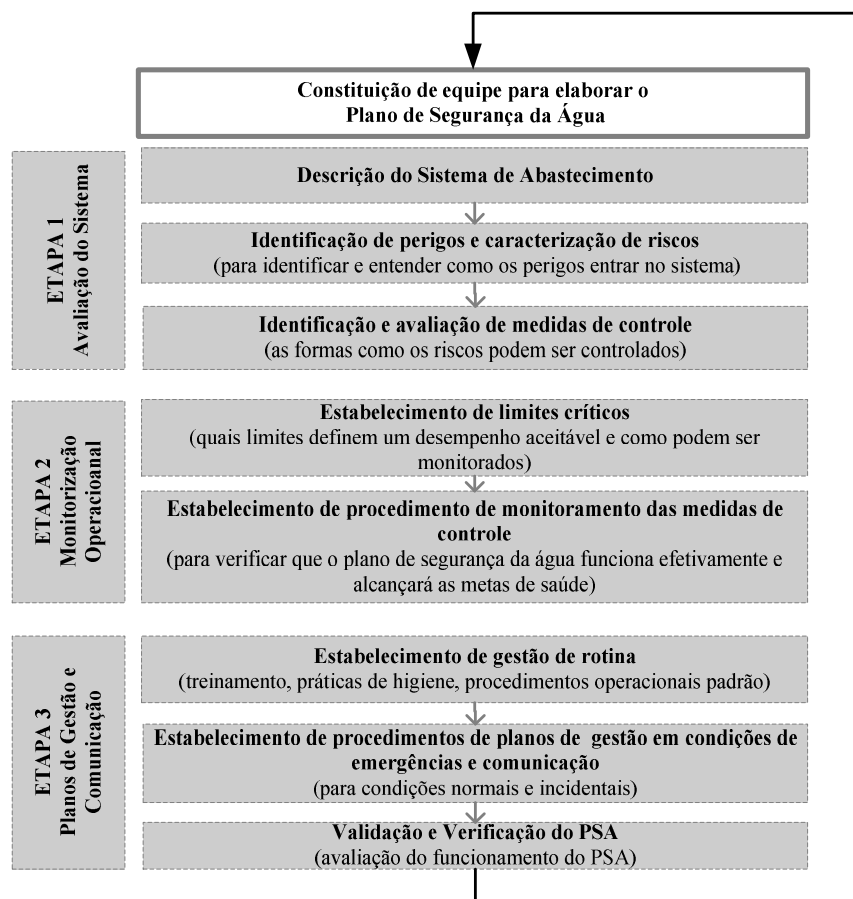


Figura 4 Etapas para o desenvolvimento de um Plano de Segurança da Água

Fonte: Adaptado de WHO (2005) e WHO (2006).

Confirma-se, assim, a observação já feita de que os PSA têm nítida inspiração nos sistemas APPCC.

A etapa de avaliação do sistema envolve um diagnóstico detalhado, do manancial aos pontos de consumo e tem por objetivo verificar se o mesmo, tal como se encontra, assegura a produção e o abastecimento de água segura para consumo humano. Essa etapa inclui, portanto, a identificação de perigos e de pontos vulneráveis (pontos críticos), a caracterização de riscos e, na sequência, a especificação de medidas de controle. Essas informações devem subsidiar a construção de um diagrama de fluxo do sistema, com o objetivo de facilitar a identificação dos PCC.

Nas estações de tratamento de água (ETA) o diagnóstico pode incluir:

- (i) A descrição dos processos de tratamento;

- (ii) As características físicas da ETA;
- (iii) O levantamento dos parâmetros de projeto e de funcionamento dos processos unitários de tratamento;
- (iv) Os procedimentos de controle operacional e
- (v) O desempenho dos processos unitários de tratamento.

Uma vez descrito o sistema de abastecimento de água, em cada etapa do diagrama de fluxo, procura-se identificar os PCC. A seguir, listam-se alguns exemplos que podem levar ao comprometimento da remoção ou redução dos perigos nas etapas do tratamento convencional (BASTOS *et al.*, 2006).

- Inadequação do processo de tratamento existente à qualidade da água bruta;
- Sobrecarga das estações de tratamento;
- Controle operacional deficiente dos processos unitários de tratamento, cobrindo as variações sazonais de qualidade da água bruta e de vazões afluentes à estação de tratamento de água:
 - Negligência no ensaio sistemático de Jar Test, dosagem e aplicação incorreta do coagulante;
 - Negligência no controle rigoroso dos parâmetros de controle da desinfecção: dosagem, tempo de contato e pH;
 - Procedimentos inadequados para lavagem de filtros;
- Desconhecimento ou negligência em relação aos parâmetros hidráulicos de controle e operação dos processos unitários de tratamento: gradientes de velocidade, tempos de detenção hidráulica, taxa de aplicação superficial dos decantadores, taxas de filtração, carreiras de filtração etc.;
- Falhas de projeto ou deficiências de instalações e equipamentos:
 - Falhas de projeto que comprometam a hidráulica e o funcionamento das estações de tratamento de água: tempos de detenção de floculação, decantação e desinfecção insuficientes, granulometria inadequada dos leitos filtrantes etc.;
 - Estado precário de bombas dosadoras de produtos químicos (coagulantes e desinfetantes) e equipamentos de medição de vazões;

- Deterioração dos filtros: leito filtrante, sistema distribuidor de água de lavagem, registros de controle de água de lavagem e água filtrada;
- Recirculação de água de lavagem dos filtros;
- Controle inadequado da qualidade da água nos processos unitários de tratamento:
 - Não observação dos planos de amostragem mínimos exigidos;
 - Controle inadequado da turbidez da água filtrada, em especial em eventos pós-lavagem dos filtros;
 - Controle inadequado dos residuais desinfetantes na saída do tanque de contato;
- Inexistência ou negligência no controle de qualidade dos insumos químicos: coagulantes, desinfetantes, oxidantes etc.

Nessa etapa, deve-se, inicialmente, procurar identificar todos os perigos / eventos perigosos de ocorrência possível, os quais devem, entretanto, serem priorizados, Naturalmente, perigos / eventos perigosos com maior severidade de consequências e maior probabilidade de ocorrência devem merecer maior consideração e prioridade relativamente àqueles cujos impactos são insignificantes ou cuja ocorrência é pouco provável.

Para a caracterização de riscos / priorização de perigos pode-se recorrer a técnicas diversas, tais como matrizes qualitativas ou semi-quantitativas de probabilidade x severidade de risco (Figura 5), ou à árvore decisória do sistema APPCC. As matrizes de probabilidade x consequência de risco podem ser construídas com o emprego de AQRM.

Esse procedimento é repetido para cada perigo identificado e para cada etapa do sistema de abastecimento.

No Quadro 2, apresentam-se sugestões genéricas de parâmetros de controle, para os quais podem ser definidos limites críticos, guardados os princípios de facilidade de implementação e agilidade de resposta.

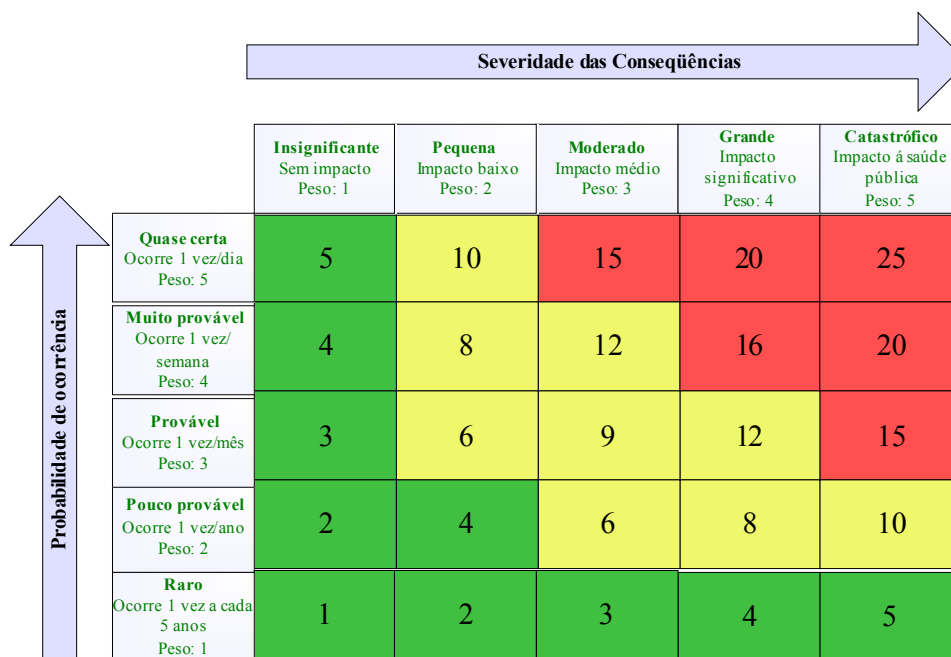


Figura 5 Exemplo de matriz semiquantitativa de priorização de risco
Fontes: Deere *et al.* (2001), Davison *et al.* (2005)

Quadro 2 Exemplos de parâmetros de monitoramento em pontos críticos de controle em estações de tratamento de água

Parâmetro	Água bruta Entrada da ETA	Mistura coagulação	Floculação	Sedimentação	Filtração	Desinfecção Saída da ETA
Precipitação pluviométrica	X					
Vazão	X	X	X	X	X	X
Pressão						
Perda de carga					X	
pH	X	X				X
Dosagem de produtos químicos		X				X
Turbidez	X			X	X	X
Cor	X					X
Coliformes	X					X
Contagem de bactérias heterotróficas						X
Cloro residual						X
Tempo de contato x residual desinfetante (CT)						X

Fonte: Adaptado de WHO (2004)

2.4 Processos convencionais de tratamento da água

2.4.1 Descrição das etapas do tratamento convencional

Tratamento convencional é um termo consagrado na literatura como sinônimo de tratamento em ciclo completo para a clarificação e desinfecção da água, envolvendo as seguintes etapas sequenciais: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (usualmente cloração) (Figura 6).

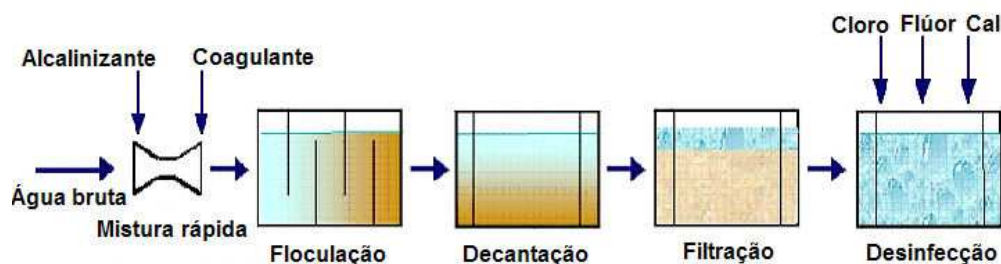


Figura 6 Ilustração esquemática das etapas do tratamento convencional da água

Apenas para efeito de destacar as características de múltiplas barreiras das etapas do tratamento, bem como de facilitar a visualização da aplicação do sistema APPCC em ETA, a seguir apresenta-se uma breve descrição do tratamento convencional, cujo texto foi, essencialmente, extraído de Bastos *et al.* (2006b).

Coagulação refere-se 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. Os coagulantes mais utilizados no Brasil são os sais de alumínio e de ferro.

Com a adição do coagulante, o que se busca é a minimização ou eliminação das forças de repulsão eletrostáticas existentes entre as partículas presentes na água, tornando possível a predominância das forças de atração e, portanto, possibilitando sua aglomeração – formação de flocos – na etapa de floculação que segue a coagulação. 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.

A coagulação eficiente necessita de alcalinidade, que se não presente naturalmente na água deve ser adicionada (daí a indicação da introdução de alcalinizante na Figura 6). Depende

também de uma boa homogeneização do coagulante na água, o que pode ser alcançado pela introdução do coagulante em local de intensa turbulência da água, na Figura 6 indicada pela unidade de mistura rápida.

Os parâmetros de controle operacional da coagulação são o pH e a dose de coagulante; os parâmetros de projeto são: gradiente de velocidade da mistura (G , em s^{-1}) e tempo de coagulação (t , em segundos). Para cada água, incluindo variações sazonais de qualidade, correspondem condições ótimas de coagulação, as quais devem ser determinadas em ensaios de laboratório - teste de jarros, reproduzindo em escala de bancada as etapas de coagulação, floculação e decantação.

É importante salientar que eficiência e a estabilidade de um sistema de tratamento dependem do bom desempenho e do controle dos processos de tratamento unitários e sequenciais, portanto, em primeira instância, da otimização e do controle sistemático da mistura e da coagulação.

Após a desestabilização, a etapa da floculação deve propiciar o encontro das partículas para que se agreguem e ganhem tamanho, peso e densidade compatíveis com o processo de separação sólido-líquido subsequente (no caso, a decantação).

Isso é obtido através da mistura lenta da água por período de tempo adequado, favorecendo a formação de flocos. Na floculação, a turbulência provocada, expressa pelo gradiente de velocidade, deve ser bem menor que a empregada na mistura rápida e ser gradualmente decrescente, de forma a propiciar a boa formação dos flocos no início do processo e evitar a ruptura dos flocos formados ao longo do floclador. A adequada agitação da água pode ser obtida hidráulica ou mecanicamente. No primeiro caso, provoca-se um movimento sinuoso da água (flocladores hidráulicos), no segundo a agitação ocorre por meio de equipamentos mecânicos (flocladores mecanizados).

Os parâmetros de controle da floculação são: o(s) gradiente(s) de mistura (G , em s^{-1}) e o tempo de floculação ou tempo de detenção hidráulica no floclador (t , em minutos).

Assim como na coagulação, para cada água, incluindo variações sazonais de qualidade, correspondem condições ótimas de floculação (gradientes de velocidade e tempo de floculação ótimos), preferivelmente determinadas, já na etapa de projeto, em ensaios de laboratório com o uso do teste de jarros.

A decantação resulta da diminuição da velocidade de escoamento da água nos decantadores e da ação da força de gravidade sobre as partículas, promovendo sua sedimentação. As unidades de decantação são projetadas com base na taxa de aplicação superficial (TAS), que está diretamente relacionada com a velocidade de sedimentação das partículas suspensas na água e é calculada dividindo-se a vazão afluyente ao decantador pela sua área em planta ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ou $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$). A NBR-12.216 (ABNT, 1992) recomenda que a TAS seja determinada por meio de ensaios de laboratório e, não sendo possível a realização desses ensaios, que a TAS seja adotada em faixas de valores de acordo com a capacidade da ETA e de seu nível operacional.

A filtração envolve a passagem da água através de um meio granular, geralmente areia. A remoção de partículas nesse processo é complexa e pode envolver mecanismos físicos, químicos e biológicos. O principal parâmetro de projeto e de operação dos filtros é a taxa de filtração, ou velocidade de filtração, ou seja, a vazão de água que é tratada por unidade de área em planta do filtro ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ou $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$). A NBR-12.216 (ABNT, 1992) recomenda também faixas de valores para a taxa de filtração em função do tipo de filtro.

Após certo período de funcionamento, faz-se necessária a limpeza do filtro. O momento da limpeza do filtro, ou seja, interrupção da carreira de filtração (período de funcionamento dos filtros entre duas lavagens consecutivas) é geralmente determinado pela condição que ocorrer primeiro: traspasse de impurezas no efluente (deterioração da qualidade do efluente filtrado) ou dissipação total da carga hidráulica disponível para operação do filtro. A limpeza é realizada por meio de lavagem com água tratada no sentido ascensional (retrolavagem) e os principais parâmetros de controle são a velocidade ascensional e o tempo de lavagem.

O objetivo de clarificação da água é completado na etapa de filtração. Entretanto, é importante destacar que a filtração cumpre também papel relevante na remoção de microrganismos patogênicos, particularmente de (oo)cistos de protozoários, sendo, em alguns casos, como no de oocistos de *Cryptosporidium*, a principal se não a última barreira de proteção.

A desinfecção, após as etapas de clarificação, tem como objetivo a inativação de microrganismos pela aplicação de um agente desinfetante. Os mais empregados são os oxidantes químicos, como cloro, dióxido de cloro e ozônio, e a radiação ultravioleta.

Na escolha do agente desinfetante se deve considerar: potencial desinfetante, potencial de manutenção de residuais desinfetantes, formação de produtos secundários tóxicos, potencial de geração de gosto e odor, custo, complexidade de operação e manutenção.

Os parâmetros de controle da desinfecção são a concentração residual do desinfetante e o tempo de contato. Normalmente, em ordem crescente de resistência à desinfecção, apresentam-se as bactérias, os vírus, os protozoários e os helmintos (praticamente imunes).

2.4.2 Remoção de organismos patogênicos por meio do tratamento da água

Neste tópico serão abordados os mecanismos e a eficiência de remoção de bactérias, vírus e protozoários pelo tratamento em ciclo completo. Essas informações são importantes para a avaliação quantitativa de risco microbiológico e, principalmente, na aplicação da APPCC, nas etapas de identificação de perigo e pontos críticos de controle, bem como de adoção de limites críticos e na elaboração de programas de monitoramento.

2.4.2.1 Mecanismos de remoção dos principais organismos patogênicos de interesse para o abastecimento de água para consumo humano

Em geral, bactérias e vírus são removidos da água por desinfecção e os (oo)cistos de protozoários, principalmente, por remoção física (decantação e, principalmente, filtração).

Em seu ciclo biológico, a *Giardia* e o *Cryptosporidium* passam, no trato intestinal do hospedeiro, por uma etapa de encistamento, com a formação de uma membrana externa muito resistente a fatores ambientais adversos e aos produtos de desinfecção usualmente utilizados no tratamento de água, principalmente ao cloro. Os oocistos de *Cryptosporidium* são mais resistentes que os cistos de *Giardia*.

Como descrito por Bastos *et al.* (2009), oocistos de *Cryptosporidium* são menores (4 - 6 μm), menos densos (1.009-1.036 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) que os cistos de *Giardia* (9 - 14 μm ; 1.013-1.045 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) e, portanto, apresentam menores velocidades de sedimentação: cerca de 0,3-0,4 $\mu\text{m s}^{-1}$ para oocistos de *Cryptosporidium* e de 0,7-1,4 $\mu\text{m s}^{-1}$ para cistos de *Giardia*, em solução salina (MEDEMA *et al.*, 1998; DAI e BOLL, 2006). Porém, quando aderidos a material particulado assumem a velocidade de sedimentação das partículas em suspensão às quais se aderem (MEDEMA *et al.*; 1998).

Os (oo)cistos de protozoários tendem a se comportar como partícula e ser removidos pelos mesmos mecanismos que outras partículas em suspensão em processos de clarificação da água. Por exemplo, os (oo)cistos assumem carga elétrica (em geral negativa), se aderem a outras partículas durante os processos de coagulação e floculação e obedecem aos mecanismos físico-químicos de transporte e aderência em meios filtrantes. Assim, aplica-se também à remoção dos (oo)cistos a já destacada importância do controle da coagulação, bem

como de outras condições operacionais dos processos de tratamento, tais como a taxa de aplicação superficial dos decantadores, as taxas de filtração, os períodos de amadurecimento dos filtros, e situações que podem acarretar traspasse. Entretanto, devido às características acima destacadas, a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* é mais difícil que a de cistos de *Giardia*.

Bactérias e vírus são bem menores que os (oo)cistos de protozoários, as primeiras de dimensões em torno de 1 µm e os segundos em ordem de grandeza de nanômetros. Portanto, a remoção desses organismos por filtração é muito limitada. Por outro lado, bactérias e vírus são susceptíveis à inativação pela ação de agentes desinfetantes, sendo que os vírus são mais resistentes do que as bactérias. O cloro induz uma série de eventos associados à atividade da membrana celular, como alteração da permeabilidade, e modifica os ácidos nucleicos, causando mutações. A inativação dos vírus ocorre por modificações nos ácidos nucleicos e no envoltório protéico (WEF, 1996).

2.4.2.2 Eficiência de remoção das técnicas de tratamento de água

No Quadro 3, encontram-se informações genéricas sobre a eficiência de remoção de bactérias, vírus e protozoários nas várias etapas do tratamento em ciclo completo. Dentro de cada grupo de microrganismos há diferenças entre espécies ou cepas, mas o quadro fornece estimativas conservadoras de remoção com base nos organismos mais resistentes ou de difícil remoção em cada grupo (WHO, 2004).

As informações do Quadro 3 confirmam observações anteriores de que o cloro é eficaz na inativação de bactérias e vírus, mas não na de (oo)cistos de protozoários. A inativação de cistos de *Giardia*, e mesmo de oocistos de *Cryptosporidium*, é possível, mas somente à custa de elevadas combinações de doses de cloro e tempo de contato, o que pode inviabilizar o emprego da cloração, a ponto do quadro incluir a informação de que o cloro “não inativa oocistos de *Cryptosporidium*”.

Confirma-se também o entendimento de que as etapas de clarificação podem alcançar elevada remoção de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*, mas que isso depende de rigoroso controle operacional

Quadro 3 Remoção de bactérias, vírus e protozoários nas etapas do tratamento da água em ciclo completo

Tratamento	Microrganismos	Eficiência de remoção	
		Referência	Máxima
Coagulação, floculação e sedimentação	Bactérias	30%	90% (em função do coagulante, pH, temperatura, alcalinidade e turbidez)
	Vírus	30%	70% (em função do coagulante, pH, temperatura, alcalinidade e turbidez)
	Protozoários	30%	90% (em função do coagulante, pH, temperatura, alcalinidade e turbidez)
Filtração rápida	Bactérias	-	99% (em condições ótimas de coagulação)
	Vírus	-	99,9% (em condições ótimas de coagulação)
	Protozoários	70%	99,9% (em condições ótimas de coagulação)
Desinfecção com cloro	Bactérias	Ct ₉₉ ^(*) : 0,08 mg·min L ⁻¹ a 1-2 °C e pH 7; 3,3 mg·min L ⁻¹ a 1-2 °C e pH 8,5	-
	Vírus	Ct ₉₉ : 12 mg·min L ⁻¹ a 0-5 °C 8 mg·min L ⁻¹ a 10 °C ambos em pH 7-7,5	-
	Protozoários	<i>Giardia</i> CT ₉₉ 230 mg·min L ⁻¹ a 0,5 °C 100 mg·min L ⁻¹ a 10 °C 41 mg·min L ⁻¹ a 25 °C todos em pH 7-7,5 Não inativa oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	-

CT₉₉: residual desinfetante (mg L⁻¹) e tempo de contato (min) para eficiência de desinfecção de 99%

Fonte: adaptado de WHO (2004)

Como relatado por Bastos *et al.* (2009), alguns estudos registram que, sob condições otimizadas de coagulação e floculação e de adequada operação, o tratamento convencional pode alcançar remoção de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium* de 1-2 log na decantação e até 4 log na filtração. Contudo, a *US Environmental Protection Agency* (USEPA, 2006), com base em diversos trabalhos, assume 0,5 log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* como 'crédito' possível de ser conferido a decantação e 3 log ao tratamento em ciclo completo.

2.4.3 Indicadores da eficiência do tratamento

Diante do exposto sobre as características e os mecanismos de remoção dos vários patógenos, depreende-se que os organismos indicadores mais amplamente utilizados, as bactérias do grupo coliforme, a rigor só se prestam como indicadores da inativação de bactérias patogênicas, ou seja, da qualidade bacteriológica da água tratada. No que tange à avaliação da qualidade virológica e parasitológica, torna-se necessário o emprego de indicadores não-biológicos como, por exemplo, os parâmetros de controle do processo de desinfecção (residual desinfetante x tempo de contato – Ct) ou, no caso específico dos protozoários e de processos físicos de separação, indicadores da remoção de partículas, tais como a turbidez e a contagem de partículas por distribuição de tamanho (BASTOS *et al.*, 2009).

2.4.3.1 Indicadores da eficiência da desinfecção

A eficiência da desinfecção é usualmente aferida pelo produto Ct ($\text{mg}\cdot\text{min L}^{-1}$), sendo *C* o residual desinfetante na saída do tanque de contato (mg L^{-1}) e *t* o tempo de contato (minutos). O parâmetro Ct significa que determinada eficiência de desinfecção pode ser alcançada por diferentes combinações de residual desinfetante e tempo de contato.

As bactérias do grupo coliforme são, em geral, mais resistentes que as bactérias patogênicas e, portanto, prestam-se ao papel de indicadores da eficiência da desinfecção para a avaliação da qualidade bacteriológica. No entanto, a medida direta da concentração residual do desinfetante e o cômputo do parâmetro Ct não somente é suficiente como é mais ágil que a análise de coliformes.

A seguir, apresenta-se a metodologia proposta pela agência de proteção ambiental dos EUA para a estimativa de remoção/inativação de vírus e de cistos de *Giardia*, para os quais o emprego dos coliformes não cumpre o papel de indicador (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 $< 0,5 \text{ uT} = 2,5 \log$
- (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 ($\text{mg}\cdot\text{min L}^{-1}$). O tempo de contato deve,

preferencialmente, se referir 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 do pH e da temperatura no tanque de contato, determinar $CT_{99,9}$ para cistos de *Giardia* (valores tabelados em USEPA, 1991).

(4) Estimar a inativação de cistos de *Giardia* com base na Equação 4

$$\text{Log-inativação (Giardia)} = 3 (Ct_{\text{calc}} / Ct_{99,9}) \quad (4)$$

Ou, alternativamente, pela aplicação direta da Equação 5 (USEPA, 1991):

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

Onde:

Ct = produto concentração do desinfetante (C) e tempo de contato (t)

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 na 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 ($\text{mg} \cdot \text{min} \cdot \text{L}^{-1}$).

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

(4) Estimar a inativação de vírus com base na Equação 6

$$\text{Log-inativação (vírus)} = 4 (Ct_{\text{calc}} / Ct_{99,99}) \quad (6)$$

Ou, alternativamente, e pela aplicação direta da Equação 7 (USEPA, 1991):

$$(pH 6 - 9) : \log\text{-remoção} = \frac{(Ct_{\text{calculado}} \times e^{0,071 \times \text{Temperatura}}) - 0,42}{2,94} \quad (7)$$

Onde:

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 (Equação 8):

$$Ct_{requerido} = \left(\frac{\log_{inativação_requerido}}{3_log} \right) \times Ct_{99,9} \quad (8)$$

Onde:

Ct = produto concentração do desinfetante (C) e tempo de contato (t)

Há, entretanto, 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.

O emprego desse procedimento permitiria, conhecida a ocorrência de vírus e cistos de *Giardia* na água bruta, estimar a concentração desses organismos na água tratada e, aplicando a metodologia de AQRM, definir limites críticos para o parâmetro Ct.

A norma brasileira de qualidade da água para consumo humano (Portaria MS nº 518/2004) exige a manutenção de teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg L⁻¹ na saída do tanque de contato e inclui recomendações de que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 min (BRASIL, 2004). Entretanto, este valor de Ct (15 mg.min L⁻¹) é voltado à inativação de vírus (BASTOS *et al.*, 2001), sendo insuficiente para ação efetiva sobre cistos de *Giardia*.

2.4.3.2 Indicadores da remoção de cistos de *Giardia* e de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração

A facilidade e simplicidade da determinação da turbidez e o custo relativamente baixo dos turbidímetros contribuíram de modo decisivo para sua popularização como uma das principais variáveis de controle operacional de ETA e da qualidade da água tratada (PÁDUA e DI BERNARDO, 2003).

Segundo Bastos *et al.* (2009), a literatura registra número considerável de estudos que procuram associar a remoção de turbidez com a de (oo)cistos de protozoários, bem como valores absolutos de turbidez da água filtrada com a presença / ausência de (oo)cistos, porém o tema ainda é controverso. Entretanto, ainda segundo Bastos *et al.* (2009), em que pese as incertezas, parece consenso que se devem buscar efluentes filtrados com valores os mais baixos possíveis de turbidez, pois como ressaltado em USEPA (1999), “embora valores de turbidez bem reduzidos não necessariamente garantam a ausência de partículas, isto constitui excelente medida de otimização de estações de tratamento com vistas a assegurar máxima proteção à saúde”.

A norma de qualidade da água para consumo humano dos EUA assume a abordagem de AQRM , ou seja, o estabelecimento de meta de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* em função da qualidade da água bruta, com vistas ao alcance de um nível tolerável de 10^{-4} . Para isso são adotados os seguintes critérios para o tratamento convencional (USEPA, 2006).

- 3 log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, desde que obedecido o padrão de turbidez de 0,3 uT (95% dos dados mensais e máximo de 1,0 uT) e
- 0,5 log adicional de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, desde que atendido critério de efluente filtrado com turbidez $\leq 0,15$ uT (95% dos dados mensais).

A norma brasileira assume a utilização da turbidez como indicador da qualidade parasitológica da água filtrada, porém não incorpora a abordagem de AQRM e estabelece um padrão bem mais flexível para a filtração como parte do ciclo completo de tratamento: 1,0 uT , além de meta (recomendação) de obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5 uT em 95% dos dados mensais e nunca superior a 5,0 uT (BRASIL, 2004).

3 OBJETIVO

Discutir a aplicação da metodologia de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle em estações de tratamento de água para consumo humano, por meio de estudos de caso em estações de tratamento de água que operam com ciclo completo em Viçosa-MG.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A dissertação foi desenvolvida seguindo, basicamente, a sequência de passos para implantação do sistema APPCC, ou seja: (i) etapas preliminares – descrição geral da área de estudo, elaboração do digrama de fluxo da produção, descrição e avaliação dos processos de tratamento das ETA em estudo; (ii) identificação de perigos; (iii) identificação de pontos críticos de controle (PCC); (iv) estabelecimento de limites críticos; (v) definição do monitoramento dos PCC; (vi) estabelecimento das medidas corretivas.

4.1 Etapas Preliminares

4.1.1 Descrição geral da área do estudo

O município de Viçosa encontra-se localizado na Zona da Mata Norte do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas 20° 44' de latitude Sul e 42° 53' de longitude Oeste, à 230 km da capital do estado – Belo Horizonte. A população do município é de aproximadamente 70.000 habitantes, sendo que cerca de 90% residem na área urbana.

A área urbana do município de Viçosa-MG é servida por duas estações de tratamento de água (ETA) sob administração do Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Viçosa (SAAE) – ETA SAAE I e ETA SAAE II, supridas, respectivamente, por dois mananciais superficiais: Ribeirão São Bartolomeu e Rio Turvo Sujo. Os respectivos sistemas de distribuição são interconectados: (i) durante o período de chuvas a ETA SAAE I é responsável pelo abastecimento de cerca de 70% da população urbana e, (ii) por meio de manobras de válvulas, a situação se inverte no período de estiagem - 70% da população passa a ser servida pela ETA SAAE II.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) conta com um sistema próprio de abastecimento de água, suprido também pelo Ribeirão São Bartolomeu.

No campus da UFV, o Ribeirão São Bartolomeu recebe cinco barramentos consecutivos. As duas primeiras represas cumprem função de reservatórios de acumulação (identificadas neste trabalho como ‘Captação 1’ e ‘Captação 2’), sendo que na segunda encontram-se as estruturas de captação de água para abastecimento da estação de tratamento da UFV (ETA UFV) e de parte da cidade (ETA SAAE I). À jusante do campus da UFV, o Ribeirão São Bartolomeu segue seu curso em meio à área urbana de Viçosa e deságua no Rio Turvo Sujo, ainda na área urbana do município.

Trata-se de um manancial de reduzida vazão ($\cong 100 \text{ L.s}^{-1}$ e $\cong 200 \text{ L.s}^{-1}$, respectivamente em períodos de estiagem e chuvas), desprotegido, com pressões de ocupação urbana e de atividades agropecuárias relativamente intensas na bacia de captação. Usos conflitantes da água e desequilíbrio no balanço oferta x demanda de água configuram-se como um dos principais problemas da bacia – demanda de cerca de 150 L.s^{-1} apenas para o abastecimento para consumo humano.

O Rio Turvo Sujo também percorre uma bacia não protegida, bem mais ampla e com atividades agropecuárias. Ao contrário da bacia do São Bartolomeu a do Turvo abrange, além de Viçosa, quatro outros municípios. A oferta de água não chega a constituir problema maior: o Rio Turvo sujo apresenta vazão de cerca de 1.000 L.s^{-1} em épocas de chuvas

A Figura 7 mostra as bacias e os cursos do Ribeirão São Bartolomeu e do Rio Turvo Sujo na área urbana de Viçosa, além da localização das mencionadas ETA.

4.1.2 Descrição das estações de tratamento de água

A ETA UFV (Figura 8), construída na década de 1970, opera em ciclo completo, incluindo as seguintes etapas / unidades: (i) coagulação com sulfato de alumínio líquido e mistura rápida em calha Parshall com largura da garganta de 6” e demais dimensões padronizadas; (ii) floculador hidráulico com seis câmaras e orifícios retangulares de passagem dispostos, alternadamente, nos bordos inferiores esquerdo e superiores direito (iii) decantação convencional em decantador circular com alimentação central e fluxo radial; (iv) filtração rápida em dois filtros de fluxo descendente; (v) desinfecção com cloro gás.

Essa ETA abastece o campus da UFV, capta e trata em média 50 L.s^{-1} , com jornada de trabalho de aproximadamente 10 horas

A ETA UFV e seus laboratórios de apoio possuem capacidade instalada para avaliar os seguintes parâmetros: turbidez (*on line*), pH, cor, cloro (*on line*) e análises microbiológicas – bacteriológicas e parasitológicas. Em essência, o monitoramento de rotina segue as especificações da Portaria 518/2004.

A ETA SAAE I, construída na mesma época que a ETA UFV, também opera em ciclo completo, incluindo: (i) coagulação com sulfato de alumínio líquido e mistura rápida em calha Parshall com largura da garganta de 9” e demais dimensões padronizadas; (ii) floculador hidráulico com 13 câmaras (iii) decantação convencional em decantador circular com

alimentação central e fluxo radial; (iv) filtração rápida em quatro filtros de fluxo ascendente; (v) desinfecção com cloro gás (Figura 9).

A água de lavagem dos filtros é recirculada para a entrada da ETA (mistura com a água bruta), com razão de recirculação de 1%. O laboratório de apoio conta com capacidade para as seguintes análises: turbidez, pH; cor; cloro e análises bacteriológicas.

A ETA SAAE II também opera em ciclo completo, incluindo as etapas de: (i) coagulação com sulfato de alumínio líquido e mistura rápida em calha Parshall de 9” e demais dimensões padronizadas; (ii) floculação hidráulica em floculador do tipo Cox, subdividido em nove câmaras; (iii) decantação convencional, com dois decantadores retangulares; (iv) filtração rápida com dois filtros de fluxo descendente; (v) desinfecção com cloro gás (Figura 10). Essa ETA capta (captação direto no Rio Turvo Sujo) e trata, em média, 80 L.s^{-1} por cerca de 20 horas por dia e 150 L.s^{-1} por cerca de 2 horas por dia, totalizando um ciclo operacional de 22 horas.

A ETA SAAE II e seu laboratório de apoio contam com capacidade para avaliar os seguintes parâmetros: (i) turbidez, pH, cor, cloro e flúor. As análises bacteriológicas são realizadas no laboratório da ETA SAAE I. Em essência, o monitoramento de rotina das ETA SAAE I e II seguem as especificações da Portaria 518/2004.

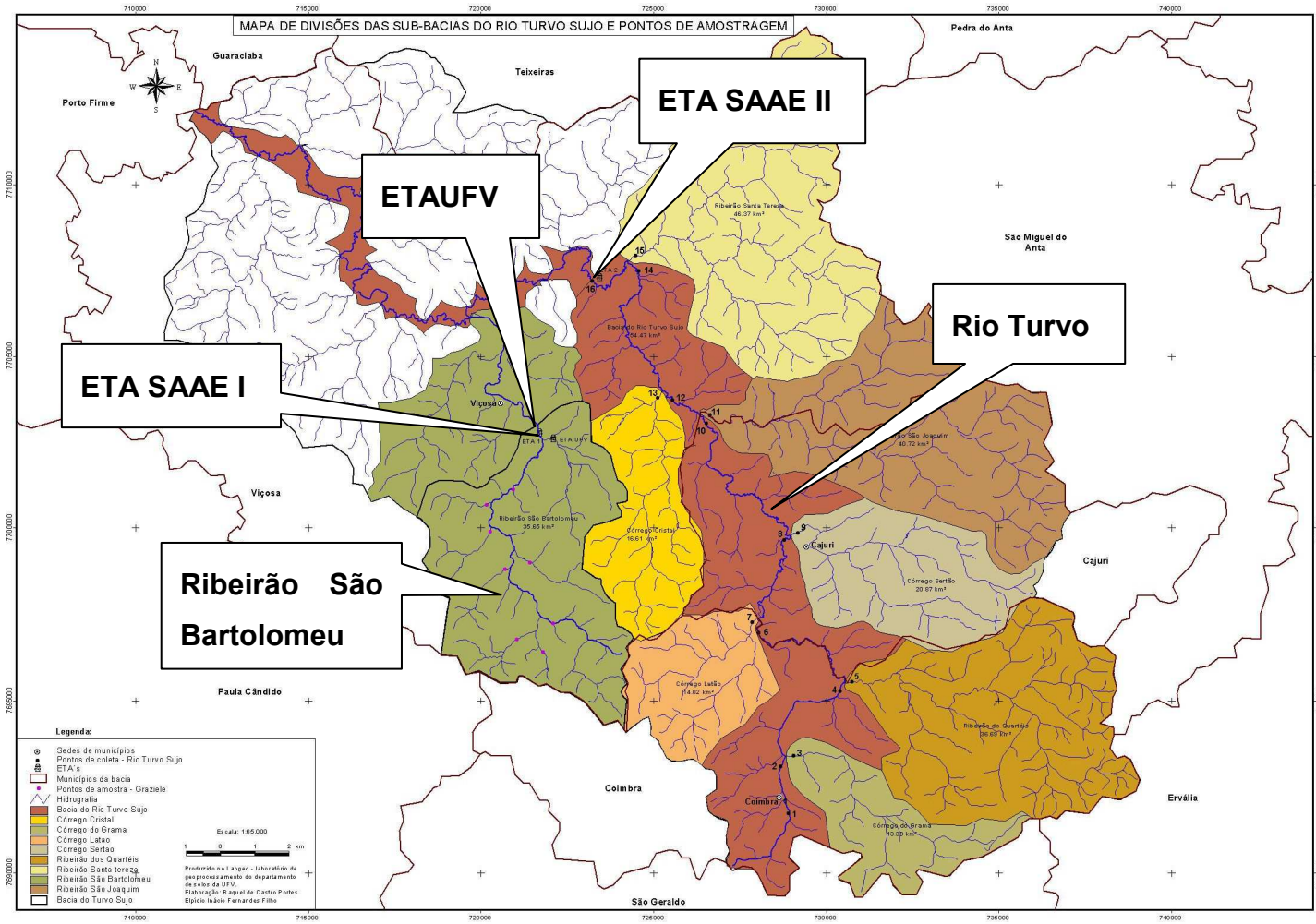


Figura 7 Vista geral das bacias do Ribeirão São Bartolomeu e do Rio Turvo Sujo nos limites do município de Viçosa e localização das estações de tratamento de água.



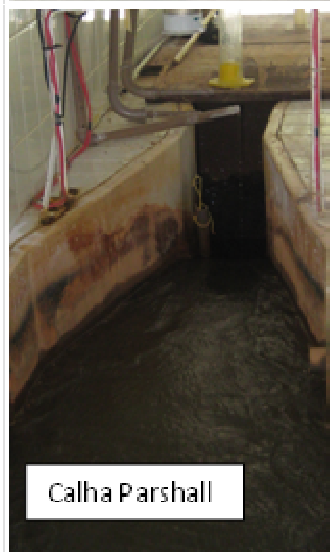
Figura 8 Vista geral e das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração da ETA UFV



Figura 9 Vista geral e das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração da ETA SAAE I



Vista Geral



Calha Parshall



Floculador



Decantador



Filtro

Figura 10 Vista geral e das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração da ETA SAAE II

4.1.3 Avaliação de desempenho das estações de tratamento de água

A avaliação de desempenho das ETA foi realizada de acordo com os métodos e técnicas descritos em CEPIS (1992) e Di Bernardo *et al.* (2002), detalhados a seguir:

Etapa 1: Elaboração de diagramas de coagulação e realização de ensaios de tratabilidade para as águas do Rio Turvo e do Ribeirão São Bartolomeu por meio de ensaios de jarros, por meio dos quais foram determinados os parâmetros ‘ótimos’ de tratamento para cada estação: pH, concentração e dose de coagulante, gradientes de velocidade (G) e tempo de detenção hidráulica (TDH) de floculação, e velocidade de sedimentação (Vs). A seleção das amostras para a realização desses ensaios teve como base a identificação da turbidez da água bruta representativa de períodos de seca e chuva. Os bancos de dados avaliados por meio de estatística descritiva foram: (i) Ribeirão São Bartolomeu (ETA UFV e SAAE I) - dados horários de 2001 a 2006; (ii) Rio Turvo (ETA SAAE II) - dados horários do período de 2004 a 2007.

Etapa 2: Com base na análise dos projetos das ETA, complementada por medições de campo, foram levantados e, ou, determinados parâmetros teóricos e, ou reais de funcionamento, tais como: TDH de floculação e decantação, caracterização do tipo de fluxo predominante nos floculadores, decantadores e tanques de contato, gradientes de velocidade de floculação, taxas de aplicação superficial dos decantadores, velocidades de filtração. Ensaio com traçadores (NaCl – floculadores e decantadores, cloro residual livre – tanque de contato) permitiram a determinação dos TDH reais e as características hidrodinâmicas dessas unidades. Em relação aos filtros, foram avaliados os seguintes aspectos: velocidade de filtração, perda de carga, duração da carreira de filtração e turbidez do efluente filtrado; características e estado de preservação do leito filtrante - granulometria e espessura do leito filtrante, bolas de lodo; processo de lavagem, expansão do leito filtrante e duração do processo de lavagem.

De acordo com a metodologia de avaliação de desempenho, os dados obtidos nessas duas etapas foram confrontados, possibilitando avaliar se os parâmetros ideais para o tratamento da água estavam de acordo com os existentes nas estações e quais intervenções poderiam ser feitas para adequar o tratamento.

4.2 Identificação de perigos

A identificação de perigos foi realizada através dos seguintes passos: (i) análise de dados secundários do monitoramento de rotina da qualidade da água nas estações de tratamento. Essencialmente, foram utilizados dados do monitoramento da turbidez das três estações - dados horários de turbidez da água bruta, decantada e filtrada no período de 2002 a 2008 – ETA UFV e 2004 a 2007 – ETA SAAE I e II; (ii) em caráter complementar, foi realizado monitoramento nos pontos de captação e nas etapas que compõem o tratamento das três estações, com frequência mensal no período de novembro de 2008 a outubro de 2009. Os parâmetros monitorados estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4 Programa de controle de qualidade da água: pontos de coleta de amostras, frequência de monitoramento e parâmetros analisados.

Local de amostragem	Parâmetros	Frequência
Água bruta (ponto de captação)	Físicos e químicos: alcalinidade, pH, cor, turbidez.	Mensal
	Microbiológicos: <i>Giardia</i> spp., <i>Cryptosporidium</i> spp., coliformes totais, <i>Escherichia coli</i> .	Mensal
Água decantada	Físicos: turbidez e cor	Mensal
	Microbiológicos: <i>Giardia</i> spp., <i>Cryptosporidium</i> spp., coliformes totais, <i>E. coli</i> .	Mensal
Água filtrada	Físicos e operacionais : turbidez, cor, pH e perda de carga.	Mensal
	Microbiológicos: <i>Giardia</i> spp., <i>Cryptosporidium</i> spp., coliformes totais, <i>E. coli</i> e cianobactérias	Mensal
	Químico: cianotoxinas	
Água desinfetada	Físicos e químicos: cloro residual, cor, pH e temperatura no tanque de contato	Mensal
	Microbiológicos: <i>E. coli</i> , coliformes totais.	Mensal
Saída da ETA	Químicos e físicos: turbidez e cloro residual livre	Mensal

A pesquisa de coliformes totais e *E.coli* foi realizada com a técnica do substrato definido (cromogênico-fluorogênico), com uso do meio Colilert® (APHA, 1998).

Para a pesquisa de protozoários foi utilizada a técnica de concentração por floculação com carbonato de cálcio (VESEY *et al.*, 1993) (água com turbidez acima de 10 uT) e

filtração em membranas (FRANCO *et al.*, 2001) (água com turbidez abaixo de 10 uT) e enumeração com microscopia de imunofluorescência (kit MERIFLUOR[®]).

A determinação dos demais parâmetros físicos e químicos seguiu as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998).

4.3 Identificação de pontos de controle, pontos críticos de controle e pontos de atenção.

A identificação dos PCC foi realizada com aplicação da árvore de decisão. Nesta dissertação foi utilizada uma adaptação ao modelo de árvore proposto por Vieira e Moraes (2005) (Figura 11) com base nos seguintes argumentos: (i) a árvore de decisão proposta por Vieira e Moraes (2005) apresenta adequações em relação à árvore original do sistema APPCC (Figura 1) no que diz respeito à terminologia dos processos de tratamento de água; (ii) porém, diferentemente do trabalho de Vieira e Moraes (2005), que considera como etapa única as unidades de coagulação/mistura rápida, floculação e decantação, aqui todas as unidades de tratamento em ciclo completo foram abordadas separadamente.

Na adaptação e aplicação da árvore de decisão foram ainda considerados os conceitos de Pontos de Controle (PC) e Pontos de Atenção (PA). O PC se diferencia do ponto crítico de controle (PCC) pelo fato de as medidas de controle associadas não serem suficientes para prevenir, reduzir ou eliminar o perigo à um nível aceitável. Ou seja, seu controle é importante para produção de água segura, mas não suficiente. Estes pontos contribuem e/ou dão condição para que o perigo seja controlado. Os PA são pontos ao longo da bacia de captação e do sistema de abastecimento de água onde há um ou mais perigos que ofereçam riscos à saúde, porém as medidas de controle não podem ser implementadas de imediato e, ou são de difícil implementação, como, por exemplo, a ampliação de estações de tratamento de esgotos ou o controle de fontes de contaminação difusas na bacia de captação.

A árvore utilizada neste trabalho está representada na Figura 12

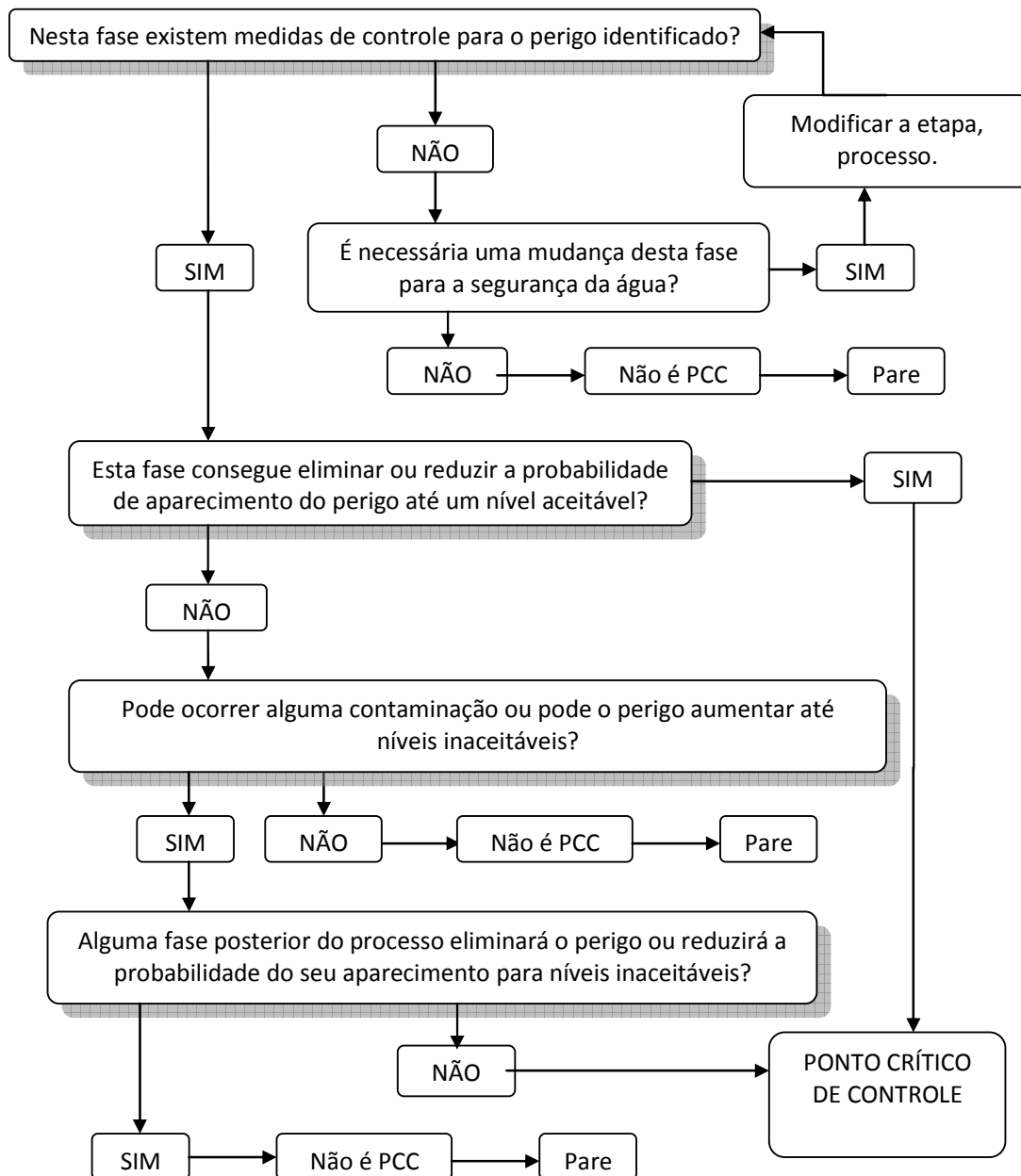


Figura 11 Árvore de decisão para identificação de PCC proposta por Vieira e Morais (2005)

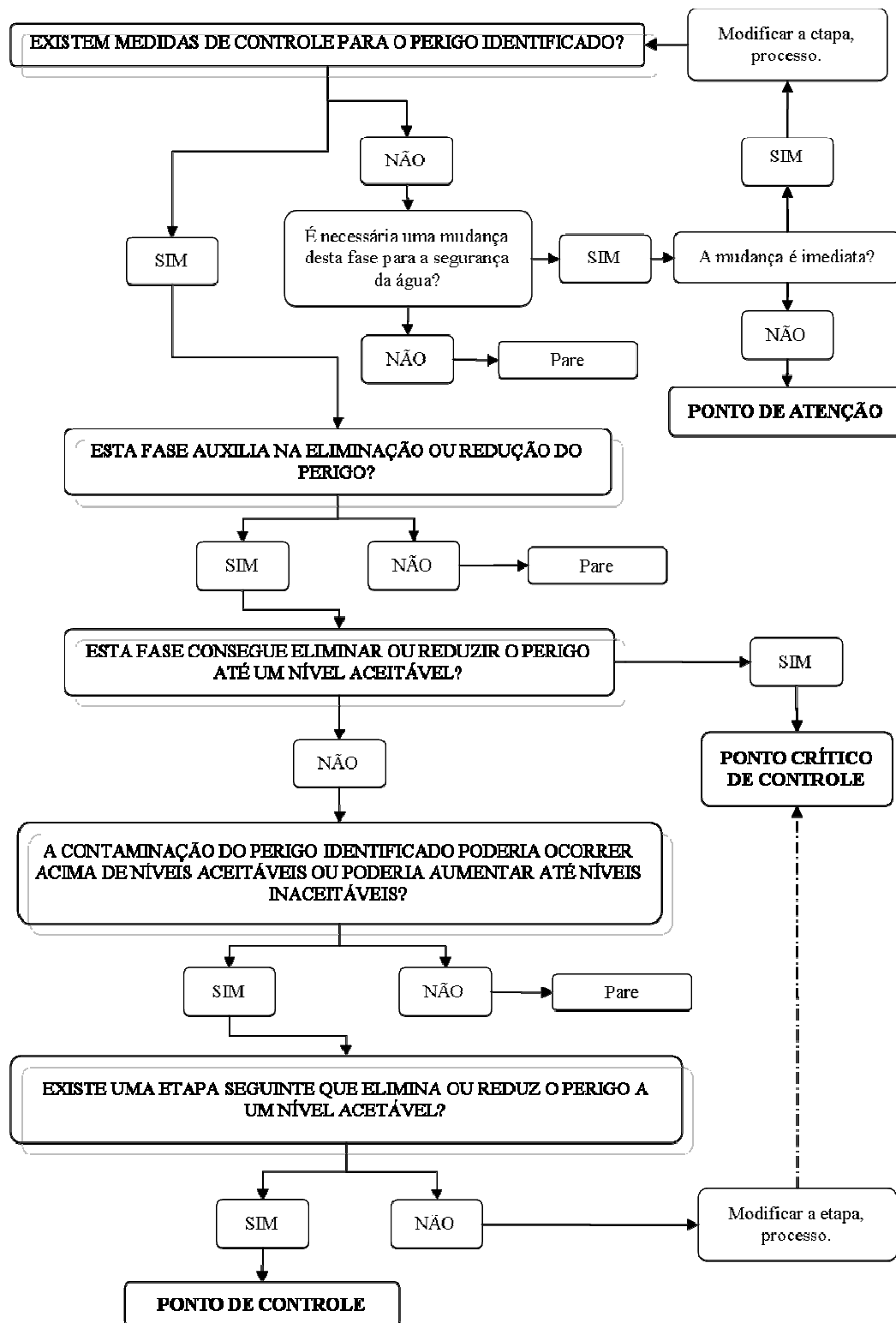


Figura 12 Árvore de decisão para identificação de PCC adaptada para aplicação em sistemas de abastecimento de água.

4.4 Estabelecimento dos limites críticos e operacionais

Os limites críticos foram estabelecidos com base no padrão de potabilidade vigente, ou seja, nos valores-limite determinados na Portaria MS nº 518/2004.

Em complementação aos limites críticos foram estabelecidos limites operacionais com o intuito de estabelecer padrões mais restritivos como margem de segurança para evitar a produção de água não conforme para consumo humano. Os limites operacionais foram estabelecidos com base na análise conjunta dos dados secundários do monitoramento de rotina da qualidade da água nas estações e monitoramento e no ponto de captação das três estações conforme descrito no item 4.2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Etapas preliminares – diagrama de fluxo do tratamento e avaliação de desempenho das ETA

As etapas preliminares têm como objetivo conhecer detalhadamente o processo de produção e avaliar o desempenho de cada ETA em estudo, de forma que possam ser apontadas medidas para adequação do processo de tratamento, como por exemplo, adequação de gradientes de velocidade, taxas de aplicação, tempo de detenção hidráulica.

A Figura 13 apresenta o diagrama de fluxo do processo de tratamento de água em ciclo completo, indicando em etapa do tratamento quais são os principais parâmetros de controle e os procedimentos operacionais de rotina.

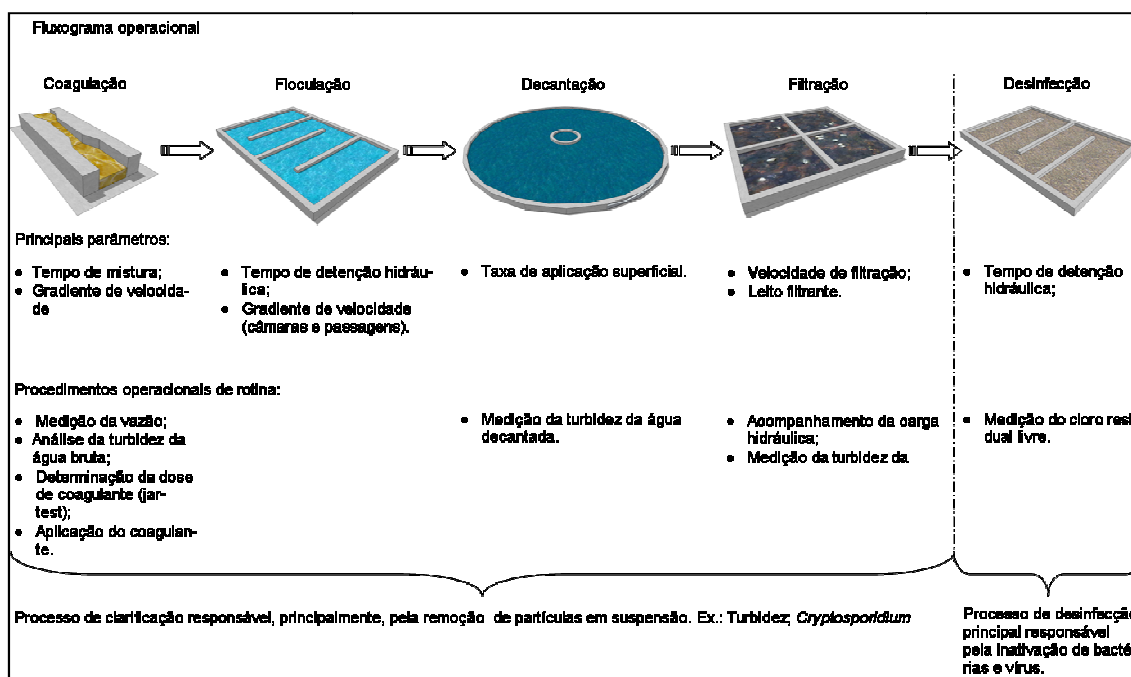


Figura 13 Diagrama de fluxo operacional do tratamento de água em ciclo completo

A seguir estão apresentados os resultados das avaliações de desempenho das três estações de tratamento de água:

5.1.1 Avaliação de desempenho da ETA UFV

- Determinação dos parâmetros operacionais ótimos

A sistematização e análise do banco de dados da turbidez da água bruta com vistas à identificar valores representativos dos períodos de estiagem e de chuvas resultou na identificação dos seguintes valores: (i) estiagem - ~5,0 uT (1º quartil 5,9 uT; mediana 7,2 uT; 3º quartil 9,2 uT) e (ii) chuvas - ~30,0 uT (1º quartil 20,0 uT; mediana 28,5 uT; 3º quartil 50,0 uT).

Para determinação dos valores ótimos de dose e concentração do coagulante (sulfato de alumínio) foram realizados quatro ensaios para o período chuvoso (Tabela 1). Os resultados apontaram como valores ótimos dose de 9 mg.L⁻¹ e concentração de 5%, com os quais foi obtida remoção de turbidez na decantação de 87% (turbidez final = 4,0 uT).

Tabela 1 Resultados dos ensaios de jarros para determinação dos valores ótimos de dose e concentração do coagulante (sulfato de alumínio) para turbidez da água bruta típica de períodos de chuvas no Ribeirão São Bartolomeu, ETA UFV e ETA SAAE I

Ensaio	Parâmetro de controle ⁽¹⁾	1	2	3	4	5	6
Ensaio 1: Turbidez inicial: 41,7 uT pH: 7,2 Alcalinidade: 21,6 Concentração: 5%	Dose de Al ₂ (SO ₄) ₃	5	15	25	35	45	55
	Turbidez decantada	21,3	8,0	25,3	44,3	45,2	43,5
Ensaio 2: Turbidez inicial: 41,7 uT pH: 7,2 Alcalinidade: 21,6 Concentração: 5%	Dose de Al ₂ (SO ₄) ₃	7	10	13	16	19	21
	Turbidez decantada	6,5	5,8	12,7	15,1	14,5	17,6
Ensaio 3: Turbidez inicial: 41,7 uT pH: 7,2 Alcalinidade: 21,6 Concentração: 5%	Dose de Al ₂ (SO ₄) ₃	7	8	9	10	11	12
	Turbidez decantada	8,0	7,5	5,6	8,8	8,5	8,0
Ensaio 4: Turbidez inicial: 31,5 uT pH: 7,6 Alcalinidade: 23,5 Dose: 9 mg / L	Conc. de Al ₂ (SO ₄) ₃ (%)	1	5	10	15	20	25
	Turbidez decantada	10,1	4,0	6,9	5,2	30,0	30,9

(1) dose de sulfato de alumínio em mg.L⁻¹ e turbidez em uT

O tempo e os gradientes de velocidade ótimos de floculação foram determinados após seis ensaios (Tabela 2): 50 a 20 s⁻¹ e 25 minutos.

Tabela 2 Resultados dos ensaios de jarros para determinação dos valores ótimos de gradientes de velocidade e tempo de floculação para turbidez da água bruta típica de períodos de chuvas no Ribeirão São Bartolomeu, ETA UFV e ETA SAAE I

Ensaio	Parâmetros de controle ⁽¹⁾	1	2	3	4	5	6
		Tempo de floculação	5	10	15	20	25
Ensaio 1: Gradiente 70 s ⁻¹ Turbidez inicial: 29,5 uT pH: 7,5 Alcalinidade: 24,5 Concentração: 5% Dose: 9 mg L ⁻¹	Turbidez decantada	24,3	17,9	15,7	19,5	24,6	16,9
Ensaio 2: Gradiente 60 s ⁻¹ Turbidez inicial: 31,6 uT pH: 7,5 Alcalinidade: 24,5 Concentração: 5% Dose: 9 mg L ⁻¹	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	18,8	12,0	13,2	14,2	15,5	19,7
Ensaio 3: Gradiente 50 s ⁻¹ Turbidez inicial: 31,6 uT pH: 7,5 Alcalinidade: 24,5 Concentração: 5% Dose: 9 mg L ⁻¹	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	15,5	12,7	11,6	7,0	4,6	9,0
Ensaio 4: Gradiente 40 s ⁻¹ Turbidez inicial: 31,0 uT pH: 7,5 Alcalinidade: 24,5 Concentração: 5% Dose: 9 mg L ⁻¹	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	18,9	8,4	6,5	8,1	10,1	8,3
Ensaio 5: Gradiente 30 s ⁻¹ Turbidez inicial: 31,0 uT pH: 7,5 Alcalinidade: 24,5 Concentração: 5% Dose: 9 mg L ⁻¹	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	23,4	6,0	5,3	4,8	3,6	3,0
Ensaio 6: Gradiente 20 s ⁻¹ Turbidez inicial: 31,0 uT pH: 7,5 Alcalinidade: 24,5 Concentração: 5% Dose: 9 mg L ⁻¹	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	25,5	6,9	4,9	4,0	2,9	4,0

(1) tempo de floculação em minutos e turbidez em uT

Para determinação da velocidade de sedimentação foram realizados dois ensaios, que indicaram o valor ideal de $2,8 \text{ cm.min}^{-1}$. Aplicando o fator de segurança tradicionalmente recomendado para transposição de resultados de ensaios de bancada para escala real, o valor adotado foi de $28 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$.

Para o período de seca foi realizada a mesma sequência apresentada para o período chuvoso. Os ensaios foram realizados com turbidez da água bruta em torno de $4,5 \text{ uT}$, as doses avaliadas de sulfato de alumínio variaram de 2 a 14 mg.L^{-1} e a concentração do coagulante de 2 a 25%; para a floculação foram avaliados gradientes de velocidade de 20 a 60 s^{-1} e tempo de até 30 min; para a decantação foram testadas velocidades de sedimentação de 1 a $3,5 \text{ cm.min}^{-1}$.

Os resultados, incluindo os dos períodos de chuva e seca, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Parâmetros ótimos de coagulação, floculação e decantação obtidos dos ensaios de tratabilidade com a água bruta do Ribeirão São Bartolomeu para as ETA UFV e SAAE I

Período	Mistura Rápida/Coagulação		Floculação		Decantação
	Dose de sulfato de alumínio	Concentração do sulfato de alumínio	Gradientes de velocidade	Tempo	Taxa de Aplicação Superficial
Seca	6 mg L^{-1}	2%	$50 - 20 \text{ s}^{-1}$	20 min.	$23 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$
Chuva	9 mg L^{-1}	5%	$50 - 20 \text{ s}^{-1}$	25 min.	$28 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$

- Levantamento dos parâmetros reais e, ou teóricos dos processos unitários de tratamento

A medida da vazão na ETA UFV é realizada em calha Parshall com garganta de 6'' (seis polegadas) e demais dimensões padronizadas. Devido à falhas na instalação, não ocorre ressalto hidráulico na calha Parshall e por, conseguinte, não há aí gradiente de mistura adequado. O ponto de maior agitação ocorre na interligação entre a calha e a primeira câmara de floculação, onde há um vertedouro com saída em queda livre, ou seja, a mistura se dá de fato na primeira câmara de floculação.

O coagulante utilizado é o sulfato de alumínio líquido com concentração de 5%, sendo que a dose a ser aplicada é determinada diariamente por ensaios de jarros. Quanto ao ponto e forma de aplicação do coagulante, estes ocorrem de forma adequada, ou da melhor forma possível, ou seja, no ponto de ‘maior gradiente de velocidade’ e com dispositivo para a melhor distribuição do coagulante na massa líquida. A dosagem é realizada através de bomba dosadora.

A avaliação da hidrodinâmica do floculador e do decantador foi realizada com ensaios com traçador (NaCl), em duas situações (antes e após a limpeza). Os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Para o floculador, nos dois ensaios, houve predomínio de fluxo em pistão e inexistência de zonas mortas, que vêm a ser características positivas para a unidade de floculação. Percebe-se também na Tabela 4 a ocorrência de tempos de detenção excessivos: 40 e 35 min, respectivamente para as vazões de 50 e 60 L.s⁻¹. Excessivos porque nos ensaios de bancada tempos de 20 a 25 minutos se mostraram suficientes e adequados para uma boa floculação.

Tabela 4 Características hidrodinâmicas do floculador e do decantador da ETA UFV

Unidade	Situação	Vazão (L.s ⁻¹)	TDH (min.)		Tipo de fluxo (%)		Zonas mortas (%)
			Teórico	Real	Pistão	Mistura Completa	
Floculador	Pré-limpeza	60	33	35	66	34	0
	Pós-limpeza	50	39	40	74	26	0
Decantador	Pré-limpeza	60	228	221	57	53	22
	Pós-limpeza	50	274	214	43	47	3

Os gradientes velocidade reais nas passagens entre as câmaras do floculador são maiores que os encontrados nas câmaras antecedentes, podendo, assim, causar rompimento dos flocos, prejudicando a floculação e a posterior decantação. Portanto, torna-se necessário o redimensionamento da área das passagens entre as câmaras. Os gradientes nas câmaras de floculação também necessitam de ajustes para que ocorram

de forma decrescente e compatível com os valores encontrados no ensaio de tratabilidade (Tabela 5).

Tabela 5 Gradientes de velocidade do floculador para vazão de 50 L.s⁻¹,ETA UFV

Local	Gradientes de velocidade (s ⁻¹)					
	1	2	3	4	5	6
Câmara	11	33	30	27	30	32
Passagem	88	119	115	85	78	-

A taxa de aplicação superficial do decantador é de 17 m³.m⁻².d⁻¹ para a vazão de 50L.s⁻¹, portanto, menor do que a determinada nos ensaios de bancada.

O gradiente de velocidade na conexão entre o floculador e decantador (tubulação de ferro fundido) é satisfatório (inferior ao da última câmara de floculação). Porém, na cortina distribuidora o gradiente de velocidade calculado se mostrou elevado, podendo provocar rompimento dos flocos formados e o comprometimento da decantação.

O decantador apresentou baixos percentuais de fluxo em pistão (57 e 43% de fluxo em pistão, quando limpo e sujo, respectivamente). Isso pode estar relacionado ao desnivelamento da borda vertedoura, evidenciado pela medição da vazão linear em todo seu perímetro. Essa avaliação foi feita dividindo decantador em cinco regiões (OLIVEIRA *et al*, 2006a) (Figura 14).

Pelos resultados apresentados na Figura 15 e pelas ilustrações da Figura 16, infere-se que as regiões 1 e 2, possivelmente, contribuem com a ocorrência de fluxos preferenciais, enquanto as regiões 3 e 4 contribuiriam para a ocorrência de zonas mortas.



Figura 14 Vista do decantador da ETA UFV com representação das cinco regiões de medição de vazão

Fonte: Oliveira *et al.*(2006a)

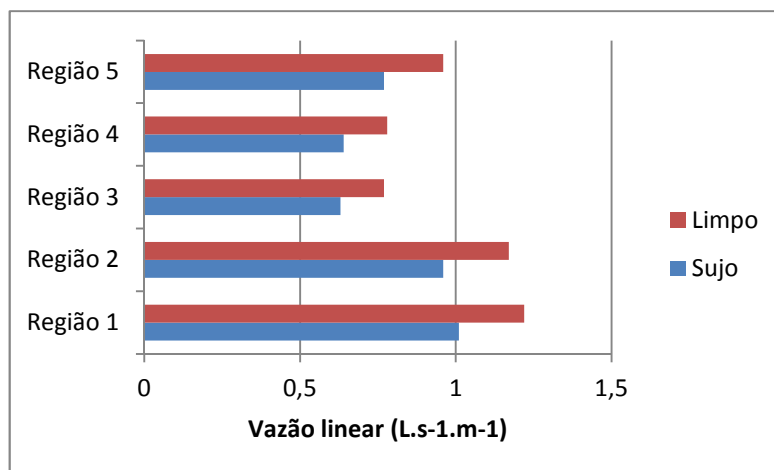


Figura 15 Distribuição de vazão na borda vertedoura do decantador da ETA UFV, antes e após a limpeza

Fonte: Oliveira *et al.*(2006a)

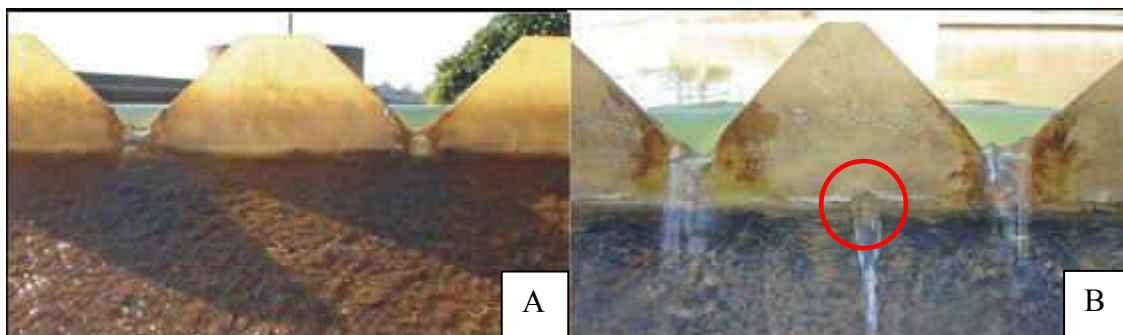


Figura 16 Detalhes da coleta de água decantada nas bordas vertedoras do decantador da ETA UFV, regiões 4 (A) e 2 (B).

Fonte: Oliveira *et al.*(2006a)

A filtração é composta por dois filtros rápidos descendentes, cada um com 20,7 m² de área superficial e taxa de filtração de 208 m³.m⁻².dia⁻¹. O leito filtrante apresenta as características descritas na Tabela 6.

Tabela 6 Características do leito filtrante dos filtros da ETA UFV

Camada	Dimensão	Material	Espessura
1	12 a 19 mm	seixo rolado	8 cm
2	6 a 12 mm	seixo rolado	9 cm
3	3 a 6 mm	seixo rolado	10 cm
4	2 a 3 mm	seixo rolado	6cm
5	1 a 2 mm	seixo rolado	6 cm
6	T.E. 0,4 a 0,42. Cu<1,3	areia quartzosa	25 cm

TE = Tamanho efetivo e Cu = Coeficiente de uniformidade

Na avaliação do processo de limpeza dos filtros foram identificados diferentes procedimentos de lavagem, ou seja, cada operador realiza a limpeza da forma que acha mais adequada (OLIVEIRA *et al.*, 2006b).

Os procedimentos de lavagem foram classificados em três grupos (Figuras 17 e 18):

(i) Grupo 1 (G1), constituído por oito carreiras de filtração. É caracterizado por picos acima de 100 uT no início da lavagem (1,0 min), seguidos por decréscimo lento na turbidez da água de lavagem; no início da carreira o efluente filtrado apresenta um pico de turbidez, decai com relativa rapidez e se estabiliza, abaixo 0,5 uT, por volta de 20 minutos;

(ii) Grupo 2 (G2), constituído por 13 carreiras de filtração. Apresenta picos menos acentuados de turbidez da água de lavagem (≈ 70 uT), seguidos também por decréscimo relativamente lento; nesse caso a estabilização do efluente filtrado abaixo de 0,5 uT é mais lenta (acima de 40 min).

(iii) Grupo 3 (G3), constituído por duas carreiras de filtração. As lavagens provocam também pico iniciais elevados de turbidez (≈ 100 uT), porém mais retardados, seguidos de quedas mais bruscas da turbidez da água de lavagem; com tal procedimento, o efluente filtrado não atende ao padrão de potabilidade brasileiro (1 uT) durante os 25 minutos iniciais da carreira de filtração.

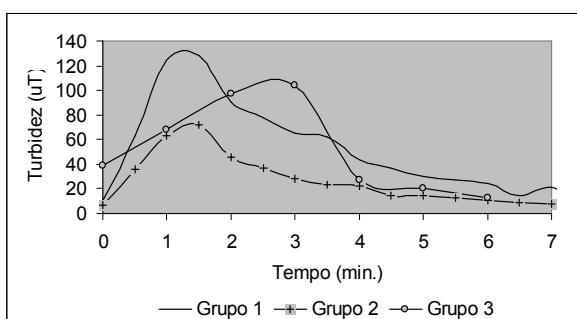


Figura 17: Turbidez da água de lavagem dos filtros, ETA UFV

Fonte: Oliveira *et al.* (2006b)

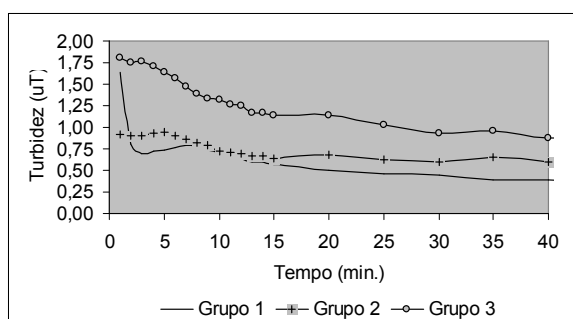


Figura 18 Turbidez da água filtrada após a lavagem, ETA UFV

Fonte: Oliveira *et al.* (2006b)

Foi possível constatar que o procedimento de lavagem dos filtros do Grupo 1 resultou em atendimento mais sistemático de turbidez da água filtrada com vistas a assegurar a adequada remoção (oo)cistos de protozoários: 95% dos dados com turbidez $< 0,39$ uT; para os grupos 2 e 3, esse percentual corresponde a valores de turbidez de 0,64 uT e 0,67 uT, respectivamente.

O melhor procedimento de lavagem dos filtros representado pelo Grupo 1 (pico de turbidez de água de lavagem bem acentuado e no início da operação) fica também evidente com a análise da duração média das carreiras de filtração (Tabela 7). O procedimento do Grupo 3 também resultou em boa duração média das carreiras, porém, como já demonstrado, a qualidade da água filtrada foi inferior.

Tabela 7 Caracterização das carreiras de filtração de acordo com os diferentes procedimentos de lavagem dos filtros - ETA UFV

Procedimento de lavagem dos filtros	Duração	
	Carreira (h)	Lavagem (min.)
Grupo 1	44,8	7,1
Grupo 2	34,4	7,1
Grupo 3	41,2	6,0

O tanque de contato possui TDH teórico de 11 minutos e 42 segundos para vazão de $50 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. Para essa vazão, o ensaio com traçador (cloro), revelou pico de cloro residual em torno de 17 minutos e tempo de detenção real de 16 minutos e 23 segundos; a avaliação do ensaio com traçador pelo método Wolf-Resnick revelou predomínio do fluxo em pistão (73%) e inexistência de zonas mortas, indicando que, do ponto de vista hidrodinâmico, a desinfecção ocorre sob condições satisfatórias.

A concentração de cloro residual na saída do tanque de contato variou entre 1 a $1,2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Portanto, os valores de CT variam entre 16 a $19 \text{ mg L}^{-1} \text{ min}^{-1}$, valores estes de acordo com as disposições da Portaria 518/2004 ($15 \text{ mg L}^{-1} \text{ min}^{-1}$).

5.1.2 Avaliação de desempenho da ETA SAAE I

- Determinação dos parâmetros operacionais ótimos

Como a captação da ETA UFV e SAAE I estão localizadas no mesmo ponto, os resultados são os mesmos apresentados no item 5.1.1

- Determinação dos parâmetros reais e, ou teóricos dos processos unitários de tratamento

A medida da vazão na ETA SAAE I é realizada em calha Parshall com garganta de 9” (nove polegadas) e demais dimensões padronizadas. A leitura da vazão é realizada através de sonda ultrassônica. Devido a falhas na instalação, não ocorre ressalto hidráulico na calha Parshall e, por conseguinte, gradiente de mistura inadequado. De acordo com as medidas realizadas, o gradiente de velocidade na saída da calha Parshall é de 150 s^{-1} , bem abaixo do recomendado.

O coagulante utilizado é o sulfato de alumínio líquido com concentração de 50%, portanto, bem acima do determinado nos ensaios de tratabilidade (2 a 5% - Tabela 3). A

determinação da dose a ser aplicada é realizada diariamente, por meio de ensaios de jarros.

Quanto ao ponto e forma de aplicação do coagulante estes ocorrem de forma adequada, ou da melhor forma possível, ou seja, no ponto de “maior gradiente de velocidade” e com dispositivo para a melhor distribuição do coagulante na massa líquida. A dosagem é realizada através de bomba dosadora.

Os ensaios com traçador para avaliação da hidrodinâmica do floculador e do decantador apresentaram predominância do fluxo em pistão nos dois reatores, sendo que no decantador o predomínio é apenas discreto (56%). Foram encontrados percentuais de 5 e 8% de zonas mortas, respectivamente para o floculador e o decantador. Outro aspecto importante é a proximidade verificada entre os TDH teórico e real (Tabela 8). A Figura 19 apresenta a curva de condutividade x tempo do ensaio com traçador no floculador da ETA SAAE I.

Tabela 8 Características hidrodinâmicas do floculador e do decantador da ETA SAAE I

Unidade	TDH (min.)		Tipo de fluxo (%)		Zona morta (%)
	Teórico	Real	Pistão	Mistura Completa	
Floculador	25	27	69	31	5
Decantador	127	115	56	44	8

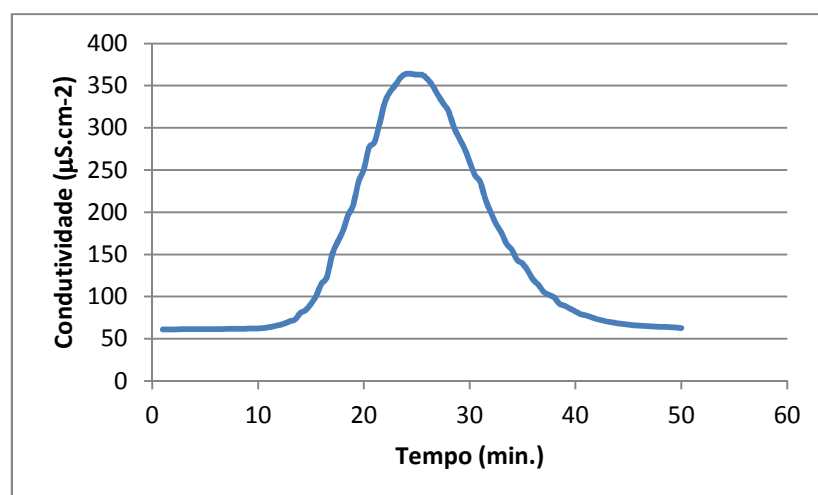


Figura 19 Resultado do ensaio com traçador do floculador da ETA SAAE I, avaliação pelo método convencional

Os levantamentos de campo revelaram que os gradientes de velocidade nas câmaras de floculação variam de forma decrescente, entre 53 a 35 s⁻¹; revelaram também que os gradientes das passagens encontram-se abaixo dos valores encontrados na câmara anterior, o que é recomendado.

Em geral, conforme apresentado nas Tabelas 3 e 8, os parâmetros reais de operação do floculador e do decantador são bem próximos aos determinados nos ensaios de tratabilidade.

Entretanto, a taxa de aplicação superficial do decantador (39 m³.m⁻².dia⁻¹) é superior à encontrada nos ensaios de jarros (máximo para o período de chuva de 28 m³.m⁻².dia⁻¹). Com relação aos dispositivos de entrada e saída do decantador, o gradiente de velocidade calculado na cortina de distribuição mostrou-se adequado. Além disso, a avaliação do nivelamento da borda vertedoura revelou resultado satisfatório, com desnível máximo de 1 cm entre os pontos 2, 6, 7 e 9 em relação ao ponto 8 (Figura 20).

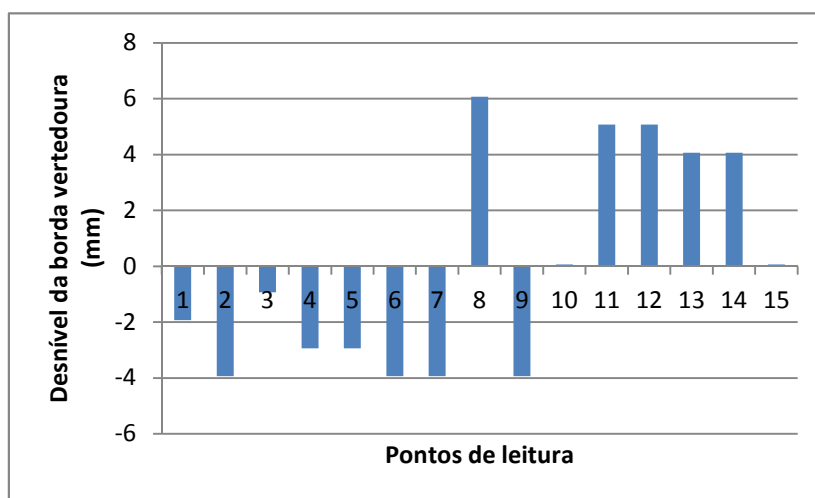


Figura 20 Avaliação do nivelamento das bordas vertedouras da ETA SAAE I

A avaliação dos quatro filtros ascendentes da ETA SAAE I revelou que o processo de limpeza não é padronizado. Em alguns procedimentos, a turbidez da água de lavagem atinge valores de até 1000 uT (Filtro 4), já em outros, o pico de turbidez é de apenas 120 uT (Filtro 1) (Figura 21 - esquerda).

A limpeza insuficiente dos leitos filtrantes é percebida nitidamente pelo elevado tempo demandado após a limpeza para o decaimento da turbidez da água filtrada até o alcance do padrão de 1,0 uT, com destaque para o Filtro 1 que até o final da avaliação (60 min.) não atingiu o padrão de potabilidade em nenhuma das lavagens (Figura 21 - direita).

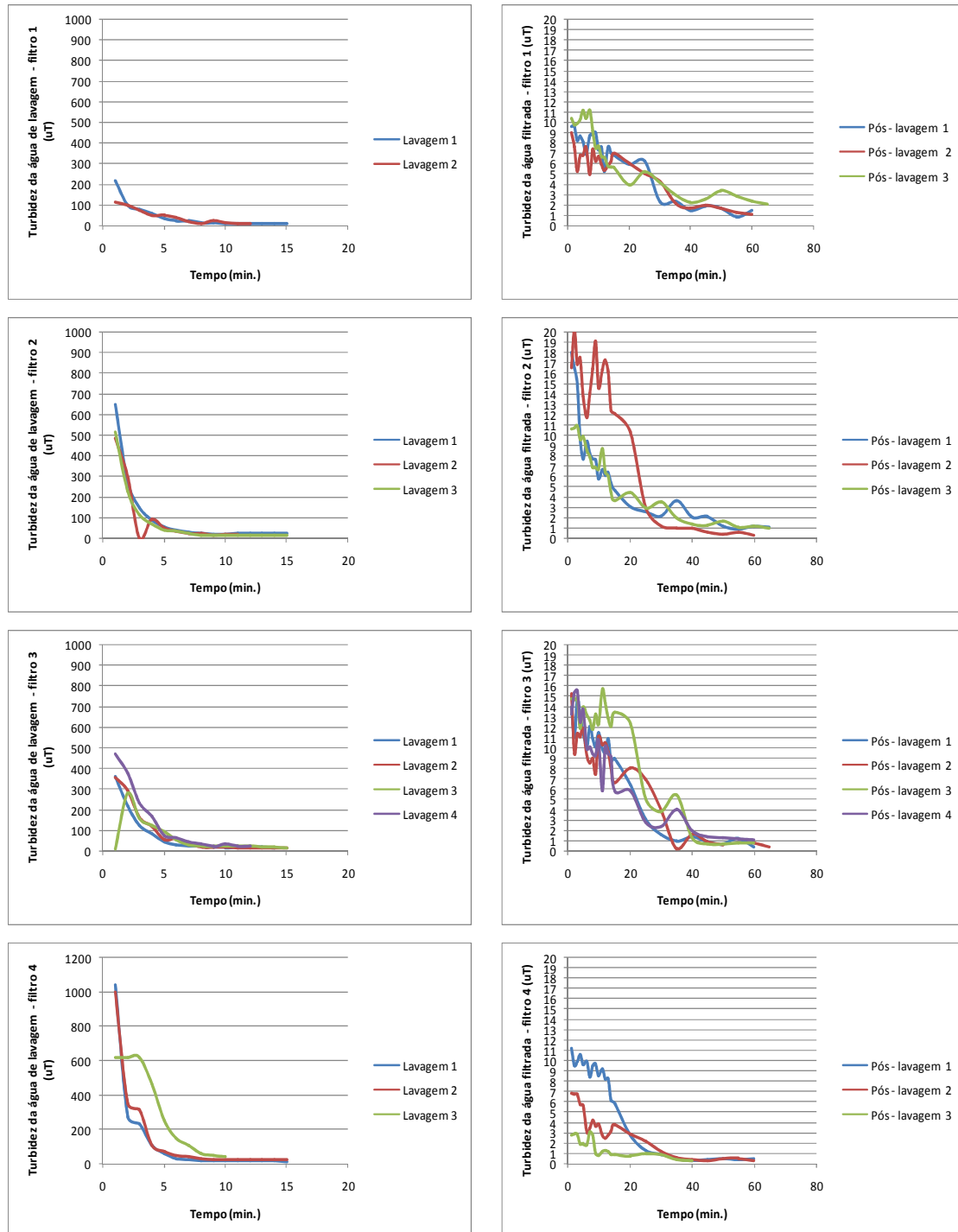


Figura 21 Turbidez da água de lavagem (gráficos à esquerda) e da água filtrada (gráficos à direita) após as operações de limpeza, ETA SAAE I.

A expansão do leito filtrante mostrou-se adequada, com percentuais médios de 35 a 41% para vazão de lavagem variando de 197 a 248 L.s⁻¹, ou velocidades ascensionais de 99 a 125 cm.min⁻¹. Os índices de dureza (relação entre a perda de carga crítica -valor da perda de carga quando a turbidez da água filtrada atinge 1 uT, e a perda de carga máxima), inferiores a 1,0 indicam a formação de flocos frágeis e, ou, problemas operacionais, como por exemplo, a elevada TAS na decantação (Tabela 9).

Tabela 9 Avaliação das carreiras de filtração da ETA SAAE I

Parâmetro	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4
Índice de dureza	0,37	0,62	0,65	0,67
Vazão de lavagem (L.s ⁻¹)	248	236	214	197
Expansão do leito filtrante (%)	40	35	41	38

Com relação à desinfecção, não foi possível obter informações relacionadas ao tanque de contato, o que comprometeu o estudo dessa etapa.

5.1.3 Avaliação de desempenho da ETA SAAE II

- Determinação dos parâmetros operacionais ótimos

Para determinação do par ótimo de valores dose x concentração de sulfato de alumínio foram realizados três ensaios, conforme apresentado na Tabela 10.

Os resultados apontaram dose de 6 mg/L e concentração de 1%. Com este par de valores foi obtida remoção de 59% de turbidez (turbidez final 4,7 uT).

Tabela 10 Resultados dos ensaios de jarros para determinação do par de valores dose x concentração de coagulante para turbidez da água bruta típica de períodos de seca no Rio Turvo Sujo

Ensaio	Parâmetros de controle ⁽¹⁾	1	2	3	4	5	6
Ensaio 1: Turbidez inicial: 11,5 uT Cor inicial: 70 uC pH: 7,1 Alcalinidade: 19,1 Concentração: 2%	Dose de $Al_2(SO_4)_3$ mg/L	4	6	8	10	12	14
	Turbidez decantada	8,2	7,2	8,8	10,0	10,8	12,0
Ensaio 2: Turbidez inicial: 11,5 uT Cor inicial: 70 uC pH: 7,1 Alcalinidade: 19,1 Dose: 6 mg / L	Concentração de $Al_2(SO_4)_3$ %	0,5	1	2	4	6	8
	Turbidez decantada	6,9	5,3	5,5	6,6	6,3	10,1
Ensaio 3: Turbidez inicial: 11,5 uT Cor inicial: 70 uC pH: 7,1 Alcalinidade: 19,1 Concentração: 1%	Dose de $Al_2(SO_4)_3$ mg/L	2	4	6	8	10	12
	Turbidez decantada	11,8	11,0	4,7	5,0	6,7	11,6

(1) dose de sulfato de alumínio em $mg.L^{-1}$ e turbidez em uT

O tempo e os gradientes de floculação foram determinados após seis ensaios, conforme apresentado na Figura 22 e na Tabela 11. Concluiu-se que os gradientes de floculação para a água avaliada devem variar de 40 a 20 s^{-1} , por 20 minutos.

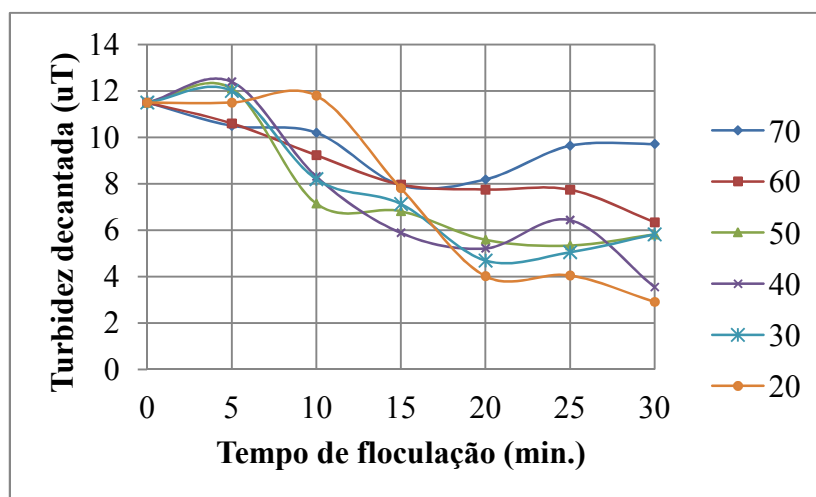


Figura 22 Resultados dos testes de jarros para a determinação do tempo e dos gradientes de velocidade de floculação, ETA SAAE II

Tabela 11 Resultados dos ensaios de jarros para determinação dos gradientes de velocidade e do tempo de floculação para turbidez da água bruta típica de períodos de seca no Rio Turvo Sujo

Ensaio	Parâmetros de controle ⁽¹⁾	1	2	3	4	5	6
Ensaio 1: Gradiente 70 s ⁻¹ Turbidez inicial: 11,5 uT Cor inicial: 70 uC pH: 7,1 Alcalinidade: 19,1 Concentração: 1% Dose: 6 mg/L	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	10,5	10,2	7,9	8,2	9,6	9,7
Ensaio 2: Gradiente 60 s ⁻¹ Turbidez inicial: 11,5 uT Cor inicial: 70 uC pH: 7,1 Alcalinidade: 19,1 Concentração: 1% Dose: 6 mg/L	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	10,6	9,2	8,0	7,8	7,7	6,3
Ensaio 3: Gradiente 50 s ⁻¹ Turbidez inicial: 11,5 uT Cor inicial: 70 uC pH: 7,1 Alcalinidade: 19,1 Concentração: 1% Dose: 6 mg/L	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	12,1	7,2	6,8	5,6	5,3	5,8
Ensaio 4: Gradiente 40 s ⁻¹ Turbidez inicial: 11,5 uT Cor inicial: 70 uC pH: 7,1 Alcalinidade: 19,1 Concentração: 1% Dose: 6 mg/L	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	12,4	8,3	5,9	5,2	6,4	3,6
Ensaio 5: Gradiente 30 s ⁻¹ Turbidez inicial: 11,5 uT Cor inicial: 70 uC pH: 7,1 Alcalinidade: 19,1 Concentração: 1% Dose: 6 mg/L	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	12,0	8,2	7,1	4,7	5,1	5,8
Ensaio 6: Gradiente 20 s ⁻¹ Turbidez inicial: 11,5 uT Cor inicial: 70 uC pH: 7,1 Alcalinidade: 19,1 Concentração: 1% Dose: 6 mg/L	Tempo de floculação	5	10	15	20	25	30
	Turbidez decantada	11,5	11,8	7,8	4,0	4,0	2,9

(1) tempo de floculação em minutos e turbidez em uT

Os ensaios para determinação da velocidade de sedimentação indicaram um valor ótimo de 30 m.dia^{-1} . Aplicando o fator de segurança tradicionalmente recomendado, o valor adotado foi de $23 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

Na Tabela 12 estão apresentados, resumidamente, os resultados encontrados no ensaio de tratabilidade para ETA SAAE II.

Tabela 12 Parâmetros ótimos obtidos dos ensaios de tratabilidade com a água bruta do Rio Turvo Sujo para a ETA SAAE II.

ETA	Período	Mistura Rápida/Coagulação		Floculação		Decantação
		Dose de sulfato de alumínio	Concentração	Gradiente de velocidade	Tempo	Taxa de Aplicação Superficial
SAAE II	Seca	6 mg/L	1%	40 – 20 s^{-1}	20 min.	$23 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$

- Determinação dos parâmetros reais e, ou teóricos dos processos unitários de tratamento

A medida da vazão e a mistura rápida são realizadas em calha Parshall com garganta de 9” (nove polegadas) e demais dimensões padronizadas. A leitura da vazão é realizada através de uma sonda ultrassônica.

Segundo um relatório elaborado pelo SAAE com intuito de levantar as necessidades de adaptações para ampliação da vazão da ETA para 200 L.s^{-1} (vazão atual $80 - 150 \text{ L.s}^{-1}$), uma canalização de diâmetro 400 mm conduz a água da calha Parshall para o primeiro compartimento do floculador. As condições de entrada nessa canalização não são adequadas, ocasionando que, tão logo a ETA é colocada em funcionamento, certa quantidade de ar permaneça aprisionado em seu interior, produzindo refluxo e fazendo com que parte da água coagulada espirre para fora do canal de chegada. Esse fato não permitiu a medida adequada do perfil da lâmina d’água (grande oscilação), inviabilizando o cálculo do gradiente de velocidade de mistura. De toda forma, é possível concluir que as condições ideais de mistura estão comprometidas.

O coagulante utilizado é o sulfato de alumínio líquido com concentração de 50%, bem acima do valor obtido nos ensaios de tratabilidade (1% - Tabela 12). A dose de coagulante a ser aplicada é determinada com base na ‘experiência do operador’, sem a

realização de ensaios de jarros. O ponto e a forma de aplicação do coagulante são adequados, ou seja, no ponto de ‘maior gradiente de velocidade’ e com dispositivo para melhor distribuição do coagulante na massa líquida. A dosagem é realizada através de bomba dosadora.

A floculação hidráulica é realizada em floculador do tipo Cox subdividido em 9 câmaras, cujas dimensões e principais parâmetros operacionais estão apresentados na Tabela 13.

A avaliação pelo método Wolf-Resnick do ensaio com traçador (NaCl) demonstrou que o floculador apresenta boas condições hidrodinâmicas, quais sejam, predominância de fluxo em pistão (66 %) e pequeno índice de zonas mortas (< 1%) (Figura 23).

Tabela 13 Principais dimensões e parâmetros da floculação da ETA SAAE II

	Floculador	Câmaras	Passagens
Comprimento (m)	25,0	2,2	0,68 – 0,62
Largura (m)	2,0	2,0	0,70 – 0,64
Profundidade (m)	3,5	3,5	-
TDH (min.) (80/150L.s ⁻¹)	~ 34,0 / 18,0	~4,0 / 2,0	-
Gradiente (s ⁻¹) (80/150L.s ⁻¹)	-	43 – 24 / 64 – 45	4 – 20 / 10 – 50

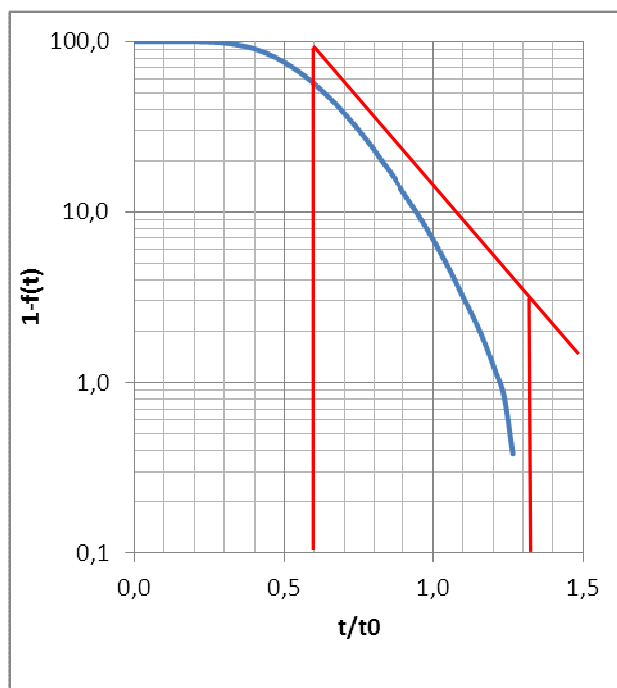


Figura 23 Resultados do ensaio com traçador no floculador da ETA SAAE II, avaliação pelo método Wolf-Resnick.

A água floculada é direcionada para dois decantadores retangulares com seguintes dimensões (cada): largura = 5 m, comprimento = 20,5 m e profundidade = 3,5 m. Portanto, para vazões de 80 e 150 L.s⁻¹ as taxas de aplicação superficial são, respectivamente, 33 m³.m⁻².d⁻¹ e 62 m³.m⁻².d⁻¹. Ambas são superiores ao valor determinado nos ensaios de tratabilidade (23 m³.m⁻².d⁻¹ – Tabela 12).

Os resultados do ensaio com traçador para avaliação dos decantadores estão apresentados na Figura 24. Nota-se que não foi possível concluir o ensaio no decantador 1, uma vez que, por questões operacionais, a estação teve sua vazão alterada antes que a condutividade elétrica se estabilizasse. Este fato impossibilitou a estimativa do tipo de fluxo predominante e de zonas mortas. Para o decantador 2, os resultados demonstraram a predominância do fluxo em pistão (74%) e ausência de zonas mortas. Com base na estimativa do tempo de detenção hidráulica real do decantador 2, pode-se estimar a vazão de entrada no mesmo (vazão = volume / tempo) e, conseqüentemente, estimar a distribuição da vazão nos decantadores. O resultado encontrado comprova o que pode ser percebido até mesmo visualmente, ou seja, o decantador 2, para vazão de 80 L.s⁻¹, recebe 75% de toda a água tratada

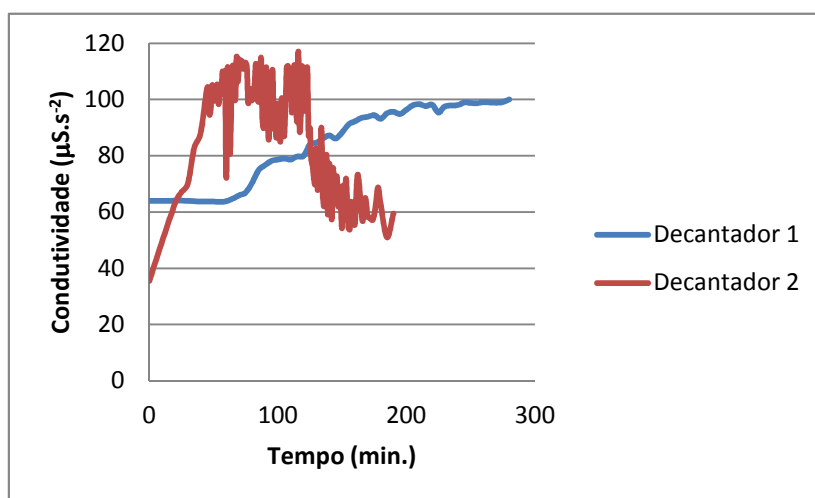


Figura 24 Resultado dos ensaios com traçador nos decantadores 1 e 2 da ETA SAAE II, avaliação pelo método convencional.

Quanto aos dispositivos de entrada e saída dos decantadores, foi detectado que a canaleta que distribui água floculada para os decantadores apresenta dimensões

irregulares, o que contribui para a distribuição irregular de vazão entre os decantadores (Figura 25).



Figura 25 Detalhe de uma das passagens da canaleta de distribuição de água floculada para o decantador 1, ETA SAAE II

O gradiente de velocidade na cortina de distribuição mostrou-se adequado, com valor de 3 s^{-1} . De acordo com a profundidade e a velocidade de sedimentação, pode ser calculada a vazão por metro de calha para coleta de água decantada (Equação 7) (ABNT 1992).

$$q = 0,018 \times H \times V_s \quad (7)$$

Onde: q – vazão por metro de calha coletora de água decantada

H – profundidade do decantador (m)

V_s – velocidade de sedimentação determinada no ensaio de tratabilidade

Pela Equação 7 a vazão por metro de calha coletora para a ETA SAAE II deveria ser $1,45 \text{ L.s}^{-1}.\text{m}$, o que demanda 55 m de calha para a vazão de 80 L.s^{-1} . No entanto a o decantador conta com 50 m de calha coletora. Quanto ao nivelamento das calhas, o levantamento de campo demonstrou que decantador 1 apresenta desnível de até 3,5 cm

entre o pontos máximos e mínimos e o decantador 2 desnível de até 5,2 cm. Quando a análise é feita considerando todos os pontos (calhas dos decantadores 1 e 2) o desnível chega a 6,8 cm. Quando é comparado o nível médio da calha do decantador 1 com o do decantador 2 o desnível é de 2,2 cm. Este desnivelamento entre as calhas também contribui para má distribuição da vazão entre os decantadores, comprometendo também a hidrodinâmica dos decantadores.

A ETA SAAE II possui dois filtros rápidos descendentes com taxa de filtração de $191 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ e leito filtrante de areia com espessura média de 1,55 e 1,42 m, nos filtros 1 e 2, respectivamente. Por problemas operacionais, não foi possível levantar as demais características do processo de filtração. As Figuras 26 e 27 (Filtro 1) e 28 e 29 (Filtro 2) apresentam os resultados obtidos na avaliação da limpeza dos filtros.

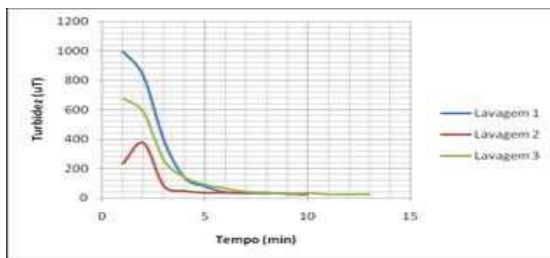


Figura 26 Turbidez da água de lavagem durante a limpeza do Filtro 1, ETA SAAE II

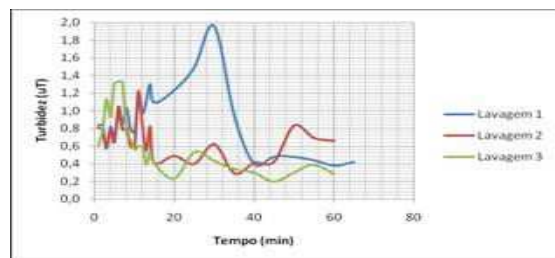


Figura 27 Turbidez da água filtrada após a lavagem do Filtro 1, ETA SAAE II

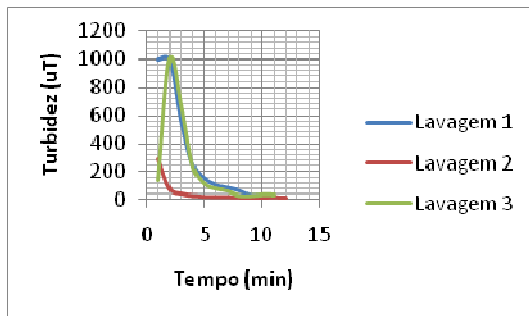


Figura 28 Turbidez da água de lavagem durante a limpeza do Filtro 2, ETA SAAE II

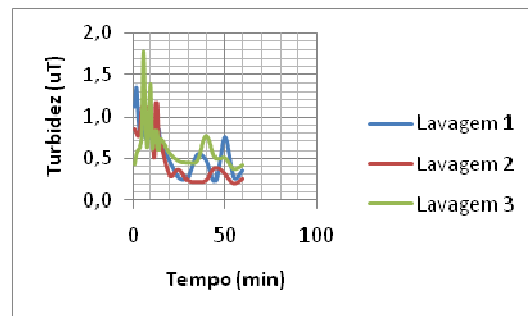


Figura 29 Turbidez da água filtrada após a lavagem do Filtro 2, ETA SAAE II

Os resultados foram semelhantes para os dois filtros: boa remoção dos flocos retidos, baixa turbidez ao final das lavagens ($\sim 20 \text{ uT}$) e expansão adequada, em torno de 40%. Porém, a turbidez da água filtrada no início da operação apresenta valores fora do

padrão de potabilidade; somente após 20 min de operação o efluente se estabiliza com turbidez abaixo de 1,0 uT (com exceção da lavagem 1 do filtro 1).

Com relação à desinfecção não foram disponibilizadas e não foi possível fazer o levantamento das dimensões do tanque de contato, o que inviabilizou a realização dos ensaios.

5.2 Princípio 1: Identificação de perigos

Conforme destacado no tópico referente à remoção de organismos patogênicos por meio do tratamento da água e AQRM aplicada ao tratamento de água para consumo humano, os principais perigos³ presentes nos mananciais e estações de tratamento de água são as bactérias, os vírus e os protozoários com destaque para *Campylobacter*, os rotavírus, o *Cryptosporidium* e *Giardia*.

No monitoramento realizado nos pontos de captação dos mananciais que abastecem os sistemas em estudo foi avaliada a presença de *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., coliformes totais e *Escherichia coli*, sendo que os dois últimos são de modo geral indicadores da presença de bactérias patogênicas.

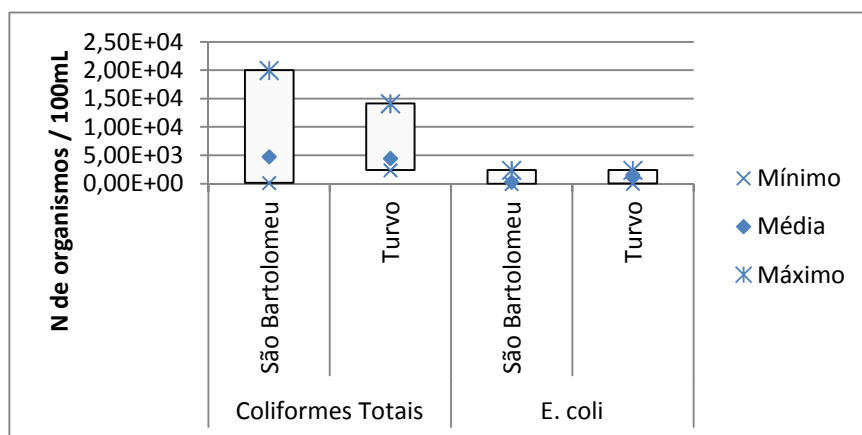


Figura 30 Identificação de coliformes totais e *Escherichia coli* no ponto de captação dos sistemas ETA UFV, ETA SAAE I e II

³ Perigo é o agente biológico, químico ou físico, ou propriedade do alimento com potencial de causar efeito adverso à saúde. No entanto este trabalho restringe-se a identificação de perigos microbiológicos nas estações convencionais de tratamento de água.

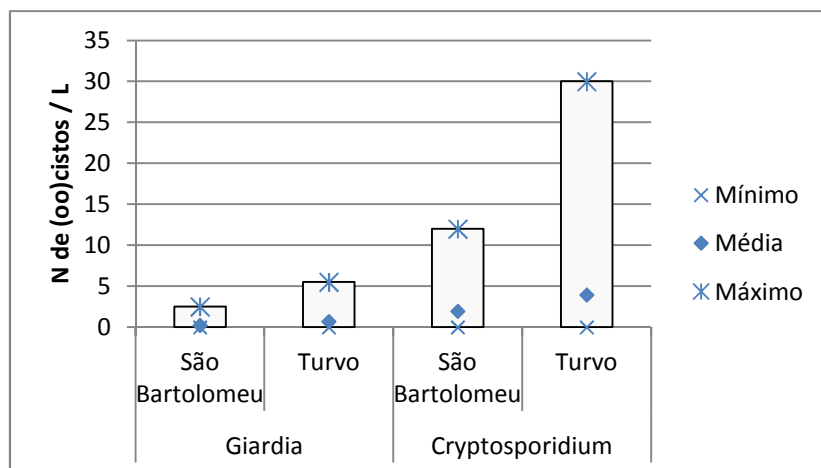


Figura 31 Identificação de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp no ponto de captação dos sistemas ETA UFV, ETA SAAE I e II

As Figuras 30 e 31 demonstram a presença dos microrganismos monitorados nos dois mananciais em estudo, que em outras palavras confirma a presença do perigo, indicando a necessidade de remoção e inativação dos mesmos. Com relação aos protozoários, nos meses onde foi identificada uma maior contaminação, ou seja, maior risco, chegou-se a valores de 2,5 e 5 cistos de *Giardia* spp.L⁻¹ para o Ribeirão São Bartolomeu e Rio Turvo, respectivamente. Para oocistos de *Cryptosporidium* spp. os valores foram 12 e 30 oocisto/L, respectivamente para o Ribeirão São Bartolomeu e Rio Turvo.

Como exemplo, se considerarmos a qualidade da água no pior mês de monitoramento para *Cryptosporidium* spp. (12 e 30 oocisto/L, respectivamente para o Ribeirão São Bartolomeu e Rio Turvo), a eficiência de remoção máxima para o tratamento em ciclo completo (3,0 log) e consumo diário de água de 2,0 L. Estaríamos trabalhando com risco de infecção anual de $1,75 \times 10^{-2}$ e $4,32 \times 10^{-2}$, valores acima do recomendado pela OMS, que é de $1,00 \times 10^{-4}$.

No entanto, vale ressaltar que mesmo que não fosse detectada a presença dos microrganismos no manancial, eles continuariam sendo considerados perigo, uma vez que a análise de perigo e ponto crítico de controle tem como uma de suas principais características o caráter preventivo, ou seja, é importante comprovar que o perigo está sob controle.

5.3 Princípio 2: Identificação de Pontos Críticos de Controle

Entende-se por PCC pontos ao longo do sistema de tratamento de água onde há um ou mais perigos que ofereçam riscos à saúde, que possam ser monitorados de forma sistemática e contínua com resposta imediata. Para os PCC é possível estabelecer limites críticos e/ou operacionais e as respectivas medidas de controle, de modo a prevenir, reduzir ou eliminar o perigo à um nível aceitável.

Como preconiza a metodologia APPCC, a identificação de PCC foi realizada através da aplicação da árvore de decisão. Porém como mencionado na introdução deste trabalho a produção de água potável diferencia da produção de alimentos, principalmente pelos seguintes aspectos: (i) qualidade da “matéria prima”; (ii) quantidade e disponibilidade de “matéria prima”; (iii) tempo entre a produção e consumo. O que decorre principalmente dos itens i e ii é basicamente o fato que na indústria de alimentos de modo geral a APPCC visa não introduzir o perigo ao produto e no abastecimento de água para consumo humano o objetivo é remover a contaminação.

Diante disto foi avaliada a árvore de decisão proposta por Vieira 2005 que busca adaptar a identificação de pontos críticos de controle ao tratamento de água para consumo humano. Basicamente as modificações propostas por Vieira consistem na adaptação da terminologia, não alterando os princípios da árvore de decisão original do Codex Alimentarius.

Para responder as questões apresentadas na árvore de decisão deve ser feita a avaliação da capacidade real de remoção ou redução do perigo nas etapas do processo de tratamento. Conforme apresentado a seguir, para o tratamento de água para consumo humano as etapas que devem ser avaliadas são: (i) filtração com relação a remoção de protozoários e (ii) desinfecção com relação à inativação de vírus e bactérias.

- Avaliação da etapa de “filtração” relacionada ao perigo “protozoários”:

Os resultados da pesquisa de protozoários realizada no efluente dos filtros das ETA em estudo estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 Pesquisa de protozoários realizada no efluente dos filtros – valores médios

ETA	Micro-organismos	Filtração				Filtrada (média)
		Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	
SAAE I	Cryptosporidium	2,78	0,08	2,15	0,38	1,35
	Giardia	0,29	0,03	0,43	ND	0,19
SAAE II	Cryptosporidium	1,45	0,63	-	-	1,04
	Giardia	0,25	ND	-	-	0,13
UFV	Cryptosporidium	0,18	0,83	-	-	0,51
	Giardia	ND	ND	-	-	ND

Considerando o risco de infecção anual de 1×10^{-4} como aceitável e consumo diário de 2 litros de água por dia tem-se a necessidade de produzir um efluente filtrado de $3,42 \times 10^{-5}$ oocistos de *Cryptosporidium*.L⁻¹ e $6,85 \times 10^{-6}$ cistos de *Giardia*.L⁻¹ (Tabela 15).

Tabela 15 Cálculo da qualidade microbiológica da água pós filtração considerando risco de infecção anual aceitável de 1×10^{-4}

	Cryptosporidium	Giardia
Risco de infecção anual aceitável	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$
Risco de infecção diário aceitável	$2,74 \times 10^{-7}$	$2,74 \times 10^{-7}$
Relação dose-resposta	$4,00 \times 10^{-3}$	$2,00 \times 10^{-2}$
Exposição	$6,85 \times 10^{-5}$	$1,37 \times 10^{-5}$
Consumo diário	2	2
Qualidade da água necessária	$3,42 \times 10^{-5}$	$6,85 \times 10^{-6}$

Outra forma de se avaliar a eficiência de remoção de protozoários é utilizar o parâmetro “turbidez” como indicador. A Portaria MS nº 518/2004 diz no capítulo referente ao padrão de potabilidade Art. 12 §2.º: *Com vistas a assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de Giardia spp. e oocistos de Cryptosporidium spp., recomenda se, enfaticamente, 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.*

Desta forma o banco de dados referente à turbidez pós filtração foi avaliado para verificar o atendimento à recomendação da Portaria MS nº 518/2004 (Tabela 16).

Tabela 16 Avaliação da turbidez pós filtração para verificação do o atendimento à recomendação da Portaria MS nº 518/2004

ETA	Filtração (% de dados inferiores a 0,5 uT)				
	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtrada (média)
SAAE I	60	80	65	70	60
SAAE II	-	-	-	-	92
UFV	80	79	-	-	79

De posse dos dados apresentados nas Tabelas 14 e 15 (análise dos agentes patogênicos) e Tabela 16 (análise do indicador “turbidez”), pode-se concluir que a etapa de filtração das três estações em estudo não consegue eliminar ou reduzir o perigo a um nível aceitável.

- Avaliação da etapa de “desinfecção” relacionada aos perigos “vírus” e “bactérias”:

Esta análise é feita através da avaliação do par de parâmetros concentração de cloro residual livre e tempo de contato (Ct), que segundo a Portaria MS n 518/2004 deve ser de 15 mg L⁻¹min⁻¹.

Conforme apresentado no item 5.1, a ETA UFV apresenta Ct da ordem de 16 a 19 15 mg L⁻¹min⁻¹, portanto dentro do recomendado pela legislação. Para as ETA SAAE I e II não foi possível realizar esta avaliação pois não foi possível obter as dimensões e consequentemente o tempo de contato do tanque de desinfecção. Diante disso optou-se por avaliar o banco de dados destas estação com relação à presença de coliformes totais na saída do tanque de contato, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 Avaliação de coliformes totais pós desinfecção para verificação do o atendimento à Portaria MS nº 518/2004

ETA	Coliformes totais / 100mL		
	N	Presença (%)	Ausência (%)
SAAE I	170	0	100
SAAE II	199	0	100

Da avaliação apresentada na Tabela 17, pode-se concluir que a inativação de bactérias e vírus nas ETA SAAAE I e II ocorre de forma satisfatória.

Após a avaliação das etapas de filtração e desinfecção foi feita a identificação de Pontos Críticos de Controle através da aplicação da árvore de decisão proposta por Vieira, 2005 (Quadros 5 e 6 e Figura 32).

Quadro 5 Sequência de respostas para determinação de pontos críticos de controle, segundo a árvore de decisão proposta por Vieira, 2005 – Bactérias e Vírus (ETA SAAE I, SAAE II e UFV)

Perigo	Etapa de tratamento	Respostas								Conclusão
		Q1	Medidas de controle*	Q2	Justificativa	Q3	Justificativa	Q4	Justificativa	
Bactérias/ Vírus	Mistura rápida / Coagulação	S	Controle da dosagem do coagulante (dose, concentração, alcalinidade, pH)	N	A coagulação influencia na eficiência da inativação das bactérias e vírus, mas de maneira indireta.	S	Como na etapa de coagulação não há inativação de vírus e bactérias, o perigo ocorre acima de níveis aceitáveis.	S	Etapa de desinfecção	Não PCC
	Floculação	S	Manutenção das características hidráulicas ideais através de manutenção e limpeza dos floculadores.	N	A floculação influencia na eficiência da inativação das bactérias e vírus, mas de maneira indireta.	S	Como na etapa de floculação não há inativação de vírus e bactérias, o perigo ocorre acima de níveis aceitáveis.	S	Etapa de desinfecção	Não PCC
	Decantação	S	Manutenção das características hidráulicas ideais através de manutenção e limpeza dos decantadores.	N	A decantação influencia na eficiência da inativação das bactérias e vírus, mas de maneira indireta.	S	Como na etapa de decantação não há inativação de vírus e bactérias, o perigo ocorre acima de níveis aceitáveis.	S	Etapa de desinfecção	Não PCC
	Filtração	S	Acompanhamento da carreira de filtração e limpeza dos filtros.	N	A filtração influencia na eficiência da inativação/remoção das bactérias e vírus, mas não de forma a atingir níveis aceitáveis.	S	Como na etapa de filtração não ocorre inativação/remoção necessária de vírus e bactéria. O perigo ocorre acima de níveis aceitáveis.	S	Etapa de desinfecção	Não PCC
	Desinfecção	S	Controle do cloro residual livre e manutenção das características hidráulicas do tanque de contato.	S	Etapa responsável pela inativação de vírus e bactérias. De acordo com a Tabela 17 as estações conseguem inativar o perigo de forma satisfatória	-	-	-	-	PCC

* As medidas de controle apresentadas em cada etapa são válidas para as demais, pois, a pergunta não se refere especificamente à etapa em questão. Para bactérias e vírus as principais medidas de controle são o controle do cloro residual livre e manutenção das características hidráulicas do tanque de contato.

Quadro 6 Sequência de respostas para determinação de pontos críticos de controle, segundo a árvore de decisão proposta por Vieira, 2005 – Protozoários (ETA SAAE I e II e UFV)

Perigo	Etapa de tratamento	Respostas							Conclusão	
		Q ₁	Medidas de controle	Q ₂	Justificativa	Q ₃	Justificativa	Q ₄		Justificativa
Protozoários	Mistura rápida / Coagulação	S	Controle da dosagem do coagulante (dose, concentração, alcalinidade, pH)	N	A coagulação influencia na eficiência da remoção dos protozoários, mas de maneira indireta.	S	Como na etapa de coagulação não há remoção de protozoários, o perigo ocorre acima de níveis aceitáveis.	N	As etapas de decantação e principalmente filtração não reduzem o perigo a um nível aceitável.	PCC
	Floculação	S	Manutenção das características hidráulicas ideais através de manutenção e limpeza dos floculadores.	N	A floculação influencia na eficiência da remoção dos protozoários, mas de maneira indireta.	S	Como na etapa de floculação não há remoção de protozoários, o perigo ocorre acima de níveis aceitáveis.	N	As etapas de decantação e principalmente filtração não reduzem o perigo a um nível aceitável.	PCC
	Decantação	S	Manutenção das características hidráulicas ideais através de manutenção e limpeza dos decantadores.	N	A decantação influencia na eficiência da remoção dos protozoários, mas de maneira indireta.	S	Apesar da decantação ser responsável pela remoção da parte dos protozoários, ela não atinge a eficiência necessária.	N	As etapas de decantação e principalmente filtração não reduzem o perigo a um nível aceitável.	PCC
	Filtração	S	Acompanhamento da carreira de filtração e limpeza dos filtros.	N	Apesar da filtração ser a principal responsável pela remoção dos protozoários, ela não atinge a eficiência necessária (Tabelas 14, 15 e 16).	S	Apesar da filtração ser a principal responsável pela remoção dos protozoários, ela não atinge a eficiência necessária, com isto o perigo persiste acima dos níveis aceitáveis..	N	A filtração é a última barreira para remoção de protozoários, principalmente Cryptosporidium.	PCC
	Desinfecção	N	O desinfetante utilizado (cloro) possui baixa eficiência na inativação de protozoários.	N	A etapa de filtração é responsável pela remoção de protozoários.	-	-	-	-	Não PCC

* As medidas de controle apresentadas em cada etapa são válidas para as demais, pois, a pergunta não se refere especificamente à etapa em questão. Para protozoários as principais medidas de controle são o acompanhamento da carreira de filtração e limpeza dos filtros.

Após a aplicação da árvore de decisão, para uma mesma estação, foram obtidos os resultados apresentados na Figura 32.

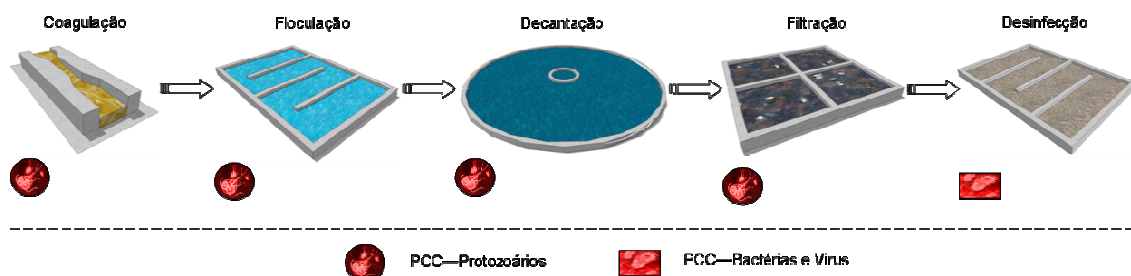


Figura 32 Diagrama de fluxo de identificação de pontos críticos de controle ETA SAAE I e II e UFV.

Do resultado obtido após a aplicação da árvore de decisão proposta por Vieira pode-se fazer as seguintes considerações: (i) Considerando o perigo bactérias e vírus, onde as três estações possuem inativação adequada, há apenas um PCC (etapa de desinfecção) o que pode ser interpretado como inconsistência com o princípio de prevenção e não realização da análise do produto final da APPCC. O monitoramento mais detalhado de um único ponto pode apresentar também inconsistências com o princípio de múltiplas barreiras presente no tratamento de água, onde a eficiência de remoção de uma etapa seguinte depende do desempenho da etapa anterior; (ii) Com relação aos protozoários, como nas três estações não há remoção adequada do perigo todas as etapas foram consideradas Pontos Críticos de Controle. Fato que ao se analisar a sequência de perguntas da árvore de decisão pode-se concluir que as estações estão permanentemente produzindo água acima dos níveis aceitáveis.

Cabe ressaltar que Vieira trabalhou com todos os tipos de perigo (físicos, químicos e microbiológicos) e considerou as etapas de coagulação, floculação e decantação como uma única etapa, o que difere deste trabalho, uma vez que o enfoque está nos perigos microbiológicos e procura-se um maior detalhamento nas etapas de tratamento de água em ciclo completo, etapa por etapa.

Diante das considerações feitas após a aplicação da árvore de decisão proposta por Vieira e diferenças entre o trabalho apresentado por Vieira e este, foi elaborada uma nova proposta de árvore de decisão (Figura 12).

O modelo proposto, quando comparado com Vieira se diferencia pelos seguintes aspectos:

- Caso a resposta à primeira pergunta “Nesta fase existem medidas de controle para o perigo identificado?” seja “NÃO”, viu se a necessidade de incorporar uma pergunta intermediária “A mudança é imediata?” (Figura 12). A pergunta foi incorporada por considerar que algumas mudanças no sistema de abastecimento de água podem demandar a elaboração de projetos, execução de obras que consequentemente podem levar um tempo elevado. Estas questões ocorrem principalmente quando consideramos a bacia de captação⁴. Um exemplo que podemos citar é a questão do lançamento de efluentes industriais, criação de animais de forma extensiva e confinada e principalmente o lançamento de esgoto sanitário. Para estes casos, caso não existam medidas de controle já implantadas, quais sejam, estações de tratamento, proteção dos contra o acesso de animais às margens dos mananciais, etc., as mesmas são questões resolvidas a longo prazo, portanto o perigo permanece, constituindo um ponto onde deve ser dada atenção, ou seja, o perigo está identificado e a redução ou eliminação de mesmo depende de uma política que deve ser tomada ao longo do tempo.
- Caso a resposta à primeira pergunta “Nesta fase existem medidas de controle para o perigo identificado?” seja “SIM” foi incorporada uma segunda pergunta “Esta fase auxilia na eliminação ou redução do perigo?” (Figura 12). (i) Se, “SIM”, deve-se passar para a pergunta seguinte que tem objetivo de verificar se a etapa em questão consegue reduzir ou eliminar o risco à um nível aceitável; (ii) Se, "NÃO", a etapa não influencia na eficiência de remoção do perigo em questão.

⁴ Apesar desta dissertação não trabalhar com a bacia de captação. Na elaboração da árvore de decisão foram considerados aspectos relacionados com a bacia hidrográfica pelo fato deste trabalho fazer parte do projeto de pesquisa Plano de Segurança da Água que abrange todas as etapas do sistema de abastecimento: bacia hidrográfica, captação, adução de água bruta, estação de tratamento de água, reservação e distribuição de água tratada.

A incorporação desta pergunta traz como consequência outra alteração, qual seja, a mudança nas respostas da resposta à pergunta “Existe alguma etapa seguinte que elimina ou reduz o perigo a um nível aceitável?” (i) Se, “SIM”. A etapa em questão será considerada Ponto de Controle. A justificativa se baseia no fato que a etapa auxilia a eliminação ou redução do perigo. Ou seja, caso a etapa em questão falhe, esta falha comprometerá a sequência do tratamento, uma vez que o processo de tratamento de água ocorre de forma gradativa, seguindo o princípio das múltiplas barreiras. (ii) Se, “NÃO”. Entende-se que o processo não apresenta barreiras suficientes para o perigo em questão. Sendo necessária a alteração do processo (Ex.: otimização do processo, incorporação de uma nova etapa, utilização de outro desinfetante, etc.); enquanto a alteração não ocorre a etapa é considerada Ponto Crítico de Controle. Para proposição de modificação (ou medidas corretivas) da etapa ou processo devem ser levados em consideração os resultados obtidos na avaliação de desempenho, que é uma ferramenta capaz de identificar “falhas” ao longo do tratamento da água.

O ponto de controle (PC) se diferencia do ponto crítico de controle (PCC) pelo fato de as medidas de controle não serem suficientes para prevenir, reduzir ou eliminar o perigo à um nível aceitável. Ou seja, constitui um ponto intermediário onde o monitoramento é importante, porém não constitui a última ou principal barreira no controle do perigo. Caso a etapa em questão saia do controle terá como consequência o comprometimento da eficiência global do processo de eliminação ou redução do perigo a um nível aceitável.

As perguntas apresentadas na árvore de decisão proposta neste trabalho devem ser aplicadas da seguinte forma:

1- “Existem medidas de controle para o perigo identificado?”

Para responder esta questão deve-se analisar se ao longo do processo de produção existem medidas implantadas que auxiliam a remoção ou redução do perigo e principalmente se há barreira(s) efetiva(s) que garantam a produção de água segura.

1.1 - “É necessária uma mudança desta fase para garantir a segurança da água?”

Caso "NÃO" haja medida de controle para o perigo em questão o responsável pela aplicação da APPCC deverá responder se há necessidade de mudança na etapa de produção avaliada. Se a mudança for NECESSÁRIA passa para o questionamento se a mudança é imediata. Se sim, deve ser implementada a mudança, dando mais segurança no processo de produção; caso a mudança "NÃO" seja imediata, deve-se buscar ao longo do tempo a adequação, e enquanto a mudança não é implementada a etapa em análise deve ser considerada Ponto de Atenção.

Como exemplo de uma mudança de fácil implementação pode ser citada a forma de aplicação do coagulante, ou seja, modificar o ponto de aplicação ou introduzir um mecanismo que proporcione uma maior homogeneização do produto na massa líquida.

Para mudanças não imediatas pode-se citar adequações estruturais na estação de tratamento, como redução da taxa de aplicação superficial da decantação onde é necessária a construção de uma nova unidade ou adequações para trabalhar com decantação de alta taxa. Outro exemplo bem claro da necessidade de um maior tempo para adequação é quando consideramos o lançamento de esgoto no manancial de captação.

2 - “Esta fase auxilia na eliminação ou redução do perigo?”

Ao se responder "SIM" na pergunta 1, tem que se avaliar se a etapa auxilia na eliminação ou redução do perigo. Se determinada etapa não auxilia na remoção de um perigo específico não há necessidade de se estabelecer um controle nesta etapa; caso seja considerado que a etapa auxilia, mesmo que indiretamente, na remoção ou redução do perigo passa para a questão “3”.

3 - “Esta fase consegue eliminar ou reduzir o perigo até um nível aceitável?”

Para responder esta questão deve ser feita uma avaliação se a etapa consegue atingir o nível aceitável de remoção ou redução do perigo. Caso a etapa consiga remover ou reduzir o perigo à um nível aceitável, a etapa será considerada Ponto Crítico de Controle, ou seja, o acompanhamento da etapa é fundamental para garantia da produção de água segura. Se a remoção ou redução não for atingida na etapa em questão deve se passar para a pergunta “4”.

4 - “A contaminação do perigo identificado poderia ocorrer acima de níveis aceitáveis ou poderia aumentar até níveis inaceitáveis?”

Esta pergunta busca verificar se na etapa pode ocorrer um aumento na contaminação com o perigo. Caso na etapa avaliada o perigo ocorra acima do nível aceitável ou possa até mesmo aumentar deve se passar para a pergunta “5”.

5 - “Existe uma etapa seguinte que elimina ou reduz o perigo à um nível aceitável?”

Para responder esta questão deve ser feita uma avaliação se há uma etapa seguinte que consegue atingir o nível aceitável de remoção ou redução do perigo. Se houver uma etapa seguinte que consegue eliminar o perigo à um nível aceitável a etapa em questão, pela sequência de respostas, será considerada um Ponto de Controle, ou seja, a etapa auxilia na remoção/redução do perigo mas não é a principal responsável. Cabendo o monitoramento com menor rigor quando comparado a um PCC.

Caso não haja nenhuma etapa que consiga remover/reduzir o perigo à um nível aceitável, pela sequência de respostas pode-se concluir que o processo de tratamento não é seguro, sendo recomendado a implementação de mudanças no processo de produção e enquanto a mudança não é implementada a etapa será considerada Ponto Crítico de Controle. Um exemplo para esta situação pode ser verificação da ineficiência da desinfecção para o controle de bactérias e vírus ou até mesmo a necessidade de inativação adicional de protozoários, sendo necessária a aplicação de um agente desinfetante mais eficiente.

Após a avaliação das etapas de filtração e desinfecção (a mesma apresentada para aplicação do modelo proposto por Vieira) foi feita a identificação de Pontos Críticos de Controle através da aplicação da árvore de decisão proposta neste trabalho (Figura 12 e Quadros 7 e 8).

Quadro 7 Sequência de respostas para determinação de pontos críticos de controle – Bactérias e Vírus (ETA SAAE I e II e UFV)

Perigo	Etapa de Tratamento	Respostas										Conclusão
		Q 1	Medidas de controle*	Q 2	Justificativa	Q 3	Justificativa	Q 4	Justificativa	Q 5	Justificativa	
Bactérias/ Vírus	Mistura rápida / Coagulação	S	Controle da dosagem do coagulante (dose, concentração, alcalinidade, pH)	S	A coagulação influencia na eficiência da inativação das bactérias e vírus, mas de maneira indireta.	N	A coagulação dá condições para que a remoção de bactérias e vírus ocorra.	S	Como não há remoção de bactérias e vírus na coagulação o perigo permanece.	S	Etapa de desinfecção	PC
	Floculação	S	Manutenção das características hidráulicas através de manutenção e limpeza dos floculadores.	S	A floculação influencia na eficiência da inativação das bactérias e vírus, mas de maneira indireta.	N	A floculação dá condições para que a remoção de bactérias e vírus ocorra.	S	Como não há remoção de bactérias e vírus na floculação o perigo permanece.	S	Etapa de desinfecção	PC
	Decantação	S	Manutenção das características hidráulicas através de manutenção e limpeza dos decantadores.	S	A decantação influencia na eficiência da inativação das bactérias e vírus, mas de maneira indireta.	N	A decantação dá condições para que a remoção de bactérias e vírus ocorra.	S	Como não há remoção de bactérias e vírus na decantação o perigo permanece.	S	Etapa de desinfecção	PC
	Filtração	S	Acompanhamento da carreira de filtração e limpeza dos filtros.	S	A filtração influencia na eficiência da inativação das bactérias e vírus, mas de maneira indireta.	N	A filtração dá condições para que a remoção de bactérias e vírus ocorra.	S	Como não há remoção significativa de bactérias e vírus na filtração o perigo permanece.	S	Etapa de desinfecção	PC
	Desinfecção	S	Controle do cloro residual livre e manutenção das características hidráulicas do tanque de contato.	S	Etapa responsável pela inativação de vírus e bactérias.	S	Etapa responsável pela inativação de vírus e bactérias.	-	-	-	-	PCC

* As medidas de controle apresentadas em cada etapa são válidas para as demais, pois, a pergunta não se refere especificamente à etapa em questão. Para bactérias e vírus as principais medidas de controle são o controle do cloro residual livre e manutenção das características hidráulicas do tanque de contato.

Quadro 8 Sequência de respostas para determinação de pontos críticos de controle – Protozoários (ETA SAAE I e II e UFV)

Perigo	Etapa de tratamento	Respostas										Conclusão
		Q 1	Medidas de controle*	Q 2	Justificativa	Q 3	Justificativa	Q 4	Justificativa	Q 5	Justificativa	
Protozoários	Mistura rápida / Coagulação	S	Controle da dosagem do coagulante (dose, concentração, alcalinidade, pH)	S	A coagulação influencia na eficiência da remoção dos protozoários, mas de maneira indireta.	N	A coagulação influencia na eficiência da remoção dos protozoários, mas de maneira indireta.	S	Como na etapa de coagulação não há remoção de protozoários, o perigo ocorre acima de níveis aceitáveis.	N	As etapas de decantação e principalmente filtração não reduzem o perigo a um nível aceitável.	PCC
	Floculação	S	Manutenção das características hidráulicas através de manutenção e limpeza dos floculadores.	S	A floculação influencia na eficiência da remoção dos protozoários, mas de maneira indireta.	N	A floculação influencia na eficiência da remoção dos protozoários, mas de maneira indireta.	S	Como na etapa de floculação não há remoção de protozoários, o perigo ocorre acima de níveis aceitáveis.	N	As etapas de decantação e principalmente filtração não reduzem o perigo a um nível aceitável.	PCC
	Decantação	S	Manutenção das características hidráulicas através de manutenção e limpeza dos decantadores.	S	A decantação é responsável pela remoção de parte dos protozoários.	N	A decantação influencia na eficiência da remoção dos protozoários, mas de maneira indireta.	S	Apesar da decantação ser responsável pela remoção da parte dos protozoários, ela não atinge a eficiência necessária.	N	As etapas de decantação e principalmente filtração não reduzem o perigo a um nível aceitável.	PCC
	Filtração	S	Acompanhamento da carreira de filtração e limpeza dos filtros.	S	A filtração é a principal etapa responsável pela remoção de protozoários.	N	Apesar da filtração ser a principal responsável pela remoção dos protozoários, ela não atinge a eficiência necessária.	S	Apesar da filtração ser a principal responsável pela remoção dos protozoários, ela não atinge a eficiência necessária.	N	A filtração é a última barreira para remoção de protozoários, principalmente Cryptosporidium.	PCC
	Desinfecção	N	O desinfetante utilizado (cloro) possui baixa eficiência na inativação de protozoários.	N	A etapa de filtração é responsável pela remoção de protozoários.	N	A etapa de filtração é responsável pela remoção de protozoários.	-	-	-	-	Não PCC

* As medidas de controle apresentadas em cada etapa são válidas para as demais, pois, a pergunta não se refere especificamente à etapa em questão. Para protozoários as principais medidas de controle são o acompanhamento da carreira de filtração e limpeza dos filtros.

A Figura 33 apresenta os perigos e pontos críticos de controle e atenção no tratamento de água em ciclo completo identificados pelo modelo de árvore de decisão proposto neste trabalho.

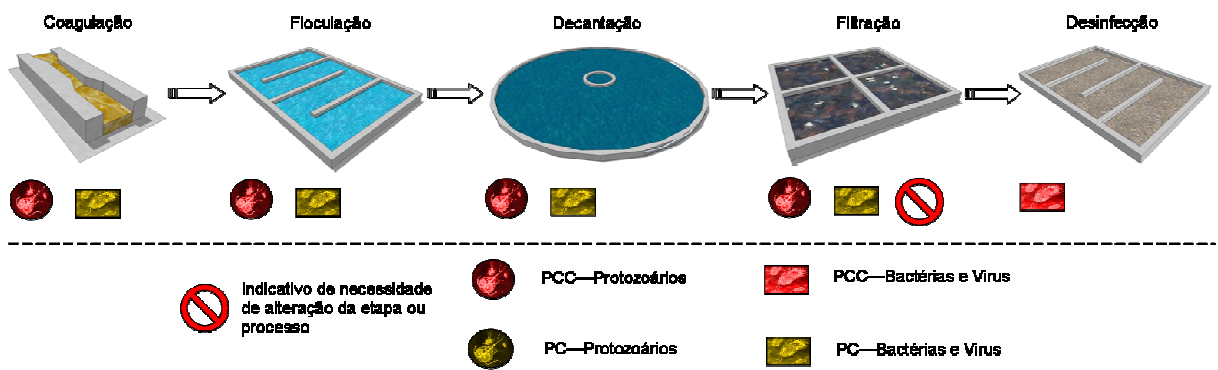


Figura 33 Diagrama de fluxo de identificação de pontos de controle e pontos críticos de controle

Ao se comparar os resultados obtidos através da aplicação da árvore de decisão proposta por Vieira e o modelo proposto neste trabalho podemos verificar que: (i) quando há a remoção/inativação adequada do perigo (etapa de desinfecção das três estações estudadas – bactérias e vírus) Vieira e o modelo proposto neste trabalho indica o mesmo PCC, a diferença ocorre nas etapas anteriores, ou seja, no modelo proposto neste trabalho as etapas anteriores à desinfecção são consideradas Pontos de Controle, apontando que o monitoramento destas etapas também é importante, o que evita a avaliação apenas do “produto final” e leva em consideração o princípio das múltiplas barreiras e remoção/inativação gradativa do perigo; (ii) quando não há a remoção/inativação adequada do perigo (etapa de filtração das três estações estudadas – protozoários) o resultado obtido é o mesmo, porém, há indicação que o processo de tratamento está falho e aponta a necessidade de mudança do mesmo.

5.4 Princípio 3: Estabelecimento de limites críticos

Como mencionado no item 2.2, os limites críticos tem que ser mensuráveis, geralmente são parâmetros químicos, físicos ou microbiológicos e devem atender às exigências estabelecidas em legislação, no caso Portaria 518/2004.

Como descrito no item material e métodos, foram estabelecidos também limites operacionais com o intuito de estabelecer padrões mais restritivos como margem de segurança e/ou para estabelecer limites para parâmetros aos quais seja considerado importante o controle para garantia de uma boa operação.

Para os pontos críticos de controle listados no item 5.3, apenas a determinação da turbidez da água filtrada e do cloro residual livre são exigidos pela Portaria MS n 518/2004. Além disso, há uma recomendação de que a desinfecção seja realizada em pH inferior a 8,0. O limite crítico adotado para a turbidez da água filtrada (efluente de cada filtro) foi o valor do padrão de potabilidade brasileiro (1 uT). Para a desinfecção com cloro, o limite crítico adotado foi o teor mínimo de cloro residual livre na saída do tanque de contato estabelecido na Portaria 518/2004 (0,5 mg.L⁻¹) e o tempo de contato recomendado de 30 min, perfazendo assim um valor de CT de 15 mg.min⁻¹ L⁻¹. Outros valores do teor de cloro residual livre e tempo de contato podem ser adotados desde que atenda o valor CT de 15 mg.min⁻¹ L⁻¹ e não comprometa a qualidade da água distribuído (Ex.: elevado teor de CRL na rede de distribuição).

Os Quadros 9 e 10 apresentam os limites críticos e operacionais para os pontos críticos de controle identificados pela árvore de decisão proposta nesta dissertação. Como o limite crítico esta baseado no padrão de potabilidade, ele independe da ETA, ou seja, são os mesmos para as ETA SAAE I e II e UFV.

Para a determinação dos limites operacionais dos PCC foram avaliados os bancos de dados das ETA conforme apresentado nos itens 5.4.1; 5.4.2 e 5.4.3.

Como a APPCC é constantemente atualizada (Princípio 6), os limites operacionais são reavaliados periodicamente e tendem a ficar gradativamente mais restritivos garantindo maior segurança na produção de água, sem o comprometimento da operação.

5.4.1 Limites operacionais - ETA UFV

Na Figura 34 é mostrado o diagrama de remoção de turbidez na decantação para o Ribeirão São Bartolomeu (ETA UFV e SAAE I). Observam-se remoções superiores a 80% em uma grande faixa de valores de pH e doses de sulfato de alumínio a partir do pH de 6,5 e de doses de sulfato acima de 8,0 mg.L⁻¹. As melhores remoções foram encontradas para valores de pH entre 7,5 e 8,0 e doses entre 13 mg.L⁻¹ e 18 mg.L⁻¹.

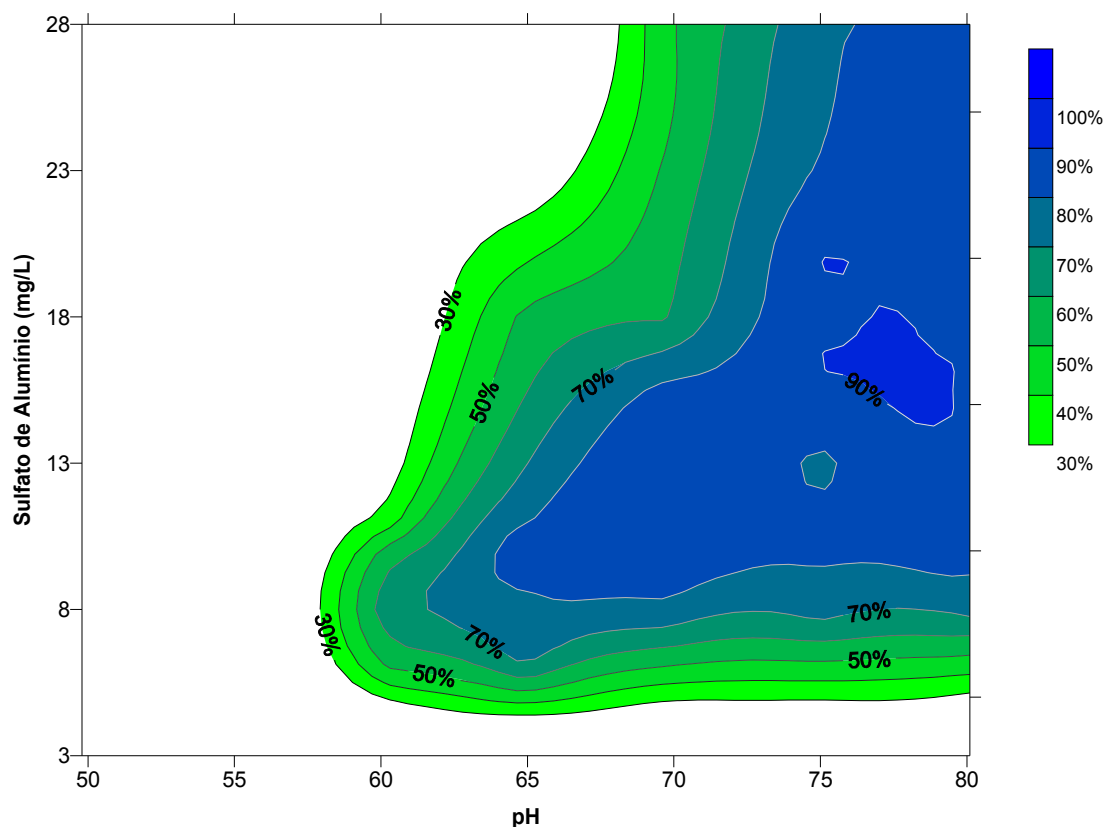


Figura 34 Diagrama de coagulação da água bruta do Ribeirão São Bartolomeu (ETA UFV e ETA SAAE I), valores de turbidez da água decantada em ensaios de jarros

Para determinação dos limites operacionais relacionados com a turbidez das águas bruta, decantada, filtrada (efluentes reunidos dos filtros 1 e 2) e filtradas 1 e 2 (efluentes isolados dos filtros 1 e 2), foram avaliados os dados horários desse parâmetro no período de janeiro de 2002 a março de 2008.

A ETA UFV apresenta boa eficiência de filtração, atendendo ao padrão estabelecido na Portaria 518/2004 em 97 % do período avaliado e abaixo de 0,5 uT em 80% e 77% do tempo, respectivamente para os filtros 1 e 2 (Figura 35).

Portanto o limite operacional para turbidez da água filtrada foi fixado em 0,5 uT. Observe-se que esse valor de turbidez corresponde à meta recomendada na norma dos EUA para remoção

efetiva de cistos de *Giardia*, mas que para os oocistos de *Cryptosporidium* dever-se-ia produzir água filtrada com 0,3 uT.

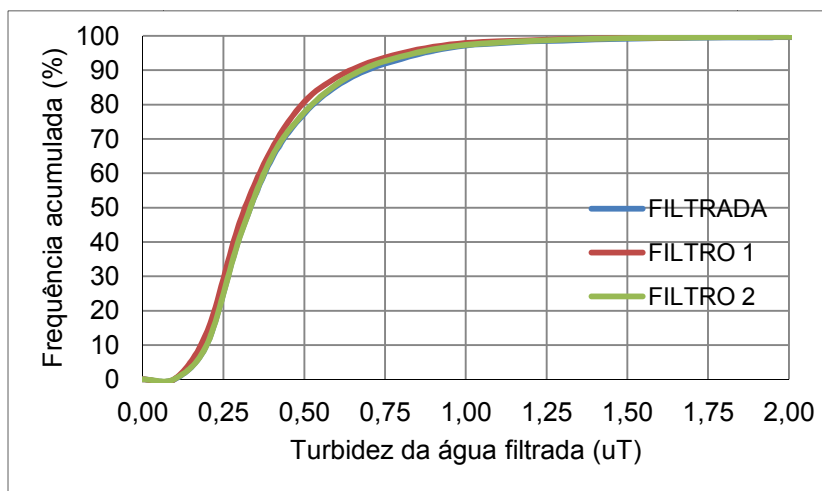


Figura 35 Frequência acumulada para turbidez da água filtrada, ETA UFV

A avaliação do banco de dados da turbidez da água decantada em relação às classes de turbidez da água filtrada permitiu verificar que 75% dos dados de água filtrada com turbidez inferior a 0,5 uT estão relacionados com turbidez decantada abaixo de 4,0 uT. Assim sendo, este foi o valor assumido como limite operacional para turbidez da água decantada (Figura 36).

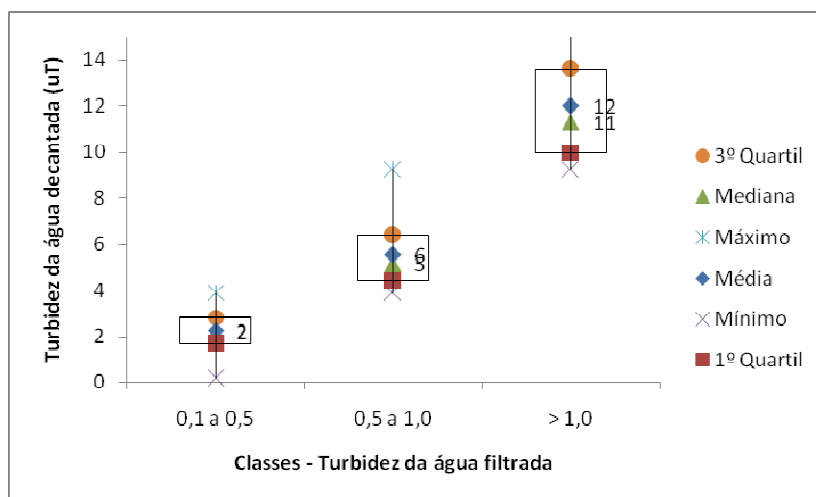


Figura 36 Classes de turbidez da água filtrada x turbidez da água decantada, ETA UFV

Ao se avaliar o banco de dados completo, independente da classe de água filtrada, pode-se perceber que em 80% do período avaliado a turbidez decantada atende ao limite operacional estabelecido (Figura 37).

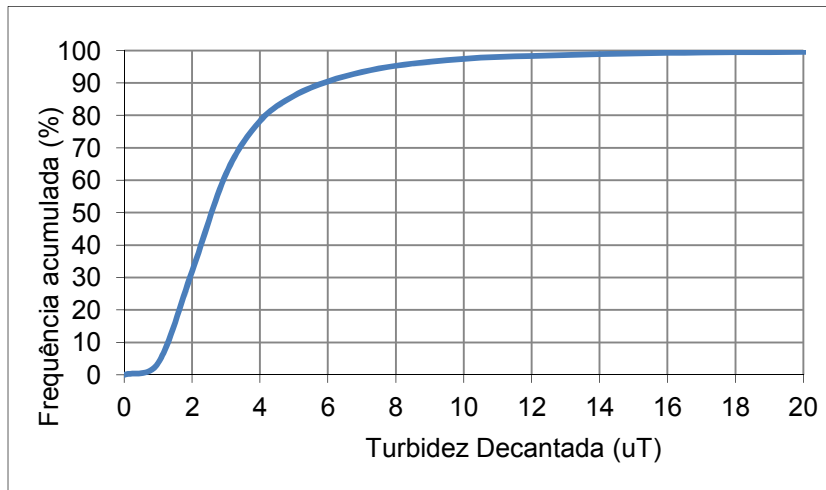


Figura 37 Frequência acumulada para turbidez da água decantada, ETA UFV

O mesmo procedimento realizado para o estabelecimento do limite operacional da água decantada foi repetido, agora com o objetivo de estabelecer o limite para a água bruta. Porém, se adotado o mesmo critério, ou seja, valor do terceiro quartil da água decantada para a classe de turbidez até 4,0 uT, chegaríamos ao valor de 10 uT para água bruta (Figura 38). A adoção desse valor acarretaria a necessidade de acionamento excessivo de medidas corretivas, uma vez que apenas 51% dos dados avaliados se encontram abaixo desse limite (Figura 39).

Portanto nesse caso, o critério foi a adoção do valor correspondente ao primeiro quartil da classe seguinte, 16 uT (Figura 38) e, ao se avaliar todo o banco de dados, nota-se que 74% dos dados estão abaixo desse valor (Figura 39).

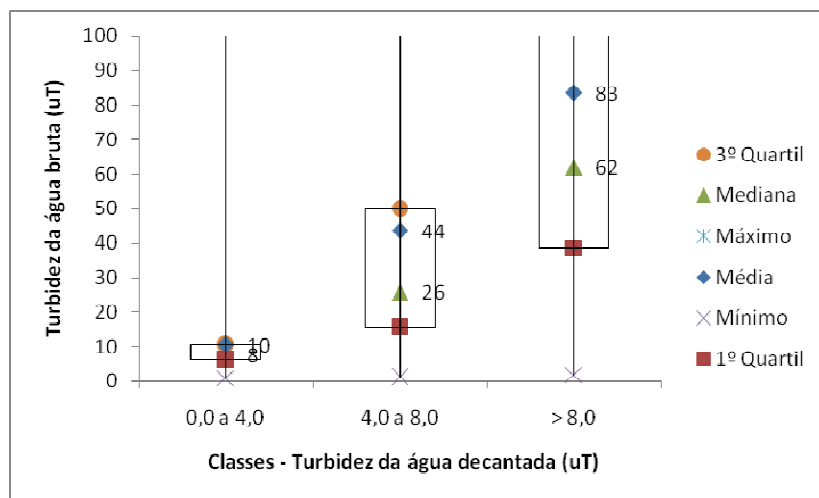


Figura 38 Classes de turbidez da água decantada x turbidez da água bruta, ETA UFV

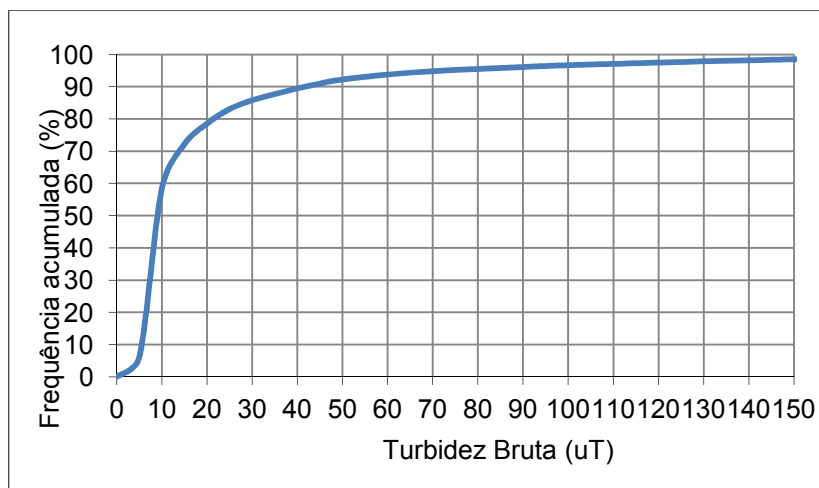


Figura 39 Frequência acumulada para turbidez da água bruta, ETA UFV

A perda de carga disponível nos filtros da ETA UFV é de 1,60 m. Portanto, a limpeza dos filtros deve ocorrer quando a o nível da água dentro da caixa do filtro atingir esse valor ou quando a turbidez da água filtrada estiver em 0,5 uT.

Nas Figuras 40 a 43 apresentam-se, de forma resumida, os resultados do monitoramento de (oo) cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*, realizado em complementação à avaliação dos bancos de dados. Os valores médios da presença/remoção de (oo)cistos de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. e de turbidez apresentam curvas praticamente paralelas, o que, a princípio, parece referendar o parâmetro turbidez como um bom indicador da remoção de (oo)cistos (Figuras 41 e 42).

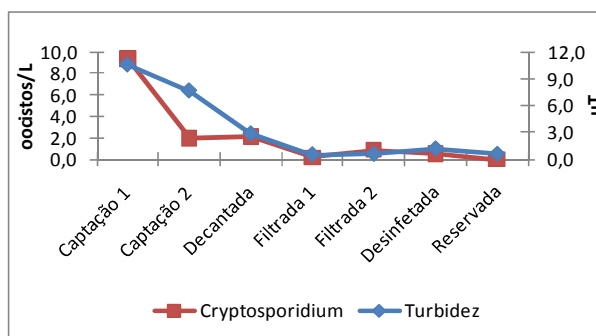


Figura 40 Valores médios de turbidez e de concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. no ponto de captação de água e na ETA UFV

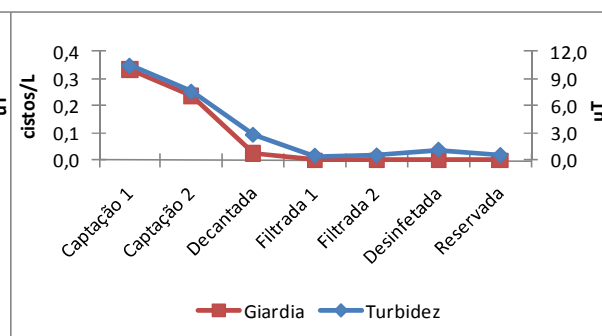


Figura 41 Valores médios de turbidez e de cistos de *Giardia* spp. no ponto de captação de água e na ETA UFV

Ao avaliar os dados mensais, observa-se que os picos de turbidez e/ou de oocistos de *Cryptosporidium* spp. nem sempre são coincidentes. Por exemplo, nos meses três e quatro a turbidez no efluente do filtro 1 era de 0,3 e 0,6 uT, respectivamente, e no entanto, foram encontrados oocistos de *Cryptosporidium* spp. (1,0 oocisto/L); por outro lado, no efluente do filtro dois o valor mais elevado de turbidez (1,0 uT) coincidiu com a presença de 6,0 oocistos de *Cryptosporidium* spp. (Figuras 43 e 44).

Mesmo que os resultados não nos permitam conclusões, até mesmo porque não é o objetivo deste trabalho, são importantes, pois indicam a necessidade da busca de um valor de turbidez que efetivamente indique a ausência de (oo)cistos, ou um outro indicador. Como explorado na revisão de literatura, embora o tema a seja controverso, a norma dos EUA explicita valores ($\leq 0,3$ uT). De toda forma, deve-se buscar a obtenção do efluente filtrado com o menor valor de turbidez possível e sempre abaixo do exigido pela legislação brasileira (1 uT).

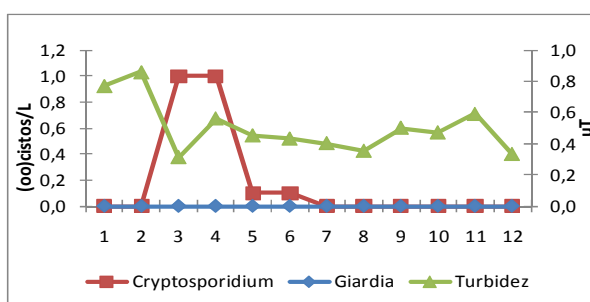


Figura 42 Concentração de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e valores turbidez, efluente do filtro 1, ETA UFV

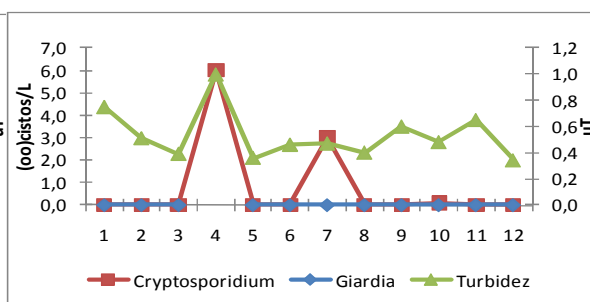


Figura 43 Concentração de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e valores turbidez, efluente do filtro 2, ETA UFV

5.4.2 Limites operacionais - ETA SAAE I

Para determinação dos limites operacionais relacionados com a turbidez das águas bruta, decantada, filtrada (média da turbidez dos filtros 1, 2, 3 e 4) e filtradas 1, 2, 3 e 4 (efluentes isolados de cada filtro), foram avaliados os dados horários desse parâmetro no período de abril de 2006 a maio de 2007.

Como discutido no item 5.1.2.2, os filtros da ETA SAAE I apresentam eficiências distintas, com destaque para o filtro 1 que apresenta qualidade de efluente bastante inferior à dos demais. Portanto, para a determinação do limite operacional da filtração foi traçada a curva da ‘água filtrada’ que representa a turbidez média dos quatro filtros. Com base nessa curva percebe-se que o atendimento ao padrão da norma brasileira (1 uT) é alcançado em 95% do

período avaliado e que a recomendação para se obter efluente com turbidez inferior a 0,5 uT é atendida em 60% do período. Por essas razões, o limite operacional foi fixado em 0,75 uT, menos rigoroso, porém este é o valor que, atualmente, a estação tem capacidade de atender de forma mais sistemática.

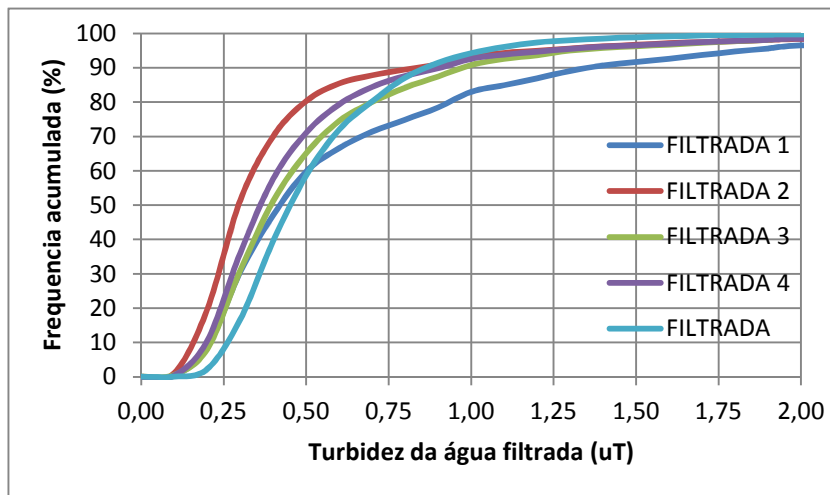


Figura 44 Frequência acumulada para turbidez da água filtrada, ETA SAAE I

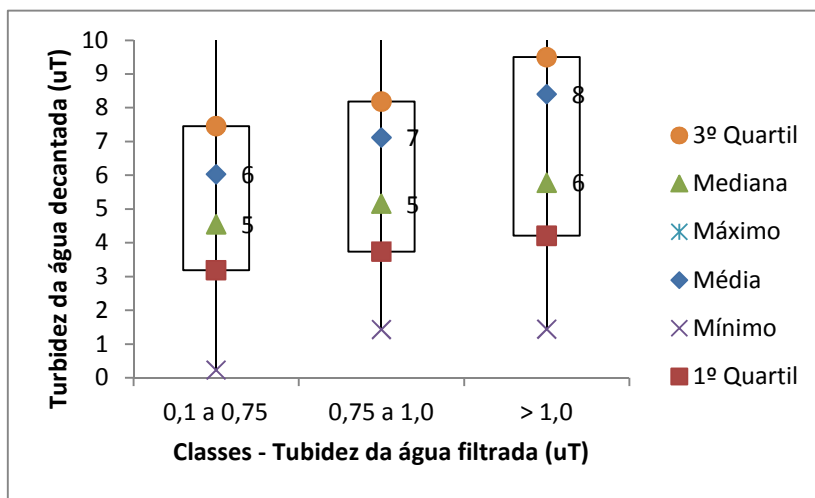


Figura 45 Classes de turbidez da água filtrada x turbidez da água decantada, ETA SAAE I

De acordo com a Figura 45, 75% dos dados de água filtrada abaixo de 0,75 uT estão vinculados a valores de água decantada abaixo de 7,0 uT e, com base nisso este foi o valor fixado como limite operacional para a água decantada. No período avaliado, 70% dos dados de água decantada mantiveram-se abaixo do limite operacional adotado (Figura 46).

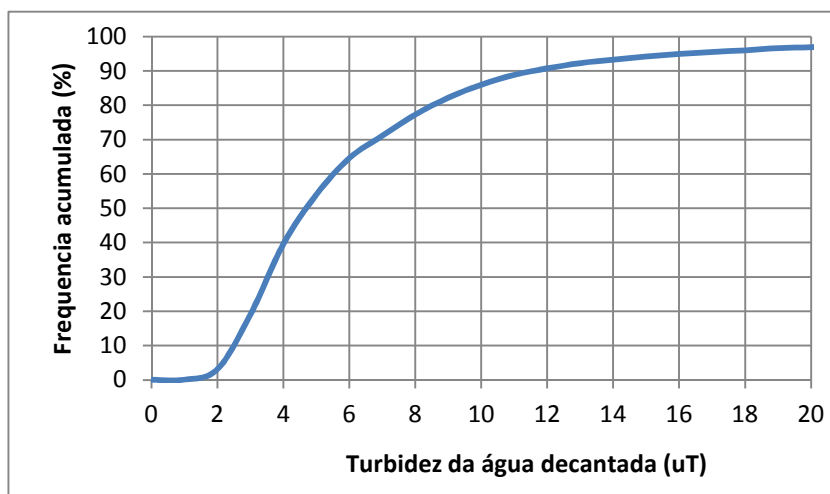


Figura 46 Frequência acumulada para turbidez da água decantada, ETA SAAE I

O mesmo procedimento realizado para o estabelecimento do limite operacional da água decantada foi repetido, agora com o objetivo de estabelecer o limite para a água bruta. Porém, se fosse adotado o mesmo critério, ou seja, valor do terceiro quartil da água decantada para a classe de turbidez até 7,0 uT, chegaríamos ao valor de 12 uT para água bruta (Figura 47). A adoção desse valor acarretaria a necessidade de acionamento excessivo de medidas corretivas, uma vez que apenas 53% dos dados avaliados se encontram abaixo desse limite (Figura 48).

Portanto nesse caso, o critério foi a adoção do valor correspondente ao primeiro quartil da classe seguinte, 20 uT (Figura 47) e, ao se avaliar todo o banco de dados, nota-se que 69% dos dados estão abaixo desse limite operacional adotado para água bruta (Figura 48).

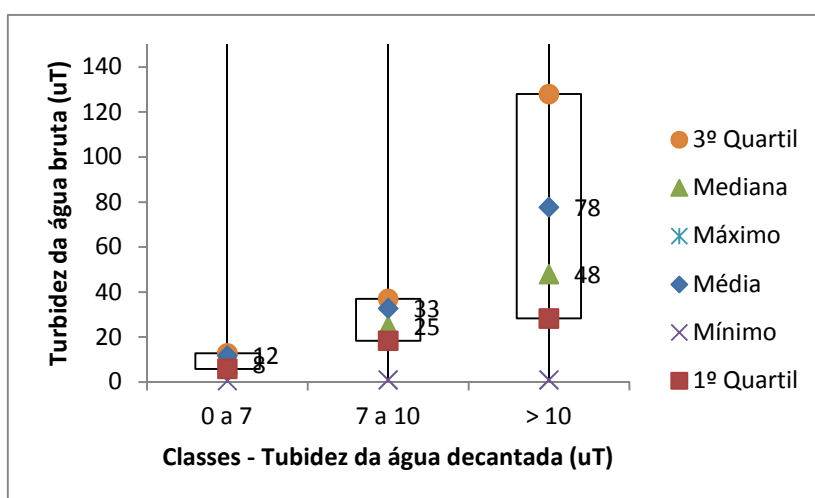


Figura 47 Classes de turbidez da água decantada x turbidez da água bruta, ETA SAAE I

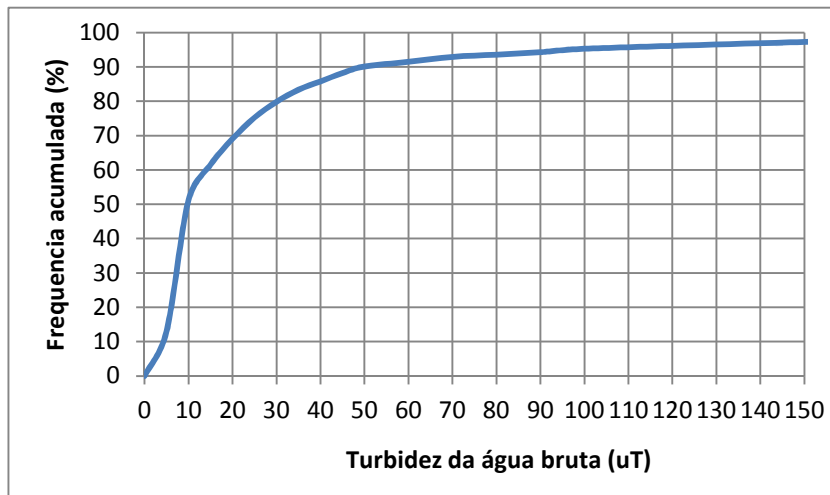


Figura 48 Frequência acumulada para turbidez da água bruta, ETA SAAE I

A perda de carga disponível nos filtros da ETA SAAE I é de 1,65 m. Portanto, a limpeza dos filtros deve ocorrer quando a o nível da água dentro da caixa do filtro atingir esse valor ou quando a turbidez da água filtrada estiver em 0,75 uT.

As Figuras 49 e 50 apresentam o monitoramento de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. na ETA SAAE I, destaca-se a presença de (oo)cistos no efluente dos filtros 1 e 3, o que pode servir, neste caso, como indicador de problemas estruturais nestes filtros e/ou reflexo da operação inadequada de lavagem, pois, como visto no item 5.1.2.2, após a limpeza do filtro o efluente filtrado permanece com valores elevados de turbidez por 60 minutos

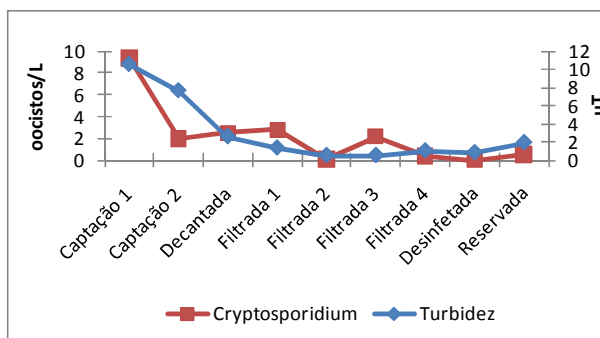


Figura 49 Valores médios de turbidez e de concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. no ponto de captação de água e na ETA SAAE I

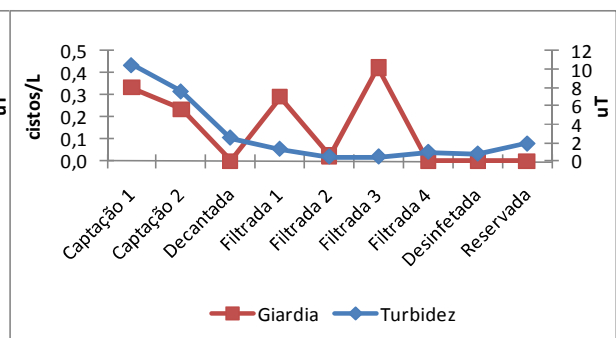


Figura 50 Valores médios de turbidez e de concentração de cistos de *Giardia* spp. no ponto de captação de água e na ETA SAAE I

Os dados mensais da ocorrência de (oo)cistos de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium*, comparados com a turbidez, indicam em alguns casos a presença de microrganismos patogênicos quando os valores de turbidez eram baixos e, por outro lado, há momentos em

que os valores de turbidez eram elevados e no entanto não foi identificada a presença de (oo)cistos (Figuras 51 a 54).

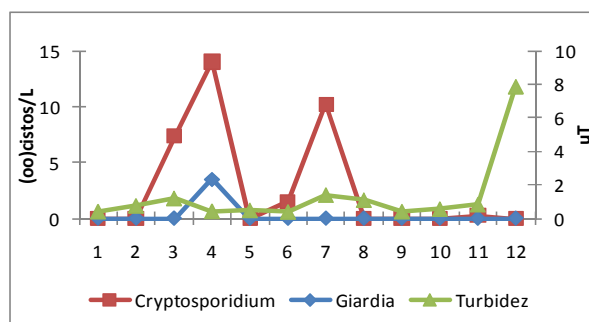


Figura 51 Concentração de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e valores turbidez, efluente do filtro 1, ETA SAAE I

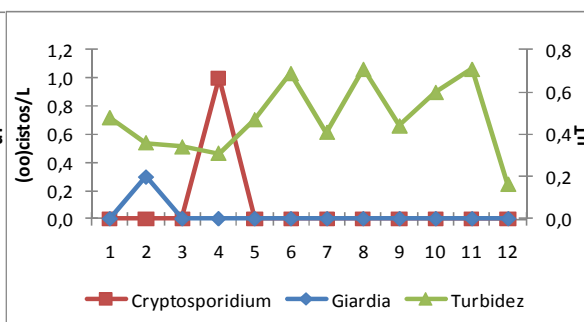


Figura 52 Concentração de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e valores turbidez, efluente do filtro 2, ETA SAAE I

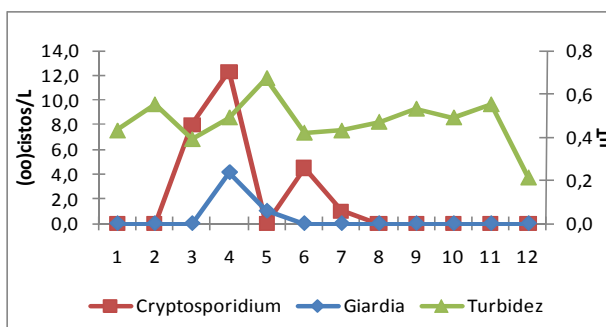


Figura 53 Concentração de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e valores turbidez, efluente do filtro 3, ETA SAAE I

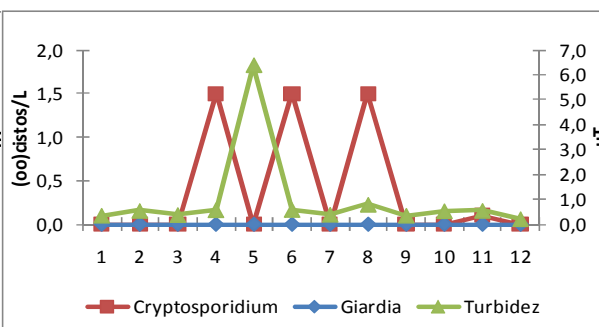


Figura 54 Concentração de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e valores turbidez, efluente do filtro 4, ETA SAAE I

Em relação à avaliação do monitoramento de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium* nas ETA UFV e SAAE I, que são abastecidas pelo mesmo manancial, deve ser destacada a quarta coleta, quando foi identificada uma maior contaminação do manancial – 88 e 12 oocistos de *Cryptosporidium* spp./ L respectivamente na captação 1 e 2. Este foi também o único evento de coleta quando foi identificada a presença de cistos de *Giardia* spp. Nota-se que este evento trouxe como consequência a contaminação do efluente de todos os filtros avaliados, tanto da ETA UFV quanto da ETA SAAE I, sendo que apenas o Filtro 2 – ETA SAAE I apresentou turbidez abaixo de 0,5 uT, valor recomendado como meta pela Portaria MS n 518/2004 para assegurar a adequada eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* sp.

5.4.3 Limites operacionais ETA SAAE II

Para determinação dos limites operacionais relacionados com a turbidez das águas bruta, decantada⁵ e filtrada⁶, foram avaliados os dados horários desse parâmetro no período de janeiro de 2004 a dezembro de 2007.

Segundo o banco de dados avaliados, a ETA SAAE II não apresenta dificuldade para atender ao padrão da norma brasileira de turbidez após filtração de 1,0 uT. Conforme apresentado na Figura 55, a turbidez da água filtrada mantém-se abaixo de 1,0 uT em 99% do período analisado e abaixo de 0,3 uT em 77% do tempo.

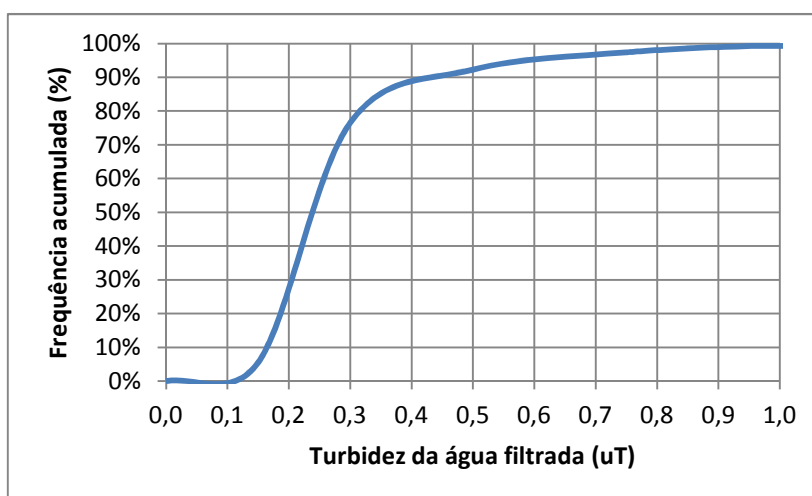


Figura 55 Frequência acumulada para turbidez da água filtrada, ETA SAAE II

Como o processo de filtração na ETA SAAE II apresenta boa estabilidade (1º, 2º e 3º quartis de 0,2; 0,2 e 0,3 uT, respectivamente), optou-se por estabelecer como limite operacional o valor de 0,5 uT, que é o valor recomendado como meta pela Portaria MS 518/2004. Pela avaliação do banco de dados, essa estação opera em aproximadamente 90% do tempo com turbidez da água filtrada abaixo desse valor (Figura 55).

O banco de dados referente à água bruta foi trabalhado em função das classes de turbidez da água filtrada para que fosse possível estabelecer um limite operacional. Nota-se que quando a água filtrada apresentou valores de turbidez abaixo de 0,5 uT (~90% do período avaliado – Figura 55), a água bruta apresentava turbidez abaixo de 40 uT em 75% dos dados e, em

⁵ A ETA SAAE II não realizava a análise da turbidez decantada no período avaliado, o que não permitiu estabelecer limite operacional.

⁶ A ETA SAAE II não realizava a análise da turbidez no efluente de cada filtro no período avaliado.

média, 37 uT. Decidiu-se, portanto, por estabelecer o valor de 40 uT como limite operacional para turbidez da água bruta (Figura 57).

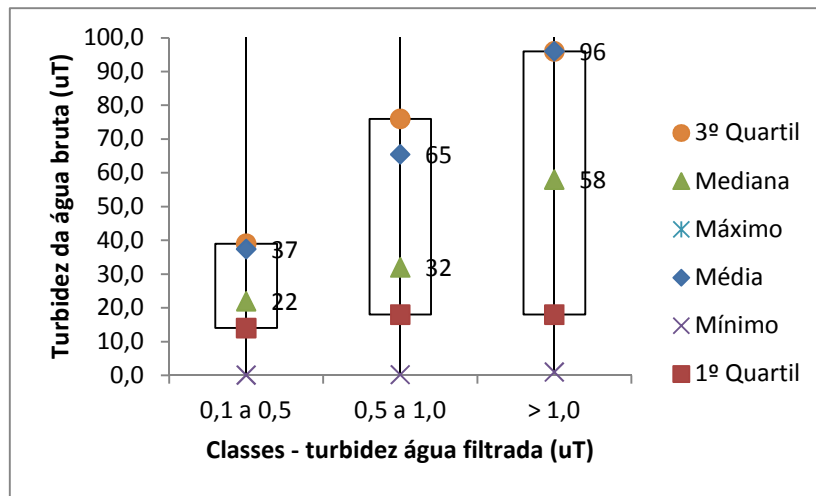


Figura 56 Classes de turbidez da água filtrada x turbidez da água bruta, ETA SAAE II

Analisando todo o banco de dados, nota-se que o manancial que abastece a ETA SAAE II apresentou valores de turbidez abaixo do limite operacional adotado em 74% do período avaliado (Figura 57).

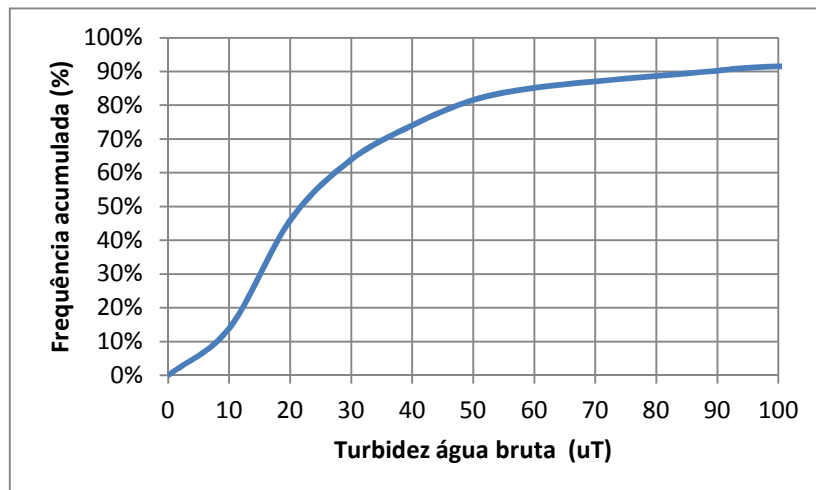


Figura 57 Frequência acumulada para água bruta, ETA SAAE II

O diagrama de coagulação do Rio Turvo (manancial da ETA SAAE II), apresentado na Figura 58, permite inferir que para períodos de baixa turbidez⁷ é possível a obtenção de 70% de remoção de turbidez (turbidez decantada de 3,0 uT) na faixa de pH 6,5 a 7,5, com doses de coagulante variando de 5 a 15 mg.L⁻¹. Portanto, essas seriam as faixas de valores para o pH e dose de coagulante que norteariam a realização rotineira do controle da coagulação (jar test), ou seja, são o ponto de partida para a realização dos ensaios de jarros e determinação da dose de coagulante a ser aplicado diariamente.

As Figuras 59 e 60 apresentam, respectivamente, a avaliação do banco de dados do pH da água bruta e das doses de coagulante aplicadas. Nota-se que o pH da água bruta e as doses de coagulante aplicadas ao longo do período avaliado mantiveram-se dentro da faixa do limite operacional estabelecido.

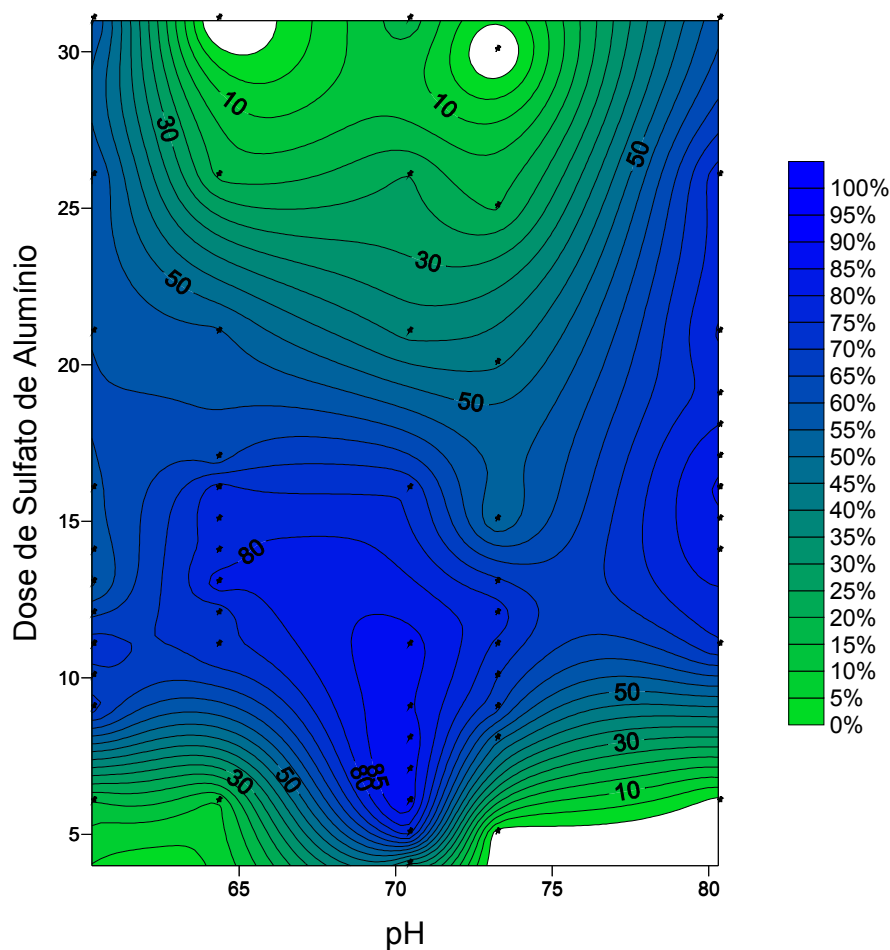


Figura 58 Diagrama de coagulação da água bruta do Rio Turvo (ETA SAAE II), valores de turbidez da água decantada em ensaios de jarros

⁷ O ensaio foi realizado com turbidez bruta em torno de 10 uT.

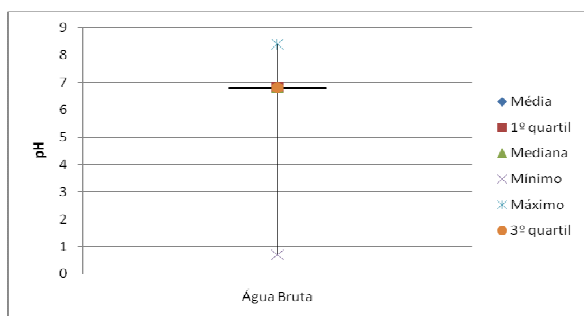


Figura 59 Estatística descritiva dos valores de pH da água bruta, ETA SAAE II

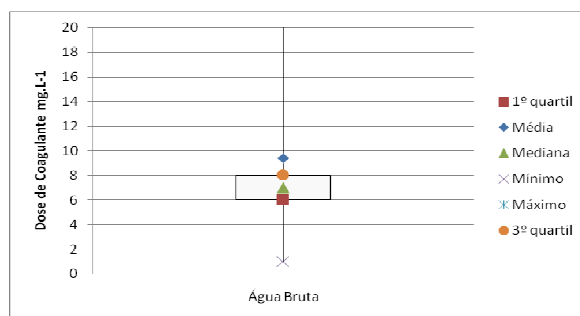


Figura 60 Estatística descritiva das doses de coagulante aplicada na ETA SAAE II

A perda de carga disponível nos filtros da ETA SAAE II é de 1,75 m. Portanto, a limpeza dos filtros deve ocorrer quando a o nível da água dentro da caixa do filtro atingir esse valor ou quando a turbidez da água filtrada estiver em 0,5 uT.

Com relação à limpeza dos flocculadores, decantadores e tanque de contato, não foi possível diagnosticar o acúmulo de lodo nessas unidades e, portanto, recomenda-se a limpeza a cada quatro meses e inspeção visual para evitar o acúmulo excessivo de lodo, como apresentado na Figura 61.



Figura 61 Acúmulo excessivo de lodo no decantador da ETA SAAE II (a marca em vermelho mostra o nível atingido pelo lodo)

Com relação ao monitoramento de (oo) cistos, a análise mês a mês o efluente dos filtros, nota-se tendência similar á das outras estações, ou seja, os valores mais elevados de turbidez não necessariamente coincidem com a presença (oo)cistos. (Figuras 62 e 63).

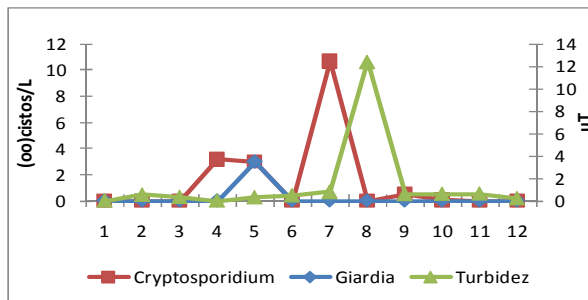


Figura 62 Concentração de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e valores turbidez, efluente do filtro 1, ETA SAAE II

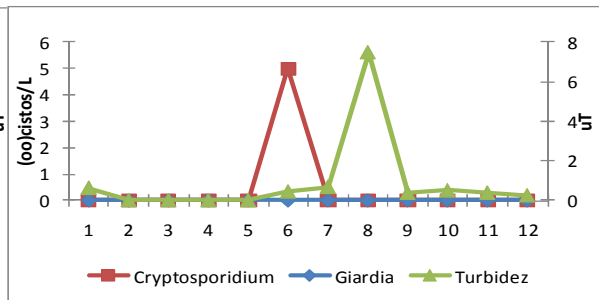


Figura 63 Concentração de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. e valores turbidez, efluente do filtro 2, ETA SAAE II

Os Quadros 9 e 10 trazem um resumo dos limites críticos e operacionais adotados para as ETA UFV, SAAE I e SAAE II, respectivamente para os perigos bactérias e vírus e protozoários.

Quadro 9 Limites críticos e operacionais para os PCCs e PCs – Bactérias e Vírus (ETA SAAE I e II e UFV)

Perigo	Etapa de Tratamento	PCC / PC	Parâmetro de monitoramento	Limite			
				Crítico	Operacional		
					ETA UFV	SAAE I	SAAE II
Bactérias/ Vírus	Mistura rápida / Coagulação	PC	Vazão	-	Variação da vazão ao longo da operação		
			Turbidez	-	16 uT	20 uT	40 uT
			pH	-	6,5 a 8,0	6,5 a 8,0	6,5 a 7,5
			Dose de coagulante aplicada	-	8 a 28	8 a 28	5 a 15
				-	Variação da dose estabelecida em jar test		
	Floculação	PC	Acúmulo de floco	-	Variável – acúmulo de flocos		
	Decantação	PC	Turbidez	-	4,0 uT	7,0 uT	-
			Acúmulo de floco	-	Variável – acúmulo de lodo		
	Filtração	PC	Turbidez	≤ 1,0 uT	0,5 uT	0,7 uT	0,5 uT
			Perda de carga	-	1,60 m	1,65 m	1,75 m
	Desinfecção	PCC	Cloro residual livre	0,5 mg Cl .L ⁻¹ (TC – 30 min.)	CT 15 mg·min.L ⁻¹ com CRL < 2,0 mg Cl .L ⁻¹		
			pH	-	< 8,0		

Quadro 10 Limites críticos e operacionais para os PCCs e PCs – Protozoários (ETA SAAE I e II e UFV)

Perigo	Etapa de Tratamento	PCC / PC	Parâmetro de monitoramento	Limite			
				Crítico	Operacional		
					ETA UFV	SAAE I	SAAE II
Protozoários	Mistura rápida / Coagulação	PCC	Vazão	-	Variação da vazão ao longo da operação		
			Turbidez	-	16 uT	20 uT	40 uT
			pH	-	6,5 a 8,0	6,5 a 8,0	6,5 a 7,5
			Dose de coagulante aplicada	-	8 a 28	8 a 28	5 a 15
				-	Variação da dose estabelecida em jar test		
	Floculação	PCC	Acúmulo de floco	-	Variável – acumulo de flocos		
	Decantação	PCC	Turbidez	-	4,0 uT	7,0 uT	-
			Acúmulo de floco	-	Variável – acumulo de lodo		
	Filtração	PCC	Turbidez	≤ 1,0 uT	0,5 uT	0,7 uT	0,5 uT
			Perda de carga	-	1,60 m	1,65 m	1,75 m

5.5 Princípio 4: Estabelecimento do monitoramento dos Pontos Críticos de Controle

Como já foi mencionado no item anterior os pontos críticos de controle são considerados chave para a produção de água segura e os pontos de controle constituem etapas intermediárias, que dão condições para a produção de água segura. Diante disto, os PCCs demandam um monitoramento mais rigoroso com maior frequência de amostragem quando comparados com os PCs.

As informações relacionadas com o monitoramento dos pontos críticos de controle e pontos de controle estão apresentadas nos Quadros 11 e 12 - o que ser monitorado, com que frequência, o local e a atividade a ser desenvolvida no monitoramento. Todas as informações obtidas no monitoramento devem ser devidamente registradas em banco de dados que posteriormente será utilizado na revisão do APPCC (Princípio 6).

Caso ocorram desvios no monitoramento, ou seja, se o limite operacional é atingido para um determinado parâmetro, as medidas corretivas devem ser adotadas da forma mais rápida possível para evitar que o limite crítico seja atingido o que configurará a produção de água não potável e, conseqüentemente, será necessário o descarte da água que teve sua qualidade comprometida.

O descarte deve se evitado por motivos econômicos e pelos fatos da produção de água ser contínua e da capacidade de armazenamento ser limitada. Portanto, qualquer paralisação da produção comprometerá a distribuição de água e isso reforça a necessidade da adoção de parâmetros que tragam respostas rápidas e confiáveis ao monitoramento.

Quadro 11 Monitoramento dos pontos críticos de controle e pontos de controle – Bactérias e Vírus (ETA SAAE I e II e UFV)

Perigo	Etapa de Tratamento	PCC / PC	Parâmetro de monitoramento	Monitoramento		
				Frequência	Local	Atividade
Bactérias/ Vírus	Mistura rápida / Coagulação	PC	Vazão	A cada 2 horas	Calha Parshall	Coleta e registro da informação
			Turbidez	A cada 2 horas	Calha Parshall	Coleta, análise e registro do resultado
			pH	A cada 2 horas	Calha Parshall	Coleta, análise e registro do resultado
			Dose de coagulante aplicada	Diária	Jar-test	Determinação da dose a ser aplicada
				Horária	Calha Parshall (ponto de aplicação do coagulante)	Aferição da dose de coagulante aplicada
				Diária	Tanque de coagulante	Preparo da solução coagulante
	Floculação	PC	Acúmulo de floco	-*	Floculador	Limpeza e inspeção visual de falhas na estrutura
	Decantação	PC	Turbidez	A cada 2 horas	Calha coletora de água decantada	Coleta, análise e registro do resultado
			Acúmulo de floco	-*	Decantador(es)	Limpeza e inspeção visual de falhas na estrutura
	Filtração	PC	Turbidez	A cada 2 horas	Saída de cada filtro	Coleta, análise e registro do resultado
			Perda de carga	A cada 2 horas	Em cada filtro	Coleta e registro da informação
	Desinfecção	PCC	Cloro residual livre	Horária	Saída do tanque de contato	Coleta, análise e registro do resultado
			pH	Horária	Entrada do tanque de contato	Coleta, análise e registro do resultado

*Após a obtenção do histórico que permita estimar a deposição de lodo no reator deve-se estabelecer o intervalo de tempo que melhor se adéque a realidade.

Quadro 12 Monitoramento dos pontos críticos de controle e pontos de controle – Protozoários (ETA SAAE I e II e UFV)

Perigo	Etapa de Tratamento	PCC / PC	Parâmetro de monitoramento	Monitoramento		
				Frequência	Local	Atividade
Protozoários	Mistura rápida / Coagulação	PCC	Vazão	Horária	Calha Parshall	Coleta e registro da informação
			Turbidez	Horária	Calha Parshall	Coleta, análise e registro do resultado
			pH	Horária	Calha Parshall	Coleta, análise e registro do resultado
			Dose de coagulante aplicada	Diária	Jar-test	Determinação da dose a ser aplicada
				A cada 30 min.	Calha Parshall (ponto de aplicação do coagulante)	Aferição da dose de coagulante aplicada
				Diária	Tanque de coagulante	Preparo da solução coagulante
	Floculação	PCC	Acúmulo de floco	_*	Floculador	Limpeza e inspeção visual de falhas na estrutura
	Decantação	PCC	Turbidez	Horária	Calha coletora de água decantada	Coleta, análise e registro do resultado
			Acúmulo de floco	_*	Decantador(es)	Limpeza e inspeção visual de falhas na estrutura
	Filtração	PCC	Turbidez	Horária	Saída de cada filtro	Coleta, análise e registro do resultado
			Perda de carga	Horária	Em cada filtro	Coleta e registro da informação
	Desinfecção	PCC	Cloro residual livre	Horária	Saída do tanque de contato	Coleta, análise e registro do resultado
			pH	Horária	Entrada do tanque de contato	Coleta, análise e registro do resultado

*Após a obtenção do histórico que permita estimar a deposição de lodo no reator deve-se estabelecer o intervalo de tempo que melhor se adéque a realidade.

5.6 Princípio 5: Estabelecimento de medidas corretivas

As medidas corretivas para os pontos de controle e pontos críticos de controle devem constituir ações de fácil execução e que tragam respostas imediatas, contornando o problema de forma eficaz e restabelecendo o controle do parâmetro monitoramento.

Para o tratamento de água, os parâmetros selecionados para monitorar a eficiência da estação foram: turbidez das águas bruta, decantada e filtrada, pH e alcalinidade da água bruta, aplicação do coagulante, acompanhamento da carreira de filtração, limpeza dos flocladores, decantadores e, principalmente dos filtros.

Com relação aos parâmetros acima citados, vale destacar a turbidez da água bruta, pois, não há como intervir no manancial de forma a ‘escolher’ qual turbidez pode ser tratada. Portanto, a medida corretiva tem a função de adequar as etapas seguintes para que ao se constatar a entrada de uma água com valores de turbidez fora do padrão, os operadores tenham uma sequencia de passos estabelecidos para evitar a perda de controle ao final do tratamento.

Para que as medidas corretivas tragam os efeitos esperados é fundamental o conhecimento detalhado de todos os parâmetros das etapas de tratamento e a existência de um banco de dados confiável.

Quadro 13 Medidas corretivas Pontos Críticos de Controle para os perigos identificados

Perigo	Etapa de Tratamento	PCC / PC	Parâmetro de monitoramento	Medidas Corretivas
Bactérias e Vírus Protozoários	Mistura rápida / Coagulação	PCC	Vazão	Verificação do conjunto moto-bomba e acionamento do equipamento reserva ou readequação da dose aplicada para nova vazão.
			Turbidez	Realização de ensaios de jarros com maior frequência. Avaliação da necessidade de aplicação de auxiliares de coagulação.
			pH	Realização de ensaios de jarros com maior frequência. Avaliação da necessidade da correção do pH.
			Dose de coagulante aplicada	Verificação da bomba dosadora e, se necessário, acionamento do equipamento reserva.
	Floculação	PCC	Acúmulo de floco	Limpeza do floculador.
	Decantação	PCC	Turbidez	Verificação da dosagem de produtos químicos (coagulante, corretores de pH, auxiliares de floculação, etc.) e, se necessário, realização de ensaios de jarros com maior frequência.
			Acúmulo de floco	Limpeza dos decantadores.
	Filtração	PCC	Turbidez	Limpeza do filtro que atingir o limite operacional de turbidez.
			Perda de carga	Limpeza do filtro que atingir o limite operacional de perda de carga.
	Desinfecção	PCC	Cloro residual livre	Verificação da bomba dosadora e, se necessário, acionamento do equipamento reserva.
pH			Correção do pH ou readequação da dose de coagulante.	

5.7 Princípio 6: Estabelecimento de processos de verificação do sistema

APPCC

O processo de verificação pode ser dividido em cinco itens: (i) avaliação do banco de dados – mensal e anual; (ii) estabelecimento de um programa de amostragem de forma aleatória (auditoria interna); (iii) avaliação periódica de todo o sistema de produção; (iv) estabelecimento de mETA; e (v) programa de capacitação dos funcionários envolvidos no sistema de tratamento de água.

A avaliação contínua do banco de dados permite identificar o percentual de atendimento aos limites operacionais e críticos, possibilitando a (re)adequação dos mesmos.

A adoção de um programa de validação da amostragem e de resultados objetiva a obtenção de dados que sejam confiáveis e que possam de fato orientar a tomada de decisão. O banco de dados é uma ferramenta de fundamental importância no desenvolvimento e aplicação de um sistema APPCC.

A avaliação do sistema de tratamento permite a identificação de todos os possíveis problemas em uma estação, a qual passa inevitavelmente por processo constante de desgaste e, conseqüentemente, está sujeita a ocorrência de falhas estruturais. Portanto, o processo de avaliação deve ocorrer sempre e, preferencialmente, de forma preventiva.

A capacitação tem por objetivo manter os funcionários atualizados nas técnicas de tratamento e no uso de novos equipamentos, além de mantê-los motivados. Para que a implementação e manutenção do sistema APPCC logre sucesso, é de fundamental importância a participação de todos os técnicos envolvidos na produção de água para consumo humano.

5.8 Princípio 7: Documentação de todos os procedimentos e registros relacionados aos princípios e sua aplicação

Como já destacado ao longo de outros tópicos, a documentação de todas as ações tem fundamental importância no acompanhamento e aprimoramento dos procedimentos e limites aplicados no APPCC.

Para o tratamento de água é fundamental a manutenção de um banco de dados atualizado e informatizado de fácil acesso para propiciar a tomada de decisão de forma mais correta possível.

O banco de dados tem a função de controlar o consumo de produtos químicos e controlar os estoques de forma que não ocorra a falta de determinado produto ou reagente ou que os mesmos percam a validade.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A mudança de paradigmas no tratamento de água, citada na introdução deste trabalho, é essencial para garantia da segurança da qualidade da água para consumo humano. Neste sentido a análise de perigos e pontos críticos de controle se mostra uma ferramenta adequada para promover e orientar tais mudanças.

Os sete princípios desenvolvidos neste trabalho, em essência, não se diferenciam da metodologia clássica desenvolvida para o APPCC.

A identificação dos pontos críticos de controle com base na aplicação da árvore de decisão apresentou a necessidade de maiores adequações. Onde foi proposto um novo modelo de árvore de decisão, buscando uma maior adequação ao processo de tratamento de água para consumo humano em ciclo completo. Neste sentido foram incorporados os conceitos de pontos de atenção e pontos de controle, além dos tradicionais pontos críticos de controle.

Vários trabalhos sobre aplicação do APPCC em sistemas de abastecimento de água apontam a necessidade de maior aprofundamento científico quanto à definição dos limites críticos dos parâmetros a serem monitorados. O presente trabalho buscou contribuir nesse sentido através, principalmente, da sistematização e da avaliação dos bancos de dados das estações e da elaboração de diagramas de coagulação, buscando identificar limites operacionais para os PCC e PC.

Recomenda-se que as ‘inovações’ e adaptações aqui apresentadas, sigam sendo problematizadas, desde o ponto de vista conceitual, bem como na aplicação em outros estudos de caso.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 12.216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. 18 p. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT - ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 14.900: Sistema de gestão da análise de perigos e pontos críticos de controle - Segurança de alimentos. 9 p. Rio de Janeiro, 2002.

ALMEIDA, C. R. O Sistema HACCP como instrumento para garantir a inocuidade dos AS/NZS. Risk Management AS/NZS 4360:2004. Sydney: Standards Australia, Wellington: Standards New Zealand, 30p. 49, 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.

APHA; AWWA; WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 5710A. 19. ed. Washington: 1998.

BARTRAM, J., FEWTRELL, L. STENSTRÖM, T.A. Harmonised assessment of risk and risk management for water-related infectious disease: an overview. In *Water Quality: Guidelines, Standards and Health – Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. (eds L. Fewtrell and J. Bartram), pp. 1-16, World Health Organization, IWA Publishing, London, UK. (2001).

BASTOS, R.K.X., BRANDÃO, C. C. S., CERQUEIRA, D.A. *Tratamento de Água e Remoção de Protozoários*. In: PÁDUA, V.L. (ed.). *Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Rio de Janeiro: ABES-Projeto Prosab, 2009. p. 109-150.

BASTOS, R.K.X., BEZERRA, N. R., BEVILACQUA, P.D. Planos de segurança da água: Novos paradigmas em controle da qualidade da água para consumo humano em nítida consonância com a legislação brasileira. In; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, (2007). (CD-ROM).

BASTOS, R.K.X. et al. Revisão da Portaria no 36 GM/90. Premissas e princípios norteadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL. , 21., 2001, João Pessoa. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, (2001). (CD-ROM).

BASTOS, R.K.X., HELLER, L., FORMAGGIA, D.M.E., AMORIM, L., SANCHEZ, P.S., BEVILACQUA, P.D. 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. 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. (CD ROM)

BEVILACQUA, P.D.; BASTOS, R.K.X; HELLER, L.; OLIVEIRA, A.A.; MARTINS, M.B.C.; BRITO, L.L.A. 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 ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28, 2002, Cancun, México: *Anais...* Cidade do México: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002. (CD-ROM).

BRAGA, M.D. *Análise de perigos e pontos críticos de controle – APPCC: estudo de caso no sistema de abastecimento de água da Universidade Federal de Viçosa*. 2007.132 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Universidade Federal de Viçosa, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. *Comentários sobre a Portaria MS n.º 518/2004: subsídios para implementação*. Brasília-DF: Editora do Ministério da Saúde, 2005.92 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria n. 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 mar. 2004. Seção 1. p. 266.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria da SVS/MS n. 1428, de 26/11/1993. *Regulamento técnico para inspeção sanitária de alimentos. Diretrizes para estabelecimento de Boas Práticas de Produção e de Prestação de Serviços na Área de Alimentos. Regulamento técnico para o Estabelecimento de Padrão de Identidade e Qualidade –(PIQs) para Serviços e Produtos na área de Alimentos*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 02 dez. 1993.

CEPIS - CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. *Ciclo: Tratamiento, Serie: Filtración rápida. Evaluación*. Lima, Perú: CEPIS, 1992.

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Appendix IV. Working principles for risk analysis for application in the framework of the Codex Alimentarius. In: Report of the Twenty- Sixty session of the Codex Alimentarius Commission; 2003, 30 June - 7 July; Rome. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/006/y4800e/y4800e0o.htm>> Acesso em: 05 jun. 2009

CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. Recommended International Code of Practice: general principles of food hygiene, CAC/RCP 1-1969, Rev. 4. In Food hygiene: basic texts. Joint FAO/WHO Food Standards Programme; 2001; Rome. Disponível em: www.codexalimentarius.net/download/standards/23/cxp_001e.pdf Acesso em: 05 jun. 2009

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

DAVISON, A.; HOWARD, G.; STEVENS, M.; CALLAN, P.; KIRBY, R.; DEERE, D.; BARTRAM, J. *Water safety plans*. Geneva: World Health Organization, 2005 (WHO/SDE/WSH/05.06).

DEERE, D., STEVENS, M., DAVISON, A., HELM, G. and DUFOUR, A. Management Strategies. In *Water Quality: Guidelines, Standards and Health – Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease*. (eds. J. Bartram and L. Fewtrell) pp. 257-288, 2001. World Health Organization, IWA Publishing, London, UK.

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; DI BERNARDO, A; CENTURIONE FILHO, P. L. *Ensaio de tratabilidade de água e de resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos-SP: Rima, 2002. 236p.

FINLAYSON, G.; FRENCH, C.; CHAPMAN, M.. *HACCP for Drinking Water - How well has it worked so far, and how can we do it better?*

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Food quality and safety systems: a training manual on Food Hygiene and the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System*. Roma: FAO; 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/W8088E/w8088e00.htm>> Acesso em 06 jun. 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Sistemas de Calidad e inocuidad de los alimentos. Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC)*. Roma: FAO, 2002. Disponível em: <<http://www.fao.org/DOCREP/005/W8088S/W8088S00.HTM>> Acesso em 02 jun. 2009

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, World Health Organization. *Food Safety Risk Analysis. An Overview and Framework Manual. PART I. Provisional Edition*. Rome: FAO, 2005. Disponível em: <http://www.fsc.go.jp/sonota/foodsafety_riskanalysis.pdf> Acesso em 02 jun. 2009

FRANCO, R.M.B.; CANTUSIO NETO, R.; BRANCO, N. Detecção de *Cryptosporidium* sp e *Giardia* sp em água pela técnica de filtração em membrana: estudo comparativo entre diferentes técnicas de eluição. *Jornal Brasileiro de Patologia*, v. 37, n. 4, p. 205, 2001.

FREITAS, A. G. *Recirculação de água de lavagem de filtros em escala piloto: Uma contribuição para avaliação de perigos associados à presença de protozoários*. 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa UFV, 2007.

GIRSBERGER, W. HACCP Hazard Analysis and Critical Control Points in Modern Management Systems of Water Suppliers. In: WATER SAFETY, 2003, Berlim: *Conference Abstracts*.

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

HAVELAAR, A.H.; MELSE, J.M. *Quantifying public health risk in the WHO guidelines for drinking-water quality. A burden of disease approach*. Bilthoven: RIVM, WHO, 2003. 43 p. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/rivmrep.pdf> Acesso em: 12 jun. 2009.

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. ; PINTO, V. G.; PADUA, V. L.. Terceira edição dos Guias da Organização Mundial da Saúde: que impacto esperar na Portaria 518/2004?. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. (CD ROM)

HELLIER, K. HACCP at Melbourne Water Implementation from Catchment to Tap. In: WATER SAFETY, 2003, Berlim: *Conference Abstracts*.

IWA. The Bonn Charter for safe drinking water. International Water Association, September, London. (2004).

MEDEMA, G.J. et al. Sedimentation of free and attached *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in water. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 64, n. 11, p. 4460-4466, 1998.

OLIVEIRA, D. C.; BASTOS, R.K.X., PIMENTA, J. F. P., BORGES, N. B., FREITAS, A. G. Avaliação de desempenho de filtros rápidos de fluxo descendente: a importância da adequada operação. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30, 2006. Uruguai. *Anais...* Punta Del Este: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006b. (CD-ROM)

OLIVEIRA, D. C.; BASTOS, R.K.X., PIMENTA, J. F. P., BORGES, N. B., FREITAS, A. G. Avaliação de desempenho de uma unidade de decantação convencional: levantamento dos parâmetros hidráulicos e sua influencia na qualidade da água decantada. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30, 2006.

Uruguai. *Anais...* Punta Del Este: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006a. (CD-ROM)

OPAS. Organização Pan Americana da Saúde. *HACCP: instrumento essencial para a inocuidade de alimentos*. Buenos Aires, Argentina: OPAS/Inpaaz, 2001. 333p.

PÁDUA, V. L.; Di BERNARDO, L. Comparação entre turbidez e distribuição de tamanhos de partículas. 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)

USEPA. Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems: using surface water sources. Washington, DC: USEPA, 1991. Disponível em: <<http://www.epa.gov/safewater/mdbp/guidsws.pdf> > Acesso em: 02 ago. 2008.

USEPA. Guidance Manual for Compliance with the Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule: Turbidity Provisions. United States Environmental Protection Agency, EPA 815-R 99-010 April 1999.

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

VAZ, A.; MOREIRA, R.; HOGG, T.. *Introdução ao HACCP*. ORGAL, Associação para a Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica, 2000. 52 p. Disponível em: <http://www.dgv.minagricultura.pt/higiene_publica/Cod_Boas_Praticas/Plataforma%20CBP_20081215/Introdu%C3%A7%C3%A3o_HACCP_AESBUC.pdf> Acesso em: 05 jun. 2009.

VIEIRA, J. M. P, MORAIS, C.. *Planos de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento*. Universidade do Minho: Sociedade Industrial Gráfica Lda, 2005. 161p.

WESTRELL, T, *Microbial risk assessment and its implications for risk management in urban water systems*. 1ed. Linköping: UniTryck, 2004, 84p. Disponível em: <<http://www.urbanwater.org/file/dyn/00000m/3000m/3025i/Kappa%20TW.pdf>> Acesso em: 18 ago. 2009

WHO – World Health Organization. *Guidelines for Drinking-Water Quality, first edition. Vol. 1 - Recommendations*. Geneva: WHO, 1984.

WHO – World Health Organization. *Guidelines for Drinking-Water Quality, second edition. Vol. 1 - Recommendations*. Geneva: WHO, 1993. Disponível em:
<http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines4/en/index.html> Acesso em: 12 jun. 2009.

WHO - World Health Organization. Training Considerations for the Application of the Hazard Analysis Critical Control Point System to Food Processing and Manufacturing. Report of a WHO Consultation on Hazard Analysis Critical Control Point System (Geneva, March 1993). Unpublished WHO document (WHO/FNU/FOS/93.3).

WHO - World Health Organization. Hazard Analysis Critical Control Point System: Concept and Application, Report of a WHO Consultation with the participation of FAO (Geneva, May 1995). Unpublished WHO document (WHO/FNU/FOS/95.7).

WHO – World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality, third edition. Vol. 1 - Recommendations*. Geneva: WHO, 2004. 515p. Disponível em:
< http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines4/en/index.html> Acesso em: 12 jun. 2009.

WHO – World Health Organization. Water Safety Plans. Managing drinking-water quality from catchment to consumer. Geneva: WHO, 2005 .

WHO - World Health Organization. Guidelines for drinking water quality. Cryptosporidium. EHC Cryptosporidium draft 2. Jan. 2006.