

GUSTAVO JOSÉ RODRIGUES LOPES

**AVALIAÇÃO DA TURBIDEZ E DO TAMANHO DE PARTÍCULAS
COMO PARÂMETROS INDICADORES DA REMOÇÃO DE
OOCISTOS DE *CRYPTOSPORIDIUM* SPP. NAS ETAPAS DE
CLARIFICAÇÃO NO TRATAMENTO DA ÁGUA EM CICLO
COMPLETO**

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
MINAS GERAIS – BRASIL
2008**

GUSTAVO JOSÉ RODRIGUES LOPES

**AVALIAÇÃO DA TURBIDEZ E DO TAMANHO DE PARTÍCULAS
COMO PARÂMETROS INDICADORES DA REMOÇÃO DE
OOCISTOS DE *CRYPTOSPORIDIUM* SPP. NAS ETAPAS DE
CLARIFICAÇÃO NO TRATAMENTO DA ÁGUA EM CICLO
COMPLETO**

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*.

APROVADA: 29 de setembro de 2008.

Prof^a. Cristina Célia Silveira
Brandão

Prof. Valter Lúcio de Pádua

Prof. Joaquin Hernan Patarroyo
Salcedo

Prof^a. Paula Dias Bevilacqua
(Co-Orientadora)

Prof. Rafael Kopschitz Xavier Bastos
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Rafael Kopschitz Xavier Bastos pela amizade, paciência e ensinamentos no desenvolvimento deste trabalho.

À Prof^a. Paula Dias Bevilacqua, pelo apoio, conselhos e opiniões valiosas.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Civil e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pela formação e condições de trabalho proporcionadas.

À Divisão de Água e Esgotos da UFV, por toda a infraestrutura disponibilizada para a condução do trabalho, recursos humanos e materiais.

À Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo apoio financeiro à condução do projeto, no âmbito do Tema 1, Edital 5, do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB). Ao Prosab, pela oportunidade única de participar de tão importante iniciativa de pesquisa em rede.

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

Ao Engenheiro Márcio Amazonas, Gerente Corporativo de Recursos Hídricos, The Coca-Cola Company, por seu entusiasmo e credo em parcerias acadêmicas e pelo fundamental apoio.

Aos Professores Valter Pádua, Cristina Brandão e Joaquin Patarroyo pela participação na banca de avaliação.

À minha esposa Fernanda, pelo carinho, atenção, apoio e compreensão indispensáveis. MUITO OBRIGADO.

Aos servidores da DAG UFV pela disponibilidade, apoio e atenção dispensada durante todo o trabalho, em especial ao Luis Eduardo, Raimundo Jacinto e Sebastião Camilo.

Às colegas Rosane Andrade, Raíssa, Jaqueline, Patrícia, agradeço o apoio e a colaboração imprescindíveis.

Aos técnicos do Setor de Medicina Veterinária Preventiva e Saúde Pública, Departamento de Veterinária.

Aos estagiários, João, Hygor e Allana pela responsabilidade e dedicação demonstradas na realização deste trabalho.

A todos os colegas da pós-graduação e companheiros da Estação de Tratamento de Água pela amizade e pelo maravilhoso clima de trabalho.

Aos meus pais Luiz Cesar e Maria das Graças, pelo apoio e incentivo durante toda minha vida. Palavras não são suficientes para expressar o quanto sou grato: MUITO OBRIGADO.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE QUADROS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo geral	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. <i>Cryptosporidium</i> spp. e sua importância no abastecimento de água para consumo humano	3
3.2. Remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> por meio do tratamento de água.	5
3.2.1. Características dos oocistos de <i>Cryptosporidium</i> que influenciam sua remoção no tratamento da água.	5
3.2.2. Eficiência de remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> no tratamento da água em ciclo completo.	7
3.3. Turbidez e distribuição de tamanho de partículas como indicadores da remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	10
3.3.1. Histórico e significado da turbidez como parâmetro indicador da qualidade da água para consumo humano	10
3.3.2. Contagem de partículas por distribuição de tamanho	13
3.3.3. Relação entre turbidez e contagem de partículas	17
3.3.4. Relação entre remoção de turbidez e de partículas e remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	18
3.4. Emprego da turbidez como parâmetro indicador da qualidade parasitológica da água em normas e critérios de qualidade da água para consumo humano.	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1. Descrição da instalação piloto.	29
4.1.1. Mistura rápida	31
4.1.2. Floculador	32
4.1.3. Decantador	33
4.1.4. Filtro	33
4.1.5. Tanque de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	34
4.2. Descrição da ETA UFV	34
4.3. Inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto	35
4.3.1. Descrição dos ensaios, coleta de amostras e análises laboratoriais	35
4.3.1. Análise dos resultados	38
4.4. Comparação de medidas de turbidez em diferentes turbidímetros.	39
4.4.1. Descrição dos ensaios.	39
4.4.2. Descrição dos equipamentos.	40
4.4.3. Análise dos resultados	45
4.5. Contagem de partículas da água decantada da ETA piloto.	45
4.6. Monitoramento de protozoários na ETA UFV.	46
4.7. Amostragem total.	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1. Comparação da medida da turbidez em diferentes equipamentos.	47
5.2. Contagem de partículas e medidas de turbidez na ETA piloto - Ensaios de contagem de partículas da água decantada.	54
5.3. Contagem de partículas e medidas de turbidez na ETA piloto - ensaios de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.	72
5.4. Remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> nos ensaios de inoculação na ETA piloto. ...	97
5.5. Relação entre remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e turbidez.	102
5.6. Relação entre remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> e partículas.	108
5.7. Monitoramento da ETA UFV	111
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117
ANEXO 1	120
1. Introdução	121

2. Procedimentos de preparo das amostras e contagem de (oo)cistos.....	121
2.1. EasySeed - técnica de membrana filtrante	121
2.2. EasySeed - técnica da floculação com carbonato de cálcio	123
2.3. Inóculo UFTM- técnica de membrana filtrante	124
2.4. Inóculo UFTM- técnica da floculação.....	124
3. Resultados.....	124
3.1. EasySeed - técnica de membrana filtrante	124
3.2. EasySeed - técnica da floculação com carbonato de cálcio	125
3.3. Inóculo UFTM- técnica de membrana filtrante	126
3.4. Inóculo UFTM- técnica da floculação.....	126
4. Considerações finais	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Constituintes encontrados em água e esgoto, técnicas de remoção e de determinação de tamanho de partículas, por faixa de tamanho	14
Figura 2 – Exemplo da utilização do princípio da esfera equivalente: esfera de mesmo volume.....	14
Figura 3 – Diferentes diâmetros equivalentes para uma mesma partícula.....	15
Figura 4 – Associação entre remoção de (oo)cistos de <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> e de partículas.....	19
Figura 5 – Associação entre remoção de (oo)cistos de <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> e de turbidez.....	20
Figura 6 – Associação entre remoção de turbidez e de (oo)cistos de <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i>	20
Figura 7 - Remoção necessária de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> para risco tolerável de 10^{-4} , de acordo com a concentração na água bruta	25
Figura 8 – Fluxograma de realização dos experimentos.....	29
Figura 9 – Detalhe da tubulação de chegada de água bruta da ETA UFV e da tomada de água para alimentação da ETA piloto.....	30
Figura 10 – Vista parcial da ETA piloto, decantador, filtro e tanque de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	31
Figura 11 – ETA piloto, detalhes dos pontos de mistura água bruta + inóculo de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> , de aplicação e mistura do coagulante.....	32
Figura 12 - ETA piloto, vista lateral do flocculador.....	32
Figura 13 -ETA piloto, vista superior do decantador.....	33
Figura 14 - ETA piloto, detalhe do tanque de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	34
Figura 15 - ETA UFV, detalhe da Calha Parshall (a) e vista do decantador e do flocculador (b).....	35
Figura 16 - ETA UFV, vista dos filtros	35
Figura 17 - Turbidímetro modelo HACH 2100 AN (a) e contador de partículas de processo, modelo HACH 2200PCX (b).....	37
Figura 18 - Turbidímetro de processo modelo HACH 1720 E.....	38
Figura 19 – Turbidímetros de bancada digitais, modelos Hach 2100 P (a), La Motte 2020 (b) e analógico modelo FUGIWARA THN 100 A (c).....	40
Figura 20 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro HACH 2100 NA.....	41
Figura 21 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro HACH 2100 P.....	42
Figura 22 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro La Motte 2020.....	43
Figura 23 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro Hach 1720E.....	44
Figura 24 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro FUGIWARA analógico THN 2100.....	45
Figura 25 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 1 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	55
Figura 26 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 2 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	55
Figura 27 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 3 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	56
Figura 28 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 4 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	56
Figura 29 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 5 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	57
Figura 30 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 6 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	57

Figura 31 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 7 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	58
Figura 32 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 8 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	58
Figura 33 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 9 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	59
Figura 34 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 10 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	59
Figura 35 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 11 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto.....	60
Figura 36 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 1 na ETA piloto	61
Figura 37 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 2 na ETA piloto	62
Figura 38 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 3 na ETA piloto	63
Figura 39 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 4 na ETA piloto	64
Figura 40 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 5 na ETA piloto	65
Figura 41 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 6 na ETA piloto	66
Figura 42 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 7 na ETA piloto	67
Figura 43 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 8 na ETA piloto	68
Figura 44 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 9 na ETA piloto	69
Figura 45 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 10 na ETA piloto	70
Figura 46 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 11 na ETA piloto	71
Figura 47 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 1 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	72
Figura 48 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 2 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	73
Figura 49 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 3 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	73
Figura 50 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 4 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	74
Figura 51 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 5 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	74
Figura 52 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 6 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	75
Figura 53 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 7 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	75
Figura 54 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 8 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	76
Figura 55 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 9 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	77
Figura 56 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 10 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	77
Figura 57 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, durante o ensaio 11 de inoculação de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	78

Figura 58 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 12 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	79
Figura 59 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 13 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	79
Figura 60 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 14 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	80
Figura 61 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 15 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	80
Figura 62 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 1 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	82
Figura 63 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 2 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	83
Figura 64 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 3 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	84
Figura 65 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 4 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	85
Figura 66 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 5 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	87
Figura 67 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 6 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	88
Figura 68 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 7 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	89
Figura 69 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada,ensaio 8 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	90
Figura 70 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 10 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	91
Figura 71 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 11 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	92
Figura 72 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada,ensaio 12 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	93
Figura 73 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada,ensaio 13 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	94
Figura 74 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada,ensaio 14 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	95
Figura 75 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 15 de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto.....	96
Figura 76 – Variação do número de oocistos / L na água bruta, decantada e filtrada, valores médios dos 15 ensaios de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto, início da carreira de filtração (Amostra 1).....	98
Figura 77 – Variação do número de oocistos / L na água bruta, decantada e filtrada, valores médios dos 15 ensaios de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto, meio da carreira de filtração (Amostra 2).....	98
Figura 78 – Variação do número de oocistos / L na água bruta, decantada e filtrada, valores médios dos 15 ensaios de inoculação de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto, final da carreira de filtração (Amostra 3).....	99
Figura 79 – Variação da remoção de turbidez e de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto (decantação).....	104
Figura 80 – Variação da remoção de turbidez e de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto (decantação + filtração).....	105
Figura 81 – Associação entre valores médios de log - remoção de turbidez e de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto (decantação + filtração) (n = 11).....	106
Figura 82 – Associação entre valores médios de log - remoção de turbidez e de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto (decantação + filtração) (n = 6).....	106

Figura 83 – Associação entre valores médios de log - remoção de turbidez e de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto (decantação + filtração), excluídos os dados dos períodos iniciais dos ensaios (n = 9).....	107
Figura 84 – Variação da remoção (log ₁₀) de partículas por faixa de tamanho, turbidez e oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na filtração, ETA piloto.....	109
Figura 85 – Associação entre valores médios de log - remoção de partículas (2 - 7 µm) e de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na ETA piloto (filtração) (n = 11).....	111
Figura 86 – Variação da turbidez da água bruta, ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008.....	113
Figura 87 – Variação da turbidez da água decantada, ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008.....	113
Figura 88 – Variação da turbidez da água filtrada, ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vazões da ETA piloto e gradientes de velocidade de mistura rápida.....	31
Tabela 2 – Gradientes de velocidade (s^{-1}) nas câmaras de floculação para as vazões utilizadas na ETA piloto.....	33
Tabela 3 - ETA piloto, características do leito filtrante.....	34
Tabela 4 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água bruta em diferentes equipamentos, janeiro a março de 2007.....	41
Tabela 5 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água bruta (teste t – amostras pareadas), janeiro a março de 2007.....	48
Tabela 6 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água decantada em diferentes equipamentos, janeiro a março de 2007.....	48
Tabela 7 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água decantada (teste t – amostras pareadas), janeiro a março de 2007.....	48
Tabela 8 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água filtrada (filtro 1) em diferentes equipamentos, janeiro a março de 2007.....	49
Tabela 9 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água filtrada (filtro 2) em diferentes equipamentos, janeiro a março de 2007.....	49
Tabela 10 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água filtrada (teste t – amostras pareadas), janeiro a março de 2007.....	50
Tabela 11 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água bruta em diferentes equipamentos, abril a julho de 2007.....	50
Tabela 12 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água bruta (teste t – amostras pareadas), abril a julho de 2007.....	51
Tabela 13 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água decantada em diferentes equipamentos, abril a julho de 2007.....	51
Tabela 14 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água decantada (teste t – amostras pareadas), abril a julho de 2007.....	51
Tabela 15 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água filtrada (filtro 1) em diferentes equipamentos, abril a julho de 2007.....	52
Tabela 16 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água filtrada (filtro 2) em diferentes equipamentos, abril a julho de 2007.....	53
Tabela 17 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água filtrada (teste t – amostras pareadas), abril a julho de 2007.....	53
Tabela 18 – Resultados da pesquisa de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> nos ensaios de inoculação na ETA Piloto (1).....	97
Tabela 19 – Remoção média de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na decantação, ensaios de inoculação na ETA Piloto.....	100
Tabela 20 – Remoção média de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na filtração, ensaios de inoculação na ETA Piloto.....	101
Tabela 21 – Remoção média de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na decantação + filtração, ensaios de inoculação na ETA Piloto.....	101
Tabela 22 - Remoção média de turbidez na decantação durante os ensaios de inoculação de oocistos na ETA Piloto (n = 15).....	103
Tabela 23 – Remoção média de turbidez na filtração durante os ensaios de inoculação de oocistos na ETA Piloto (n = 15).....	103
Tabela 24 – Remoção média de turbidez na decantação + filtração, durante os ensaios de inoculação de oocistos na ETA Piloto (n = 15).....	104
Tabela 25 - Correlação entre valores de turbidez da água filtrada e ocorrência de protozoários.....	107
Tabela 26 –Remoção média de partículas (2 - 7 μm) na filtração, ETA piloto (n =11).....	108
Tabela 27 –Remoção média de partículas (8 - 15 μm) na filtração, ETA piloto (n =11).....	108
Tabela 28 –Remoção média de partículas (20 – 50 μm) na filtração, ETA piloto (n =11).....	109
Tabela 29 – Resultados da pesquisa de cistos de <i>Giardia</i> spp. na ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008 (cistos L^{-1}).....	111

Tabela 30 – Resultados da pesquisa de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp. na ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008 (oocistos L ⁻¹).....	112
Tabela 31 – Turbidez da água nas amostras coletadas para a pesquisa de protozoários na ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008 (uT).....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estudos sobre associação entre remoção de turbidez e de protozoários.....	22
--	----

RESUMO

LOPES, Gustavo José Rodrigues. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2008. **Avaliação da turbidez e do tamanho de partículas como parâmetros indicadores da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. nas etapas de clarificação no tratamento da água em ciclo completo.** Orientador: Rafael Kopschitz Xavier Bastos. Co-Orientadoras: Paula Dias Bevilacqua e Ann Honor Munteer.

O monitoramento da ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* na estação de tratamento de água da Universidade Federal de Viçosa (ETA UFV), somada à realização de experimentos de inoculação deste microrganismo na água que alimentava uma ETA convencional (ciclo completo) em escala piloto, indicam que apesar de haver uma remoção efetiva, alguns oocistos conseguem passar pelo processo de tratamento. De acordo com os resultados obtidos em 15 ensaios de inoculação, chegou-se a conclusão que para o cômputo de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, a instalação piloto alcançou, aproximadamente, $0,5 \log_{10}$ na decantação e $1,5 \log_{10}$ no ciclo completo de clarificação. O primeiro resultado é consistente com o registrado na literatura e assumido na norma dos EUA, mas o segundo fica aquém do esperado, em que vários pesquisadores relatam um alcance de $3,0 \log_{10}$ remoção.

Neste trabalho reúnem-se indícios de que a remoção de turbidez seja mais adequada que a contagem de partículas como indicador da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* e que a remoção de turbidez esteja diretamente relacionada à remoção de partículas com tamanho variando entre 2 - 7 μm . Nos resultados encontrados não podemos obter sugestões conclusivas sobre a associação de limites numéricos de turbidez com a remoção de oocistos, porém há indícios de que a produção de água filtrada com baixa turbidez constitui medida preventiva.

Em comparações de valores obtidos em diferentes equipamentos de medição de turbidez, para períodos de estiagem e de chuvas, concluímos que estas medidas de baixos valores de turbidez devem guardar a melhor precisão possível e os resultados obtidos destacaram a grande variação obtida em medidas com diferentes equipamentos. Essas observações guardam grande relevância, na medida em que se confere importância a diferenças na primeira casa decimal a valores de turbidez da água filtrada, como indicadores da remoção de protozoários. Chama-se, portanto atenção para a necessidade de se dispor de equipamentos modernos, apropriados para leituras de

turbidez baixa e de se implementar, rotineiramente, procedimentos de boas práticas e de procedimentos operacionais padrão de laboratório.

ABSTRACT

LOPES, Gustavo José Rodrigues. M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, september de 2008. **Assessment of turbidity and the size of particles as indicators of the removal of *Cryptosporidium* spp. oocysts in steps to clarify the water treatment in full cycle.** Adviser: Rafael Kopschitz Xavier Bastos. Co-Advisers: Paula Dias Bevilacqua and Ann Honor Mounteer.

The monitoring of the occurrence of *Cryptosporidium* oocysts in the water treatment station at the Federal University of Viçosa (ETA UFV), plus the implementation of inoculation experiments of this microorganism in the water that would feed an ETA conventional (full cycle) in pilot-scale indicate that although there will be an effective removal, some oocysts can go through the treatment process. According to the results of tests on 15 inoculations, it was the conclusion that the reckoning for the removal of *Cryptosporidium* oocysts from the pilot installation reached, approximately, 0.5 log₁₀ in decanting and 1.5 log₁₀ in the complete cycle of clarification. The first result is consistent with that recorded in the literature and made standard in the U.S., but the second fell short of expectations, in which several researchers reported a range of 3.0 log₁₀ removal.

In this work indications are congregated that the removal of turbidity is more appropriate than the particle counting as an indicator of the removal of *Cryptosporidium* oocysts and the removal of turbidity is directly related to the particle removal with size ranging from 2 - 7 µm. In results we can't get conclusive suggestions on the association of numerical limits of turbidity with the removal of oocysts, however it has indications of that production of filtered water with low turbidity is a preventative measure.

In comparison of values gotten in different equipment for measuring turbidity, for periods of drought and rain, we conclude that these measures of low values of turbidity must keep the best possible precision and the gotten results had detached the great variation obtained with different equipments. These observations keep great relevance, because it gives importance to the first decimal place differences in the values of turbidity of water filtered, as indicators of removal of protozoa. It is called, therefore attention to the necessity to have modern equipment, suitable for readings of low turbidity and to implement, routinely, procedures, best practices and standard operating procedures in a laboratory.

1. INTRODUÇÃO

A veiculação hídrica de microrganismos patogênicos tem, há muito, constituído problema para os responsáveis pela produção de água para consumo humano e, ainda hoje, persistem vários relatos sobre transmissão, ou mesmo surtos de doenças, associados ao consumo de água, inclusive em países desenvolvidos (HUDREY e HUDREY, 2004).

Grande parte das doenças de veiculação hídrica é causada por microrganismos provenientes de atividades humanas ou agropecuárias, compondo lista ampla e diversa, incluindo, dentre outros: bactérias (ex.: *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Salmonellae* spp. *Shigella* spp., *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*), vírus (Enterovírus, rotavírus, vírus da Hepatite A), protozoários (*Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*) (BASTOS *et al.*, 2003; WHO, 2004).

Atenção crescente tem sido dada ao problema da transmissão de protozoários, particularmente *Giardia* e *Cryptosporidium*, os quais têm nos esgotos sanitários e atividades agropecuárias algumas das principais fontes de contaminação de mananciais de abastecimento. Exemplo notório e emblemático é o surto de criptosporidiose ocorrido em 1993 na cidade de Milwaukee (EUA), onde cerca de 400.000 pessoas foram acometidas (FOX e LYTLE, 1996).

Uma característica importante desses protozoários é a grande resistência de suas formas encistadas ao estresse ambiental e à ação dos desinfetantes, em especial ao cloro. Por outro lado, dadas suas dimensões, e outras características que os fazem comportar de forma semelhante a partículas coloidais (por exemplo, assumem carga elétrica negativa), são passíveis de remoção por técnicas usuais de tratamento de água, tais como coagulação-floculação-decantação-filtração, desde que submetidas a rigoroso controle operacional (LECHEVALIER *et al.*, 2004). Particular atenção merecem os oocistos de *Cryptosporidium*, pois apresentam menor dimensão e maior resistência que os cistos de *Giardia* (USEPA, 2001).

Portanto, do ponto de vista das múltiplas barreiras, a filtração, bem como os processos de tratamento que a antecedem, assume papel fundamental, pois, no caso dos oocistos de *Cryptosporidium*, pode constituir a última barreira de proteção à saúde em sistemas de abastecimento de água para consumo humano.

Entretanto, por limitações financeiras e analítico-laboratoriais, o monitoramento de rotina para a pesquisa de protozoários é praticamente inviável, principalmente na água tratada onde, por hipótese, esses organismos se fazem presentes em baixas concentrações. Assim, os responsáveis pelo tratamento e controle de qualidade da água necessitam de indicadores da

presença / ausência de (oo)cistos de protozoários em amostras de água tratada (em outras palavras, indicadores da eficiência do tratamento). Face às características desses organismos e aos mecanismos predominantes de sua remoção por meio do tratamento da água, alguns parâmetros se apresentam como ‘candidatos naturais’ ao papel de indicadores, como a contagem de partículas por distribuição de tamanho e, principalmente, a turbidez, devido ao baixo custo e simplicidade analítica de sua determinação. Por outro lado, se reconhecem controvérsias em torno da definição de limite numérico de turbidez, abaixo do qual estaria assegurada a efetiva remoção de (oo)cistos de protozoários (LE CHEVALLIER e NORTON,1995).

É importante registrar que em vários de surtos de criptosporidiose relatados nos EUA a água filtrada se caracterizava pela ocorrência de picos de turbidez (SOLO-GABRIELE e NEUMEISTER, 1996). Mais do que isso, a maioria dos casos de surtos de giardíase e criptosporidiose esteve associada à não-filtração da água, à operação inadequada de ETAs (ex.: coagulação não-otimizada, carreiras e taxas de filtração não-controladas, reciclagem de água de lavagem de filtros) ou pós-contaminação no sistema de distribuição (RICHARDSON *et al.*, 1991; CRAUN, 1979; SOLO-GABRIELE e NEUMEISTER, 1996; LELAND *et al.*, 1996; CRAUN *et al.*, 1998).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o emprego da turbidez e da contagem de partículas como indicadores da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por meio da decantação e da filtração, com objetivo de subsidiar a necessária e permanente atualização do padrão de potabilidade brasileiro.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o potencial de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por meio do tratamento da água em ciclo completo.
- Avaliar a confiabilidade do emprego da turbidez e da contagem de partículas como indicadores da remoção de oocistos de *Cryptosporidium*.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. *Cryptosporidium* spp. e sua importância no abastecimento de água para consumo humano .

A associação entre consumo de água e transmissão de *Giardia lamblia*¹ é reconhecida desde 1946 (CRAUN, 1979). Nos EUA, há quase três décadas esse organismo tem sido identificado como o principal agente etiológico na transmissão de doenças relacionadas com a água (MARSHALL et al., 1997). Por sua vez, *Cryptosporidium parvum*² é reconhecido como patógeno humano desde 1976 e, a partir da década de 1980, como importante patógeno de veiculação hídrica. Até o início da década de 1980, a criptosporidiose era mais estreitamente associada a indivíduos imunodeprimidos, mas hoje se reconhece sua importância epidemiológica entre indivíduos saudáveis (FAYER, 2004).

A doença e o abastecimento de água como via de transmissão ganharam ‘notoriedade’ após o surto de Milwaukee (EUA) em 1993, responsável por cerca de 400.000 casos de infecção, 4.400 de hospitalização e 50 óbitos; entretanto, mesmo antes de Milwaukee já se tinha registros de outros surtos, por exemplo, nos EUA, no estado do Texas (1984) e da Geórgia (1987) e em Ayrshire, Reino Unido (1988) (JURANEK et al., 1995; SOLO-GABRIELE e NEUMEISTER, 1996; CRAUN et al., 1998). Em recente revisão de literatura, Karanis et al. (2007), registram a documentação de 325 surtos de protozooses, com os seguintes números: (i) cerca de 60% ocorreram na América do Norte (aproximadamente, 53% do total nos EUA), 30% na Europa (dos quais, cerca de 74% no Reino Unido) e números bem mais baixos distribuídos entre países como Japão, Austrália e Nova Zelândia (ii) 40% e 50% dos surtos foram associados a *Giardia* e *Cryptosporidium*, aproximadamente e respectivamente; os demais a *Entamoeba histolytica*, *Cyclospora cayentanensis*, *Toxoplasma gondii*, *Isospora belli*, *Blastocystis hominis*, *Balantidium coli*, *Acanthamoeba*, *Naegleria fowleri*; (iii) cerca de 30% dos surtos foram associados ao consumo de água contaminada com *Giardia* e 24% com *Cryptosporidium*.

A ausência de registros em outros países se devem a dificuldade da realização do monitoramento destes protozoários.

¹ Consideram-se as denominações *Giardia lamblia*, *Giardia duodenalis* e *Giardia intestinalis* como sinônimas e as espécies encontradas em isolados de origem humana (EPA, 1998, Sogayar e Guimarães, 2000)

² A espécie infectante para seres humanos aparentemente restringe-se ao *C. parvum*, que encontra em alguns animais domésticos (bovinos, caprinos, ovinos), importantes reservatórios da doença. Porém, a taxonomia do gênero *Cryptosporidium* ainda é motivo de controvérsias e um dos pontos de destaque nas pesquisas sobre este protozoário; por isso, e de forma análoga à *Giardia*, deve-se preferencialmente se referir ao organismo detectado em amostras ambientais (água e esgotos), genericamente, como *Cryptosporidium* spp

No Brasil, existem relatos da circulação de oocistos no ambiente, incluindo esgotos sanitários e águas superficiais, muitas das quais, mananciais de abastecimento para consumo humano (DIAS JÚNIOR, 1999; VIEIRA et al., 1999; FARIAS, 2000; FRANCO et al., 2001; BASTOS et al., 2004; HACHICH et al., 2004; LADEIA et al., 2005; MACHADO, 2006; DIAS, 2007), entretanto ainda não há dados sistematizados sobre a doença no país, a não ser determinados estudos sobre a prevalência em populações específicas. No estado de São Paulo, com a implementação de medidas para a melhoria de notificação de surtos de doenças transmitidas por alimentos e água, e para a detecção de parasitas, surtos de *Cryptosporidium* têm sido notificados, ocorrendo principalmente em creches com crianças até 4 anos de idade, representando, contudo, em baixo percentual (1,3% no ano 2001) dentre todos os surtos notificados (DDTHA, 2002).

Giardia e *Cryptosporidium* são, portanto, reconhecidamente, agentes de grande importância epidemiológica, e outros protozoários surgem como agentes de doenças emergentes, associados ao abastecimento de água para consumo humano. Entretanto, o estado da arte do conhecimento sobre a epidemiologia da *Giardia* e do *Cryptosporidium*, em particular sobre aspectos de veiculação hídrica, é muito mais amplo do que da maioria de outros protozoários patogênicos (KARANIS et al., 2007). Em relação à *Giardia* e ao *Cryptosporidium*, o segundo vem, mais recentemente, recebendo maiores atenções na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, por conta de algumas de suas características, por exemplo o fato de que os oocistos de *Cryptosporidium* são mais resistentes, menores e menos densos que os cistos de *Giardia* e, portanto, apresentam sobrevivência mais prolongada no ambiente, maior resistência à ação de desinfetantes e remoção mais difícil por processos de separação, como a decantação e a filtração (MEDEMA et al., 1998; BASTOS et al., 2003; DAI e BOLL, 2006; KARANIS et al., 2007).

Assim sendo, a seqüência desta revisão de literatura, bem como o tema central desta dissertação, tem como foco o protozoário *Cryptosporidium*.

3.2. Remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por meio do tratamento de água.

3.2.1. Características dos oocistos de *Cryptosporidium* que influenciam sua remoção no tratamento da água.

O protozoário *Cryptosporidium* apresenta ciclo biológico complexo, incluindo estágios de reprodução assexuada e sexuada no organismo do hospedeiro até a formação do oocisto³. São formados dois tipos de oocistos: um de parede espessa, que é excretado para o meio externo junto com as fezes, e um de parede delgada, que se rompe no intestino delgado e pode ser responsável por casos de auto-infecção (NEVES, 2001). Do ponto de vista da Engenharia Sanitária e Ambiental, importa reconhecer que os oocistos são as formas excretadas, infectantes, que circulam no ambiente, e são ingeridas por novos hospedeiros. São formas resistentes às condições ambientais, as que vêm a ter às estações de tratamento de água e que aí necessitam de ser removidas.

Em suspensão na água, os oocistos comportam-se como partículas coloidais e, portanto, assume fundamental importância o controle dos processos que determinam a remoção dessas partículas por meio das etapas de coagulação - floculação - decantação - filtração (clarificação), tais como: (i) controle dos mecanismos de coagulação (adsorção e neutralização de cargas, varredura, adsorção e formação de pontes interpartículas), por meio, essencialmente, do tipo de coagulante / auxiliar de floculação, do controle da dose desses produtos, do tempo e gradiente de velocidade da mistura rápida e do pH; (ii) controle da floculação, por meio de gradientes de velocidade e de tempos de floculação adequados; (iii) sedimentação adequada, dependente das características dos flocos formados e das condições hidráulicas do decantador (principalmente da taxa de aplicação superficial); (iv) controle da filtração com a devida compatibilidade entre as características dos flocos (tamanho e, principalmente, carga elétrica), do leito filtrante (granulometria) e da operação dos filtros (taxa de filtração, duração das carreiras de filtração e retrolavagem dos filtros).

A seguir, destacam-se algumas informações de literatura acerca das características dos oocistos de *Cryptosporidium* que influenciam sua remoção no tratamento da água pelos chamados processos convencionais (ciclo completo).

³Formação encistada, composta de parede de múltiplas camadas, como forma de defesa do organismo às condições adversas no trato intestinal do hospedeiro; esses cistos contêm quatro esporozoítos formados por reprodução sexuada, daí a denominação oocistos

(i) Oocistos de *Cryptosporidium* são menores (4 - 6 μm), menos densos ($1.036,2 \text{ kg m}^{-3}$) que cistos de *Giardia* (7 - 15 μm ; $1.045,4 \text{ kg m}^{-3}$) (Medema et al., 1998) e, portanto, apresentam menores velocidades de sedimentação: aproximadamente 0,7 a 1,4 $\mu\text{m s}^{-1}$ para cistos de *Giardia* spp. e 0,3 a 0,4 $\mu\text{m s}^{-1}$ para oocistos de *Cryptosporidium* spp. em solução salina (Medema et al., 1998; Dai e Boll, 2006) e até 70 $\mu\text{m s}^{-1}$ para (oo)cistos aderidos em material particulado em amostras de esgotos (efluente de decantador secundário de lodos ativados) (Medema et al., 1998).

(ii) Em geral, (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* apresentam carga elétrica neutra, ou, mais freqüentemente, assumem carga negativa em amplas faixa de valores de pH (5,0-8,5) (DROZD e SCHWARTZBROD, 1996; ONGERTH e PECORARO, 1996; HAYES, 2002; DAI e BOLL, 2006). Dai e Boll (2006) reportam valores de potencial zeta entre -5,8 mV a -18,8 mV para oocistos de *Cryptosporidium* e -12 mV para cistos de *Giardia* (suspensão em água destilada, pH = 7,0). Ongerth e Percoraro (1996) encontraram potencial zeta zero para oocistos de *Cryptosporidium* em valor de pH 4,0 - 4,5 e de -35 mV em pH 7,0.

(iii) Forças eletrostáticas parecem governar a interação entre (oo)cistos e partículas inorgânicas do solo e, ao apresentarem carga elétrica de mesmo sinal, em escoamento superficial da água sobre o solo, os (oo)cistos parecem não aderir à partículas de solo, sendo transportados livremente em suspensão na lâmina d'água (Dai e Boll, 2006).

(iv) Por outro lado, Medema et al., 1998 sugerem que os (oo)cistos de *Cryptosporidium* e de *Giardia* aderem-se prontamente a partículas orgânicas (material particulado de efluente de decantador secundário de lodos ativados), com incremento considerável de velocidade de sedimentação; nessas condições os (oo)cistos assumem a velocidade de sedimentação das partículas em suspensão às quais se aderem.

(v) Gitis et al. (2002), registram que a filtração de oocistos de *Cryptosporidium* é mais difícil (menor aderência em leito filtrante de sílica) em águas com menor conteúdo de material coloidal. Em experimentos controlados, a adição de caulim (carga positiva) e de substâncias húmicas (carga negativa) resultou, respectivamente, em incremento e decréscimo na remoção de oocistos; em ambos os casos, a adição de coagulantes e polieletrólitos resultou em maior remoção. Esses autores citam outro trabalho, em que se reporta que sem adição de coagulantes não houve aderência de oocistos em leito de areia (ADIN et al., 1999).

(vi) Xagorarakis e Harrington (2004), reportam que: (i) o teor de carbono orgânico dissolvido (COD) na água afeta o potencial zeta de oocistos de *Cryptosporidium*; (ii) as condições de

otimização da coagulação para remoção de oocistos coincidiram com as de remoção de matéria orgânica; (iii) nas condições de seus experimentos, o teor de matéria orgânica parece cumprir importante papel na interação dos oocistos com o hidróxido de alumínio precipitado e que o mecanismo de coagulação por varredura parece ter sido predominante na remoção dos oocistos.

Vários estudos demonstram que encontra-se bem consolidado o entendimento de que processos convencionais de tratamento de água podem alcançar elevada remoção de (oo)cistos de *Cryptosporidium*, desde que submetidos a rigoroso controle operacional, principalmente da etapa da coagulação (BETANCOURT e ROSE, 2004)

3.2.2. Eficiência de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* no tratamento da água em ciclo completo.

O tratamento da água em ciclo completo (também chamado de tratamento convencional) inclui, como etapas sequenciais de clarificação, a coagulação, a floculação, a decantação e a filtração. Essa configuração atende ao importante conceito de múltiplas barreiras, na concepção de que as conseqüências da eventual falha de uma barreira de proteção possam ser absorvidas pelas barreiras subsequêntes (WHO, 2004). Nesse sentido, no exemplo de Bastos et al (2006), um sistema de tratamento com apenas uma etapa de remoção-inativação de patógenos e que apresenta eficiência de 4 log, em tese, é menos confiável do que um sistema de tratamento com duas etapas de remoção-inativação, cada uma com eficiência de 2 log; isso porque a probabilidade de que o segundo sistema apresente falha total é menor que no caso do primeiro sistema.

No caso dos oocistos de *Cryptosporidium*, a primeira barreira física de remoção é a decantação, cuja eficiência depende da boa coagulação - floculação. Em sistemas que empregam a cloração (imensa maioria das ETAs no Brasil), a filtração constitui a última barreira, uma vez que os oocistos são extremamente resistentes à ação do cloro. Por sua vez, a eficiência da filtração depende das características da suspensão afluente, ou seja, da quantidade de flocos não retidos na decantação e de sua carga elétrica, o que determina a intensidade de aderência ao leito filtrante (em geral de areia, com carga negativa). Ou seja, as múltiplas barreiras de proteção que compõem o tratamento em ciclo completo são etapas / processos independentes. A falha em uma ou outra unidade podem ser amenizadas nas etapas posteriores.

Vários trabalhos de compilação de informações registram que, observada a otimização da coagulação, a decantação pode alcançar 1 a 2 log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*. Estudos de Payment e Franco (1993), Kelly et al. (1995), Patania et al. (1995). States et al. (1997), Edzwald e Kelly (1998), Dugan et al. (2001), indicam que a decantação pode assegurar no mínimo 0,5 log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, sendo esse o ‘crédito’ conferido à essa etapa de tratamento pela USEPA (2006).

Bell et al (2000), em ensaios de *Jar test* com sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio (PAC), reportam eficiências de remoção de oocistos na ordem de 1 a 2 log, com resultados comparativamente um pouco superiores com cloreto férrico. Porém, efeito mais pronunciado que o tipo de coagulante tiveram as condições em si da coagulação: dose, pH, qualidade de água - temperatura, alcalinidade, turbidez, teor e natureza da matéria orgânica; em geral, resultados ligeiramente superiores foram obtidos com pH ajustado para remoção de carbono orgânico total (COT) (coagulação melhorada – *enhanced coagulation*⁴). States et al. (2002), estudando efeitos da coagulação melhorada (com aplicação de sulfato de alumínio, cloreto férrico e PAC) na remoção de oocistos em instalação piloto, não observaram impactos negativos da redução dos valores de pH.

A otimização da coagulação, como quesito fundamental também para o bom desempenho da filtração, constitui entendimento consolidado na área de tratamento de água e vários trabalhos têm destacado a importância disso na remoção de (oo)cistos de protozoários (LOGSDON et al., 1985; AL-ANI et al., 1986; LOGSDON, 1990; BELLAMY et al., 1993; FAGUNDES, 2006; FERNANDES, 2007).

A importância de mecanismos físico-químicos de aderência de oocistos de *Cryptosporidium* em leitos filtrantes é demonstrado no trabalho de Shaw et al. (2000): quando a camada de areia de filtros rápidos (taxas entre 204 e 814 m d⁻¹) foi recoberta com óxido de alumínio e ferro (adquirindo carga positiva), foi observado aumento da remoção de 72 para 95%.

Assavasilavasukul et al (2008), conduzindo experimentos com inoculação de (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* em concentrações de 10¹ a 10⁶ oocistos L⁻¹, destacam que remoção (tratamento em ciclo completo) mais elevada foi alcançada para inóculos e valores de turbidez também mais elevados.

⁴ Coagulação melhorada (*enhanced coagulation*), refere-se ao controle da coagulação (pH entre 5,0 a 6,5 e doses mais elevadas de coagulantes), visando à remoção de matéria orgânica natural (TECHNEAU, 2006)

Outro fator importante é o período de amadurecimento dos filtros (até atingirem desempenho estável no início da carreira de filtração, pós-retrolavagem), durante o qual a probabilidade de trespasse de (oo)cistos é maior (HUCK et al., 2002b; EMELKO et al., 2003; FAGUNDES, 2006; FERNANDES, 2007).

Segundo Le Chevallier e Au (2004), sob condições otimizadas, a combinação de coagulação, floculação, sedimentação e filtração pode alcançar até 4 log ou mais de remoção de (oo)cistos de protozoários.

Com base em vários estudos (MCTIGUE et al., 1998; PATANIA et al., 1999; NIEMINSKI e BELLAMI, 2000; EMELKO et al., 2000; HUCK et al., 2000; DUGAN et al., 2001; HARRINGTON et al., 2001), a USEPA, admite que o tratamento em ciclo completo é capaz de proporcionar 3 log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* (USEPA, 2006).

Considerando os trabalhos citados de remoção de oocistos na decantação e por tratamento em ciclo completo, complementados pela revisão de estudos com filtração direta (PATANIA et al. 1995; MCTIGUE et al., 1998), a USEPA admite para essa técnica de tratamento 2,5 log de remoção. Em experimentos em escala piloto no Brasil, incluindo a inoculação de 10^2 - 10^3 oocistos L^{-1} , Fagundes (2006) e Fernandes (2007) obtiveram remoção entre 1,4 – 3,2 log.

Para a filtração lenta, a USEPA admite 3 log de remoção (USEPA, 2006). No Brasil, Heller et al. (2006) registram cerca de 3-4 log de remoção em experimentos com inoculação de 10^2 - 10^3 oocistos L^{-1} em filtros lentos ascendentes e descendentes.

Em relação ao conjunto das informações acima apresentadas, cabem duas ressalvas: (i) em grande parte, as informações provêm de estudos em escala piloto, dadas as dificuldades analíticas de monitoramento de pequenas concentrações de oocistos em efluentes de ETAs em escala real (BETANCOURT e ROSE, 2004; LE CHEVALLIER e AU, 2004) e, nesse sentido, Dugan et al. (2001) alertam para o fato de que experimentos em escala piloto tendem a apresentar resultados mais expressivos do que a escala real; (ii) muitas das referências citadas já não são tão recentes e as técnicas analíticas de detecção e quantificação de oocistos de *Cryptosporidium*, em que pesem limitações pendentes, conheceram já grandes avanços.

3.3. Turbidez e distribuição de tamanho de partículas como indicadores da remoção de oocistos de *Cryptosporidium*.

3.3.1 Histórico e significado da turbidez como parâmetro indicador da qualidade da água para consumo humano

O texto a seguir sobre o histórico da turbidez foi extraído, basicamente, de USEPA (1999).

A turbidez é uma expressão da propriedade óptica que causa espalhamento e absorção da luz, por partículas e moléculas em amostras de água, em lugar de sua transmissão em linhas diretas. Simplificadamente, a turbidez representa a transparência da água. É causada por partículas em estado coloidal, em suspensão, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, plâncton e outros organismos microscópicos

O primeiro estudo prático para tentar quantificar a turbidez data de 1900, quando Whipple e Jackson prepararam suspensão padrão com 1000 ppm de diatomáceas em água destilada e utilizaram diluições dessa para calibrar turbidímetros de vela em gradações equivalentes de ppm de sílica em suspensão (*Jackson Candle Turbidimeter*): uma vela envolta por tubo de vidro. Uma amostra de água era vertida no tubo até que a imagem da chama de vela, olhando-se do topo do tubo, fosse difundida em brilho uniforme; quando a intensidade da luz espalhada se iguala à intensidade da luz transmitida, a imagem desaparece e a profundidade da amostra no tubo é comparada com escala de ppm de sílica; a turbidez era assim medida em unidades Jackson de turbidez (UJT). Tentativas de preparação de padrões incluíam materiais encontrados na natureza, como argila, caolin, sedimentos, etc., evidenciando dificuldades de consistência na formulação de padrões. Outra limitação era o limite de detecção, 25 UJT.

Em 1926, Kingsbury e Clark descobriram a formazina (solução preparada com 5 g de sulfato de hidrazina e 50 g de hexametenetetramina em 1 L de água destilada), o que representou grande avanço na formulação de padrões. A solução desenvolve cor branca depois de descansar a 25°C por 48 h. Uma nova unidade para medida de turbidez foi então adotada: unidades de turvação de formazina (UTF). Embora a utilização da formazina proporcionasse ganho de precisão no turbidímetro de vela de Jackson, ainda restavam limitações para medidas de turbidez mais baixas e mais elevadas.

Nesse sentido, foram desenvolvidos métodos secundários indiretos para medir a turbidez, incluindo vários turbidímetros de extinção visual com fontes luminosas e técnicas de comparação melhoradas, mas todos ainda eram dependentes de julgamento humano. Surgem então os detectores fotoelétricos, sensíveis a mudanças muito pequenas em intensidade da luz,

propiciando maior precisão, mas ainda limitados para medição de valores extremos de turbidez.

Em 1970, foi desenvolvido o turbidímetro nefelométrico, ou nefelômetro, com determinação da turbidez pelo espalhamento da luz em ângulo de 90° a partir de fecho incidente (ângulo de 90° é considerado menos sensível a variações de tamanho das partículas). A nefelometria foi então adotada no *Standard Methods* como princípio de preferência para medidas de turbidez, pela sensibilidade do método, precisão e aplicabilidade em amplas faixas de concentração e tamanhos de partículas. O método nefelométrico que usa suspensões de polímeros de formazina é calibrado de tal maneira que 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) equivalem a, aproximadamente, a 40 UJT.

Com o desenvolvimento da nefelometria e a constatação de que a turbidez podia ser determinada de modo simples, e os resultados interpretados com facilidade, a turbidez passou a ser o principal parâmetro utilizado na avaliação da presença de partículas em suspensão em amostras de águas (PÁDUA e DI BERNARDO, 2003).

O princípio de funcionamento dos turbidímetros baseia-se na emissão de um feixe luminoso e na detecção da luz refletida pelas partículas em suspensão, a qual é convertida em sinal elétrico e registrada no painel do equipamento. O detector que mede a dispersão da luz fica situado a um ângulo fixo em relação à incidência do feixe luminoso. Segundo Brito, 1998 (citado por PÁDUA e DI BERNARDO, 2003), quando o ângulo é de 90°, o instrumento é chamado de turbidímetro (ou nefelômetro). Portanto, a turbidez está relacionada com o índice de refração da luz dispersa pelas partículas presentes na água, índice esse que depende de fatores tais como natureza e tamanho da partícula e do ângulo de observação. Segundo Cohen e Robeck, 1967 (citados por PÁDUA e DI BERNARDO, 2003), partículas muito pequenas dispersam mais luz que partículas maiores quando a dispersão é registrada por detectores posicionados a ângulos inferiores a 90°, ocorrendo o inverso quando se tem ângulo reto. Assim, a comparação da turbidez da água em função do ângulo de posicionamento do detector pode fornecer informações qualitativas do tamanho das partículas. Contudo, a maioria dos instrumentos comerciais mede a turbidez a 90°.

A fonte de luz mais comum nos turbidímetros modernos é obtida por meio de lâmpadas de tungstênio, embora outras, como lâmpadas de mercúrio, laser e diodos de emissão, também sejam empregadas. O método padronizado da EPA especifica lâmpadas de tungstênio (temperatura de cor de 2.200 – 3.000 K) e os resultados são expressos em unidades

nefelométricas de turbidez (UNT)⁵ (USEPA, 1993). O método ISSO é composto por diodos de emissão de luz (comprimento de onda de 860 nm e banda espectral menor ou igual a 60 nm³) e os resultados expressos em unidades nefelométricas de formazina (UNF) (ISO, 1990).

A medida de turbidez não expressa a presença de partículas específicas (tamanho ou forma), mas é resultado da refração de luz pelo conjunto das partículas presentes na amostra. Portanto, rigorosamente, a leitura de turbidez é medida qualitativa, que, entretanto, por padronização analítica, pode assumir interpretação quantitativa: entre 0 e 40 UNT, dispersão de luz e turbidez obedecem à relação linear; não-linearidades em valores abaixo de 0,01 UNT são atribuíveis a interferências do equipamento ou da amostra (SADAR, 1999).

A leitura de baixos valores de turbidez é mais susceptível a interferências variadas, tais como: ruído eletrônico do equipamento, reflexos internos, limpeza do equipamento (poeira), bolhas de ar, ranhuras, marcas de dedo ou gotas d'água na cubeta, dispersão da luz por moléculas dissolvidas na água (por isso, água ultra-pura, isenta de partículas em suspensão ainda produziria 0,01 - 0,02 UNT). Estas são interferências que superestimam as medidas de turbidez. Por outro lado, presença de material com alta capacidade de absorção de luz (dentro o qual, as fontes de cor) acarretam em subestimativas de turbidez: estudos têm demonstrado que valores de cor em torno de 100 Pt-Co não interferem em amostras com turbidez $\leq 1,0$ UNT, porém valores bem mais baixos de cor podem causar interferência quando a turbidez é inferior à 1,0 UNT. Tais interferências podem ser, entretanto, minimizadas, por dispositivos internos de equipamentos mais modernos (apropriados para leituras de baixos valores de turbidez) e, ou, cuidados no processamento das amostras, utilização de amostras-controle ('branco') e procedimentos cuidadosos de calibração (SADAR, 1999).

A facilidade e a simplicidade da determinação da turbidez e o custo relativamente baixo dos turbidímetros, contribuíram de modo decisivo para sua popularização como parâmetro de controle operacional de ETAs e de qualidade da água (PÁDUA e DI BERNARDO, 2003).

Por muito tempo, a turbidez foi utilizada com parâmetro indicador da qualidade estética da água e, ainda hoje, como tal, faz parte de padrões de potabilidade, a exemplo do padrão

⁵ Ao longo dessa revisão de literatura, de forma fiel à maioria dos trabalhos referenciados, optou-se por utilizar unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (em inglês NTU, *nephelometric turbidity unity*). Na Portaria 518 /2004, a turbidez é expressa em UT (unidades de turbidez) e, assim, quando em referência à Portaria 518, essa expressão é mantida. Em editais anteriores do ProSab, padronizou-se essa expressão como uT, notação que será adotada no capítulo de resultados e discussão desta dissertação.

brasileiro de aceitação para consumo humano (5 UT) (BRASIL, 2004). Entretanto, já há algum tempo, a turbidez assumiu também caráter de indicador da qualidade sanitária da água para consumo humano, seja como indicador da eficiência da remoção de partículas por meio da filtração e, por conseguinte, de organismos também removíveis pelo mesmo mecanismo, como (oo)cistos de protozoários (USEPA, 1999), seja como indicador da qualidade da água com vistas à adequada desinfecção, independentemente se precedida ou não de filtração, pois partículas em suspensão podem proteger microrganismos da ação dos desinfetantes (USEPA, 1999; WHO, 2004).

3.3.2 Contagem de partículas por distribuição de tamanho

Grande parte do material encontrado em água e esgoto são partículas ou serão transformados em partículas antes de sua remoção final. Vários processos de tratamento, incluindo operações de separação de fases sólida - líquida são influenciados pela distribuição de tamanho das partículas e, assim, esse conhecimento pode contribuir para a escolha e o aperfeiçoamento de técnicas de tratamento e para a adoção de procedimentos operacionais apropriados (LAWLER, 1997; LEVINE et al., citados por SANTOS, 2004)

Alguns exemplos de contaminantes são mostrados na Figura 1, bem como as principais tecnologias de tratamento (remoção) e técnicas utilizadas na determinação do tamanho das partículas, em suas respectivas faixas de tamanho.

Partículas em suspensão encontradas em afluentes e efluentes de sistemas de tratamento de água e de esgoto são estruturas tridimensionais, em sua maioria irregulares, polidispersas (de vários tamanhos) e com diferentes propriedades físico-químicas. No entanto, todos os métodos disponíveis para determinação de seus tamanhos fornecem como resposta (em princípio) um único número, com o qual se pretende representar o tamanho da partícula.

Santos (2004) relata que a esfera é a única forma geométrica passível de ser representada por um único número em todas as direções do espaço tridimensional. Todavia, uma mesma partícula pode ser caracterizada por diferentes esferas com base em uma de suas diferentes propriedades, tais como: maior ou menor dimensão, perímetro da área projetada, área projetada, área superficial, volume, velocidade de sedimentação, dentre outras. O princípio da esfera equivalente consiste em relacionar alguma dessas propriedades ao diâmetro de uma esfera. Como exemplo ele nos mostra uma esfera de diâmetro igual a 39 mm que tem o

mesmo volume de uma partícula cilíndrica de diâmetro e comprimento iguais a 20 mm e 100 mm, respectivamente (Figura 2).

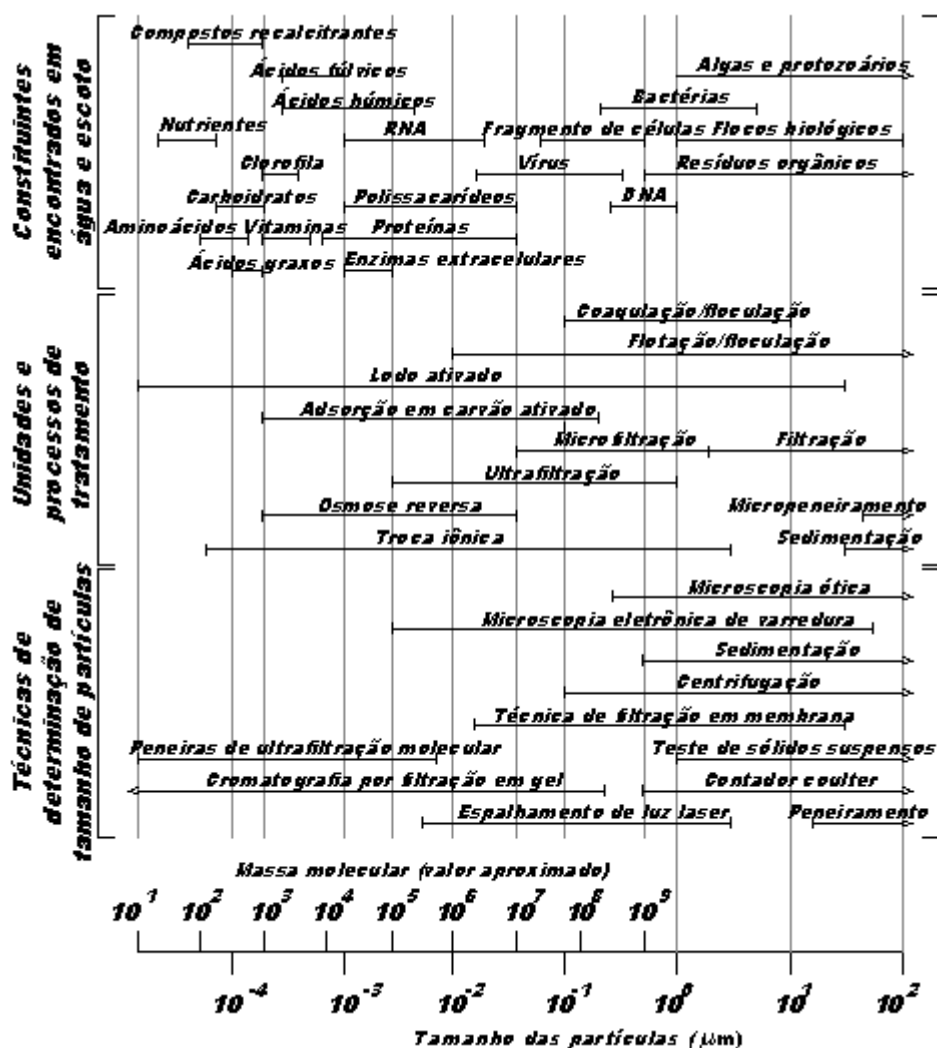


Figura 1 – Constituintes encontrados em água e esgoto, técnicas de remoção e de determinação de tamanho de partículas, por faixa de tamanho.

Fonte: Santos (2004), adaptado de Levine et al. (1985).

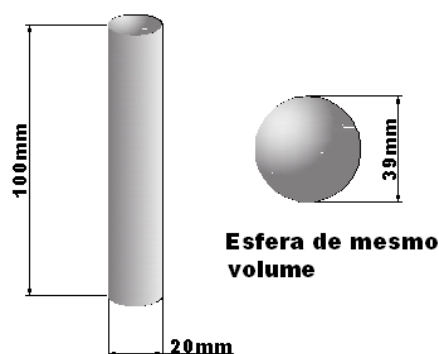


Figura 2 – Exemplo da utilização do princípio da esfera equivalente: esfera de mesmo volume.

Fonte: Santos (2004), adaptado de Rawle (s.d)

Ao se relacionar diferentes propriedades de uma mesma partícula a um diâmetro de esfera equivalente, podem ser obtidos diferentes diâmetros equivalentes (Figura 3).

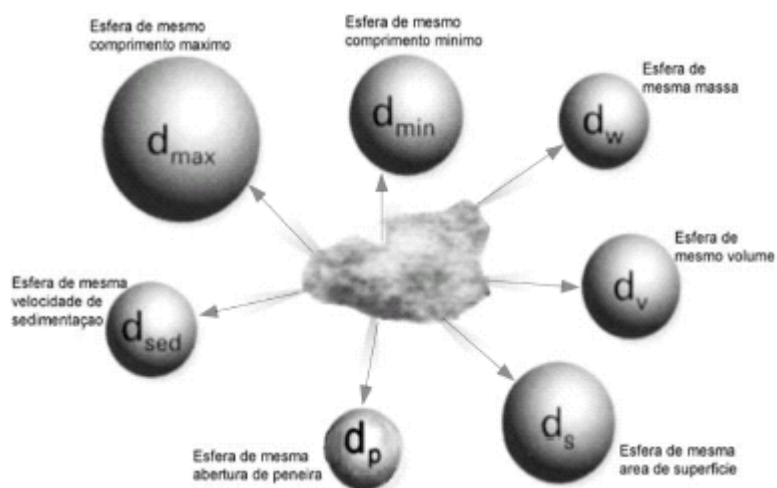


Figura 3 – Diferentes diâmetros equivalentes para uma mesma partícula.

Fonte: Santos (2004), adaptado de Rawle (s.d)

Dependendo da propriedade analisada, partículas de formas distintas podem ser representadas por um mesmo valor de diâmetro (mesma esfera equivalente) ou por diâmetros diferentes (diferentes esferas equivalentes). Por exemplo, um cubo com lado de 1 unidade, uma esfera com diâmetro de 1 unidade e um cilindro com diâmetro de 1 unidade e altura igual a 3 unidades, possuem diâmetros de peneiramento idênticos ($d_p = 1$ unidade); entretanto, ao se aproximar cada uma dessas partículas a uma esfera de igual volume, obtêm-se diâmetros distintos: $d_v = 1$ unidade, para a esfera; $d_v = 1,24$ unidades, para o cubo; e $d_v = 1,65$ unidades, para o cilindro (ALLEN, citado por SANTOS, 2004).

Os afluentes e efluentes de sistemas de tratamento de água e esgoto carregam partículas dos mais variados tipos, formas e tamanhos, como partículas flocculentas, minerais, microrganismos etc. Em virtude dessa heterogeneidade de formas, alguns cuidados devem ser considerados para a escolha do método mais adequado a cada aplicação.

Cada técnica de determinação da distribuição de tamanho de partículas relaciona uma das propriedades destas a um valor de diâmetro (esfera equivalente). Assim, resultados diferentes são encontrados e não podem ser comparados entre si.

A escolha do método de determinação mais adequado depende de uma série de fatores, tais como: a natureza da amostra (se dissolvida ou em suspensão, solubilidade das partículas, tamanho das partículas, etc.), a natureza do processo (ou seja, qual é a utilidade do valor de diâmetro obtido), a resolução de cada técnica (precisão do método de avaliação) e a tradição da utilização da técnica. A escolha de qual propriedade deve ser analisada está ligada à utilidade desta informação. Por exemplo, para a análise de desaguamento de lodo, segundo Lawler et al. (1986) e Feitz et al. (2001), o uso do diâmetro de esfera equivalente de mesma área superficial pode ser o mais adequado. Todavia, em reações bioquímicas, o volume das partículas pode ser o fator de maior influência. Desse modo, a escolha da técnica de determinação de tamanho de partícula deve, sempre que possível, estar atrelada ao fenômeno que governa o processo ou a operação de tratamento investigada.

Pádua e Di Bernardo (2003), citando Van Gelder et al. (1999) e Brito (1998), informam que as três principais técnicas utilizadas nos contadores de partículas presentes em água são a dispersão de luz, bloqueio de luz e zona de sensibilidade elétrica. A maioria dos contadores utilizados no monitoramento de água opera segundo o princípio de bloqueio de luz, de acordo com o qual, a amostra percorre um canal e passa por uma fenda cujas dimensões são conhecidas com precisão: “Um raio de luz incide sobre o fluido em ângulo reto, transversal à direção do escoamento, e passa através da fenda, onde é recebido por um detector fotoelétrico. Sempre que uma partícula atravessar em sentido transversal ao raio luminoso, uma porção de luz é bloqueada, produzindo uma redução específica na quantidade de luz que alcança o fotodetector. A amplitude resultante do pulso de voltagem é proporcional ao tamanho da partícula, o qual é registrado como o diâmetro de um círculo de área equivalente.” (BRITO, 1998).

Ao comparar contadores de partículas que utilizam como princípio a obstrução de luz e a zona de sensibilidade elétrica, foi observado que o primeiro consistentemente detectou menos partículas menores (2 - 5 μm). Também foi observado que vários contadores de partículas por obstrução de luz forneceram resultados inferiores aos valores obtidos por meio de métodos alternativos de contagem, tais como por zona de sensibilidade elétrica e microscopia. Essas discrepâncias foram atribuídas à tecnologia dos equipamentos de medição. Por outro lado, tais discrepâncias são devidas à falta de suspensão-padrão que possa ser usada para medir e comparar o desempenho dos contadores. Em outras palavras, não se pode atribuir diferenças à tecnologia de construção dos equipamentos, embora seja de comum acordo ser inconsistente comparar resultados de contadores com diferentes princípios de funcionamento. Chega-se à

conclusão que a grande variação nos resultados obtida por meio de diferentes contadores não diminui a importância desses equipamentos, que podem auxiliar em decisões operacionais para melhorar o desempenho das unidades de tratamento, mas que, por outro lado, não se deve comparar resultados de diferentes contadores de partículas. Em vista disso, vários autores afirmam que, atualmente, ainda não é recomendado o estabelecimento de padrões de qualidade de água baseados na contagem de partículas (VAN GELDER et al., 1998; LETTERMAN, 2001; SOMMER, 2000; citados por PÁDUA e DI BERNARDO, 2003).

3.3.3. Relação entre turbidez e contagem de partículas

Como anteriormente descrito, turbidez e contagem de partículas são medidas de natureza distinta. Resumidamente, turbidímetros “enxergam” partículas em ampla faixa de tamanho ($> 0,01 \mu\text{m}$), mas as leituras de turbidez são, preponderantemente, influenciadas por partículas $< 1 \mu\text{m}$. Nos contadores de partículas, estas são agrupadas e contadas por faixas de tamanho, em geral, a partir de $1-2 \mu\text{m}$; entretanto, esses equipamentos são mais adequados a amostras com proporções mais elevadas de partículas relativamente grandes ($> 10 \mu\text{m}$) (HAMLTON et al; EGAN).

Alguns autores argumentam que, não obstante as diferenças das medidas, contagem de partículas e turbidez expressam a mesma tendência em determinado processo e, por isso, o emprego dos dois procedimentos seria redundante. Entretanto, em geral, destacam-se como diferenças ou aplicações específicas (HAMLTON et al):

(i) Contadores de partículas apresentam maior sensibilidade a alterações de qualidade da água em amostras de baixa turbidez e, portanto, seriam de grande utilidade em controle operacional de ajuste fino, por exemplo, no controle de qualidade de água filtrada. Entretanto, tal sensibilidade é dependente da distribuição de tamanho de partículas na amostra, e nem sempre será verificada em amostras com turbidez inferior a $0,1 \text{ UNT}$, pois, como acima mencionado, contadores de partículas apresentam melhor desempenho em amostras com proporções mais elevadas de partículas relativamente grandes ($> 10 \mu\text{m}$);

(ii) Pequenas variações em valores de turbidez podem representar incrementos bem maiores em número de partículas;

(iii) Contadores de partículas podem também apresentar maior sensibilidade na detecção de alterações na qualidade da água devidas a partículas de maior tamanho, o que encontraria aplicação, por exemplo, na detecção preventiva de trespasse em filtros.

Vários trabalhos procuram relacionar contagem de partículas e turbidez. Pádua e Di Bernardo (2003), encontraram elevada correlação entre turbidez e volume ($\text{cm}^3 \text{L}^{-1}$) de partículas presentes (calculado com base no diâmetro médio de cada faixa de tamanho e no número de partículas correspondentes à faixa considerada) em amostras de água bruta, decantada e filtrada. Entretanto, como destacado pelos próprios autores, esses resultados foram obtidos computando o total de partículas em ampla faixa de tamanho (2 a 350 μm), não permitindo assim, avaliação mais detalhada por faixa de tamanho das partículas.

Lage Filho (2003), citando (WEST et al., 1994), registra também correlação elevada em amostras com baixa turbidez ($1 \pm 0,7$ UNT) e tamanho de partículas de 4 - 10 μm e 5 - 15 μm .

O'Leary et al. (2003), estudaram o desempenho de quatro ETAs em escala real. Em geral, foram alcançados, cerca de uma hora após a retrolavagem, valores de turbidez de 0,1 UNT e 2 log de remoção de partículas (efluente filtrado em relação à água bruta), relacionada, preponderantemente, a partículas em faixas de tamanho de 2-5 μm e 5-10 μm .

Brito (1998) menciona pesquisa em que turbidez e número de partículas foram medidos em vários pontos situados ao longo das unidades de tratamento de uma ETA, tendo-se constatado similaridades dos resultados produzidos pelas duas técnicas, não havendo, entretanto, boa correlação entre os valores encontrados.

3.3.4. Relação entre remoção de turbidez e de partículas e remoção e oocistos de *Cryptosporidium*

Tendo em conta o exposto nos itens anteriores (sobre o tamanho dos oocistos, seu comportamento como partículas coloidais, os mecanismos predominantes de remoção de oocistos no tratamento convencional da água, a praticidade de determinação da turbidez e, em menor grau, da contagem de partículas, as dificuldades de monitoramento rotineiro de oocistos em amostras de água tratada), vários esforços vêm sendo feitos no sentido de relacionar a remoção de oocistos e a remoção de turbidez e de partículas. Entretanto, a literatura ainda é controversa, acerca do que, alguns relatos de estudos são a seguir apresentados.

McTigue et al. (1998) sugerem que processos de tratamento convencional bem controlados e que produzem efluente filtrado com 0,1 - 0,2 UNT, apresentam capacidade de remoção de até 4 log de partículas de tamanhos correspondentes aos de oocistos de *Cryptosporidium*.

Nieminski (1997), em experimentos com inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* em instalações piloto e em escala real de filtração direta e ciclo completo, avaliou a remoção de (oo)cistos, turbidez e de partículas. Dentre as principais conclusões, destacam-se: (i) elevada associação ($R^2 = 0,82$, $p < 0,1$) entre remoção de cistos de *Giardia* e de partículas de tamanho entre 7-11 μm ; (ii) elevada associação ($R^2 = 0,79$, $p < 0,1$) entre remoção de oocistos de *Cryptosporidium* e de partículas de tamanho entre 4-7 μm ; (iii) associação mais baixa entre remoção de turbidez e de (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* ($R^2 = 0,55$ e $R^2 = 0,65$, respectivamente); (iv) as discrepâncias entre remoção de (oo)cistos e de turbidez foram maiores para remoção mais elevada de (oo)cistos (≈ 4 log); (v) conclui-se que tanto a turbidez quanto a contagem de partículas por tamanho apresentam-se como bons indicadores da remoção de (oo)cistos, com destaque para a contagem de partículas. As Figuras 4 e 5 ilustram estes resultados.

Esses autores reportam ainda eficiências de remoção similares para o tratamento convencional e filtração direta, em escala piloto ou real: 3,4-3,9 log para cistos de *Giardia* e 2,25-2,98 log para oocistos de *Cryptosporidium*. Destacam os autores, que remoção efetiva de (oo)cistos ocorreu quando a turbidez da água filtrada era tão baixa quanto 0,1-0,2 UNT.

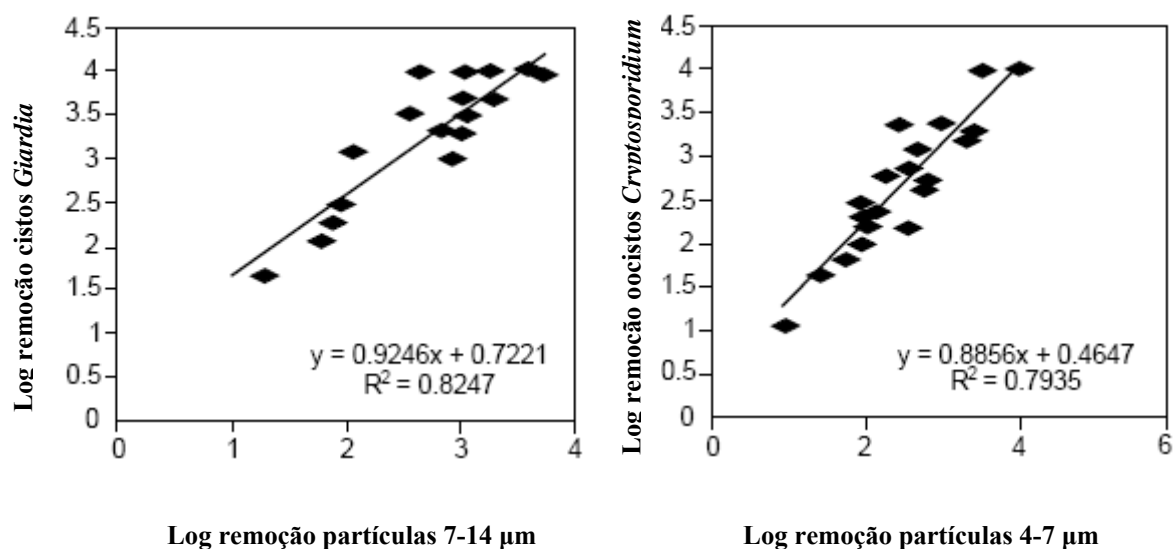


Figura 4 – Associação entre remoção de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium* e de partículas

Fonte: Nieminsky (1997).

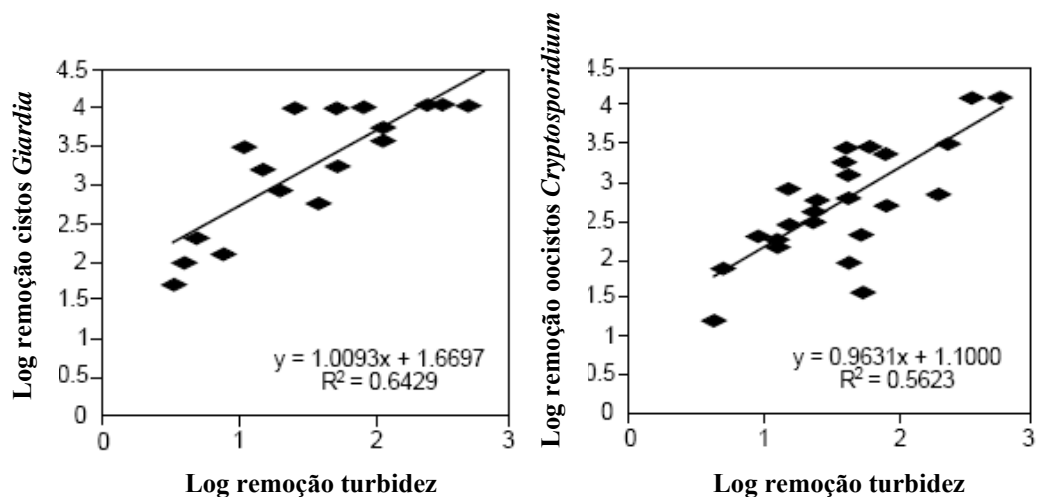


Figura 5 – Associação entre remoção de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium* e de turbidez

Fonte: Nieminsky (1997).

Resultados similares foram obtidos por LeChevalier e Norton, citados em USEPA (1999) em três ETAs de ciclo completo (Figura 6).

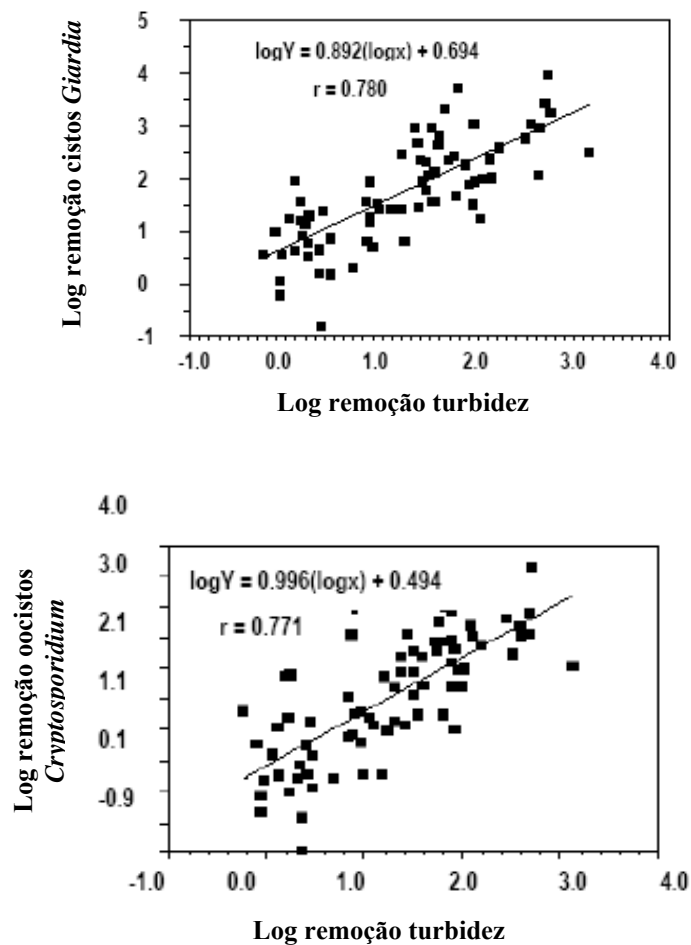


Figura 6 – Associação entre remoção de turbidez e de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*

Fonte: USEPA (1999).

Huck et al (2002) realizaram estudos em várias instalações em escala piloto em condições otimizadas e não-otimizadas de tratamento. Na primeira situação as instalações lograram produzir, de forma estável, efluentes com baixos valores de turbidez e partículas, mas as concentrações de oocistos apresentaram variações de até 2 log. Sob condições não-otimizadas, a remoção de oocistos e dos dois indicadores decaiu, mas de forma variada. Os autores concluem que a contagem de partículas seria indicador mais apropriado.

Por sua vez, no já citado trabalho de States et al (2002) sobre coagulação melhorada e remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, os autores não consideraram a turbidez e a contagem de partículas como indicadores confiáveis de remoção de oocistos.

Em relação a turbidez, USEPA (1999) sintetiza resultados de vários trabalhos (reproduzidos na Quadro 1), destacando que: “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”.

Quadro 1 – Estudos sobre associação entre remoção de turbidez e de protozoários

Estudo/Referência	Discussão/Conclusão
Patania et al. (1995)	Quatro sistemas de filtração rápida. Condições de tratamento otimizadas para remoção de turbidez e de partículas. Remoção média de turbidez, de partículas e de (oo)cistos de 1,4 log ₁₀ , 2 log ₁₀ e 4,2 log ₁₀ , respectivamente. Remoção mais efetiva de (oo)cistos turbidez do efluente filtrado ≤ 0,1 UNT, até 1,0 log ₁₀ superior à quando > 0,1 UNT (na faixa de 0,1 a 0,3 UNT).
Nieminski e Ongerth, (1995)	<u>Estudo em escala piloto</u> : turbidez média da água bruta = 4 UNT (max = 23 UNT); turbidez da água filtrada 0,1-0,2 UNT. Remoção média de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> - 3,0 log ₁₀ para tratamento convencional e filtração direta. Remoção média de cistos de <i>Giardia</i> - 3,4 log ₁₀ para tratamento convencional e 3,3 log ₁₀ para filtração direta. <u>Estudo em escala real</u> : turbidez média da água bruta = 2,5-11 UNT (max = 28 UNT); turbidez da água filtrada 0,1-0,2 UNT. Remoção média de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> - 2,25 log ₁₀ para tratamento convencional e 2,8 log ₁₀ para filtração direta. Remoção média de cistos de <i>Giardia</i> - 3,3 log ₁₀ para tratamento convencional e 3,9 log ₁₀ para filtração direta
Ongerth e Pecoraro, (1995)	Turbidez da água bruta = 0,35 - 0,58 UNT. Coagulação otimizada 3 log ₁₀ de remoção de (oo)cistos. Coagulação não otimizada: 1,5 log ₁₀ de remoção de oocistos <i>Cryptosporidium</i> e 1,3 log ₁₀ de cistos <i>Giardia</i> .)
LeChavallier e Norton (e Craun, 1993)	Dados de três ETAs escala real diferentes mananciais. Remoção de 1 log ₁₀ de turbidez ≅ 0,89 log ₁₀ de remoção de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i> .
Nieminski (1992)	Tratamento convencional. Alta correlação (R ² =0.91) entre remoção de turbidez e remoção de (oo)cistos de <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> .
Ongerth (1990)	Condicionamento químico pré-filtração resultou em remoção de turbidez ≥ 1 log ₁₀ e remoção de cistos de <i>Giardia</i> ≥ 2log ₁₀
LeChavallier et al. (1991)	Estudo em 66 ETAs escala real, tratamento convencional. Remoção de 2 - 2,5 log ₁₀ de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i> . Correlação significativa (p = 0,01) entre remoção de turbidez e de <i>Cryptosporidium</i> .
LeChavallier e Norton, (1992)	Turbidez da água bruta = 1 - 120 UNT. Remoção média de (oo)cistos de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i> de 2,5 log ₁₀ , dependendo das condições operacionais e do número de organismos na água bruta. Turbidez revelou-se indicador adequado de remoção de (oo)cistos de <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> .
Anderson et al. (1996)	Estudo em escala piloto. Remoção de partículas > 2µm correlacionada significativamente com remoção de turbidez (R = 0,97; p < 0,0001). Remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> correlacionada à remoção de <i>Giardia</i> (R = 0,79; p = 0,14). Remoção de turbidez correlacionada à remoção de cistos de <i>Giardia</i> (R = 0,67; p = 0,13) e de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> (p < 0,08)

Fonte: USEPA (1999)

3.4. Emprego da turbidez como parâmetro indicador da qualidade parasitológica da água em normas e critérios de qualidade da água para consumo humano.

Como mencionado no item 3.3.2, em vista de incertezas, custo e ‘redundâncias’ em relação à medida da turbidez, a contagem de partículas não tem sido incorporada em padrões de potabilidade da água. Por sua vez, em que pesem também controvérsias, a turbidez, sim.

Nas diretrizes da Organização Mundial da Saúde a turbidez não é assumida como parâmetro microbiológico, explícito e numérico, de qualidade da água pós-filtração e, ou, pré-

desinfecção, muito embora ao longo do texto se enfatize que, idealmente, a turbidez pré-desinfecção deva ser tão reduzida quanto 0,1 UNT (WHO, 2004).

Nos EUA e no Canadá, para os contaminantes selecionados para regulamentação, com base no estado da arte do conhecimento sobre efeitos à saúde, inicialmente é estabelecido padrão-meta de potabilidade (*Maximum Contaminat Level Goal* - MCLG) ou valor máximo desejável (VMD), não-mandatário e definido como: valor limite de determinado contaminante na água, correspondente ao qual, e com certa margem de segurança, nenhum efeito adverso à saúde, conhecido ou previsível, seria observado. No estabelecimento do VMD são levados em consideração apenas aspectos de saúde, desconsiderando-se outros, tais como, limites de detecção analíticos ou tecnologias de tratamento. Em relação aos aspectos de saúde, são ainda considerados riscos a grupos vulneráveis, a exemplo de crianças, idosos e indivíduos imunocomprometidos. O VMD é também estabelecido de acordo com a natureza dos contaminantes (BASTOS et al., 2004).

Nos EUA (bem como no Canadá), não são estabelecidos VMPs como valores numéricos para microrganismos patogênicos, mas VMDs de ‘zero’, no entendimento de que a ingestão de apenas um organismo (protozoário, vírus ou bactéria) pode ser suficiente para provocar infecção. O padrão para (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* é estabelecido combinando os seguintes critérios: (i) Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM); (ii) **padrão de turbidez**; (iii) ‘tratamento requerido’ (HEALTH CANADA, 2006; USEPA, 2006).

Avaliação Quantitativa de Risco (AQR) é, já há algum tempo, o paradigma central de estudos sobre agravos à saúde decorrentes da exposição a substâncias químicas (Avaliação Quantitativa de Risco Químico - AQRQ) (USEPA, 2005). Mais recentemente, tem sido adaptada à exposição a organismos patogênicos (Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico - AQRM) e servido de base à formulação de normas / diretrizes de qualidade da água para consumo humano. Os princípios da AQRM encontram-se descritos na literatura internacional (HAAS et al.; 1999; WHO, 2004) e nacional (BASTOS e BEVILACQUA, 2006).

Informações de estudos de dose-resposta estão disponíveis para vários agentes patogênicos (*Escherichia coli*; *Salmonella anatum*, *Vibrio cholerae*, *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum* e rotavírus), e podem ser utilizadas para estimar os efeitos da exposição a esses microrganismos (HASS et al., 1999; HAAS e EISENBERG, 2001). Resultados de estudos

experimentais indicam o emprego de dois modelos matemáticos para determinar a probabilidade (risco) de infecção, decorrente da exposição a diferentes doses de organismos: modelo exponencial para cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp.; modelo β -Poisson para os demais organismos patogênicos (HASS et al., 1999).

Assim, conhecida a concentração de determinado organismo na água, e assumido um padrão de consumo de água ($L d^{-1}$), pode-se estimar o risco anual de infecção. Inversamente, estabelecido o risco tolerável, pode-se estimar a concentração admissível de organismos patogênicos na água tratada e, por conseguinte, o grau de tratamento requerido (usualmente expresso em termos de unidades logarítmicas de remoção).

Na abordagem da EPA, o risco diário de infecção por *Cryptosporidium* é apresentado da seguinte forma (Equação 1) (USEPA, 2006).

$$R_d = C_{AB} \times F_{AT} \times q \times p_d \quad (1)$$

Onde:

R_d = risco diário de infecção

C_{AB} = oocistos / L na água bruta

F_{AT} = fração remanescente na água tratada

q = consumo per capita de água ($1,1 L d^{-1}$)

p_d = probabilidade de infecção por dose de oocisto

Assumindo consumo de água por 365 dias por anos, o risco anual (R_a) pode ser estimado pela Equação 2.

$$R_a = 1 - (1 - R_d)^{365} \quad (2)$$

Nos EUA, admite-se risco anual de infecção de 1:10.000 (10^{-4}) para os diversos organismos patogênicos transmissíveis via abastecimento de água para consumo humano (MACLER, 1993, citado por HAAS et al., 1999; MACLER e REGLI, 1993). Significa dizer que se considera tolerável um caso anual de infecção em cada 10.000 pessoas dentre a população consumidora. Considerando o risco anual de 10^{-4} e aplicando o modelo exponencial, chega-se ao valor de risco diário de infecção para *Giardia* e *Cryptosporidium* de $2,76 \times 10^{-7}$. Considerando o consumo de 2 litros de água por dia, pode-se estimar o número de organismos ingeridos por litro de água em $6,9 \times 10^{-6}$ para *Giardia* e $3,27 \times 10^{-5}$ para *Cryptosporidium* (BASTOS et al., 2001).

Como o monitoramento dessas concentrações de microrganismos na água tratada é praticamente impossível, a abordagem adotada é estimativa de tratamento requerido, em função de concentração de patógenos na água bruta, de forma a resguardar a meta de risco tolerável (Figura 7).

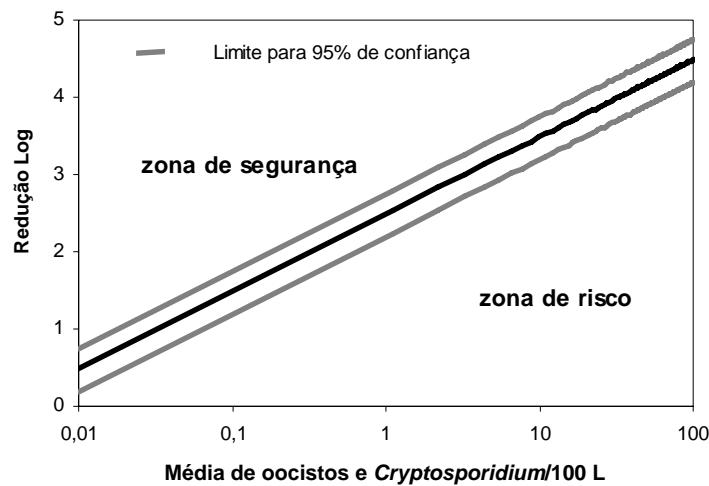


Figura 7 - Remoção necessária de oocistos de *Cryptosporidium* para risco tolerável de 10^{-4} , de acordo com a concentração na água bruta

Fonte: adaptado de Haas et al. (1996).

Em relação às metas de desempenho de processos de tratamento com vistas à remoção de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*, as normas dos EUA apresentaram a seguinte evolução:

- Remoção / inativação conjunta, por meio da filtração-desinfecção, de 99,9% (3 log) de cistos de *Giardia*: turbidez da água filtrada $\leq 0,5$ UNT para a filtração rápida e $\leq 1,0$ UNT para a filtração lenta (95% dos dados mensais; máximo de 5 UNT) (2,5 log de remoção), complementada por desinfecção para inativação equivalente a 0,5 log, controlada pelo tempo de contato, residual de cloro livre e temperatura (USEPA, 1989; USEPA, 2001).
- Remoção, por meio da filtração, de 99% (2 log) de oocistos de *Cryptosporidium*: turbidez da água filtrada $\leq 0,3$ UNT para a filtração rápida e $\leq 0,5$ UNT para a filtração lenta (95% dos dados mensais; máximo de 1 UNT) (USEPA, 1998a).

Tais recomendações objetivavam; assim, a remoção de 3 log de cistos de *Giardia* e 2 log de oocistos de *Cryptosporidium*, tendo em vista informações de ocorrência de (oo)cistos em mananciais de abastecimento e a meta de risco tolerável anual de 10^{-4} .

Em recente atualização, a EPA (USEPA, 2006) estabelece metas de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* (log remoção) em função do monitoramento da água bruta, mantendo a meta de risco anual de 10^{-4} . Estabelece ainda os seguintes ‘créditos’ às técnicas de tratamento empregadas,.

- Ciclo completo (filtração rápida) e filtração lenta: 3 log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, **desde que obedecido o padrão de turbidez $\leq 0,3$ UNT** (95% dos dados mensais e máximo de 0,5 UNT).
- Filtração direta: 2,5 log de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, **desde que obedecido o padrão de turbidez $\leq 0,3$ UNT** (95% dos dados mensais e máximo de 0,5 UNT).
- Ciclo completo ou filtração direta: 0,5 log adicionais de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, **desde que atendido padrão de turbidez $\leq 0,15$ UNT** (95% dos dados mensais).

Essa é também, essencialmente, a abordagem adotada no Canadá, com a recomendação adicional de que “estações de tratamento devem ser projetadas e operadas para redução da turbidez a valores os mais baixos possíveis, tendo como meta 0,1 UNT” (HEALTH CANADA, 2003; HEALTH CANADA, 2006).

No Reino Unido, o padrão de turbidez (de 1989, ainda vigente) (DWI, 1989) é comparativamente mais permissivo (≤ 4 UNT). Adicionalmente são estabelecidos procedimentos de monitoramento intensivos da água tratada, de forma a verificar, como meta, o atendimento de cocentração máxima de 1 oocisto por 10 L (DWI, 1999), o que corresponderia a risco anual de infecção de 10^{-1} (uma caso de infecção em cada 10 habitantes!) (MARA, 2000).

Ainda sobre a norma dos EUA, dada a concentração de (oo)cistos na água bruta, se os referidos ‘créditos’ não forem suficientes para assegurar a meta de risco tolerável, torna-se necessário tratamento complementar, para o que são também estimados ‘créditos’ correspondentes, por exemplo, 0,5-3,0 log para desinfecção com ozônio ou dióxido de cloro, dependendo das combinações de residual desinfetante (C) e tempo de contato (T) (CT $\text{mg min}^{-1} \text{L}^{-1}$), ou radiação UV (0,5-4,0 log, dependendo da dose – mJ cm^{-2}) (USEPA, 2006).

Devem ainda ser computadas estimativas de inativação de vírus e de cistos de *Giardia*, de acordo com os seguintes procedimentos (USEPA, 1991; USEPA, 2006):

(1) Com base no residual de cloro livre (ou de outro desinfetante) na saída do tanque de contato (C) e na determinação do tempo de contato(T), calcular CT (mg.min L⁻¹). O tempo de contato deve, preferencialmente, referir-se ao tempo de detenção hidráulica real do tanque de contato, o que pode ser determinado a partir de ensaios com traçadores.

(2) Com base na medida de pH e temperatura da água no tanque de contato, determinar CT_{99,9} para cistos de *Giardia* e CT_{99,99} para vírus (valores tabelados) (USEPA, 1991).

(3) Estimar a inativação de cistos de *Giardia* e vírus com o emprego das Equações 3 e 4.

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

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

Se houver mais de uma unidade de contato, por exemplo reservatórios de distribuição na saída da ETA, computar cumulativamente as unidades logarítmicas de inativação. Computar ainda o tempo de contato na rede de distribuição até a primeira ligação de água.

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

Inversamente, conhecida a concentração desses patógenos na água bruta e dada a remoção requerida para risco tolerável de 10⁻⁴, a metodologia passaria a ser aplicada com as Equações 5 e 6

$$CT_{\text{requerido}} \textit{Giardia} = (\log \text{ inativação requerido} / 3 \log) \times CT_{99,9} \quad (5)$$

$$CT_{\text{requerido}} \text{ vírus} = (\log \text{ inativação requerido} / 4 \log) \times CT_{99,99} \quad (6)$$

No Brasil, a Portaria 518 / 2004 (BRASIL, 2004) incorpora as preocupações internacionais relacionadas à transmissão de protozoários via abastecimento de água, expressas na utilização da turbidez como indicador sanitário, na exigência de filtração de fontes superficiais de abastecimento e na recomendação de que se estabeleça como meta a obtenção de efluente filtrado com valores de turbidez inferiores a 0,5 UT em 95 % dos dados mensais. Parâmetros da desinfecção são explicitados (CRL ≥ 0,5 mg L⁻¹, tempo de contato ≥ 30 min, pH < 8), implicitamente visando à inativação de vírus (BASTOS et al., 2005). Recomenda-se ainda o monitoramento de vírus e protozoários na água tratada.

Porém, o padrão de turbidez (como padrão de potabilidade) para filtração rápida é de 1 UT, distante, assim, das exigências cada vez mais rigorosas de normas de outros países como EUA e Canadá. Além disso, a legislação brasileira carece de melhor fundamentação em AQRM, de acordo com todo o exposto anteriormente: monitoramento da água bruta e o estabelecimento de metas de remoção com base na avaliação da eficiência do tratamento, tendo como referência o conceito de risco tolerável.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Experimentos para avaliar a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por meio do tratamento da água em ciclo completo (clarificação) foram realizados em ETA piloto instalada nas dependências da Divisão de Água e Esgotos da Universidade Federal de Viçosa (DAG UFV). Complementarmente, procedeu-se à pesquisa de *Cryptosporidium* na ETA em escala real do sistema de abastecimento de água da UFV.

O trabalho envolveu ainda a avaliação da turbidez e da contagem de partículas como indicadores da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* e a avaliação comparativa de medidas de turbidez em diferentes equipamentos.

Os métodos utilizados serão descritos nos itens que se seguem. Na Figura 8 está disposto o fluxograma de atividades necessárias à realização dos experimentos.

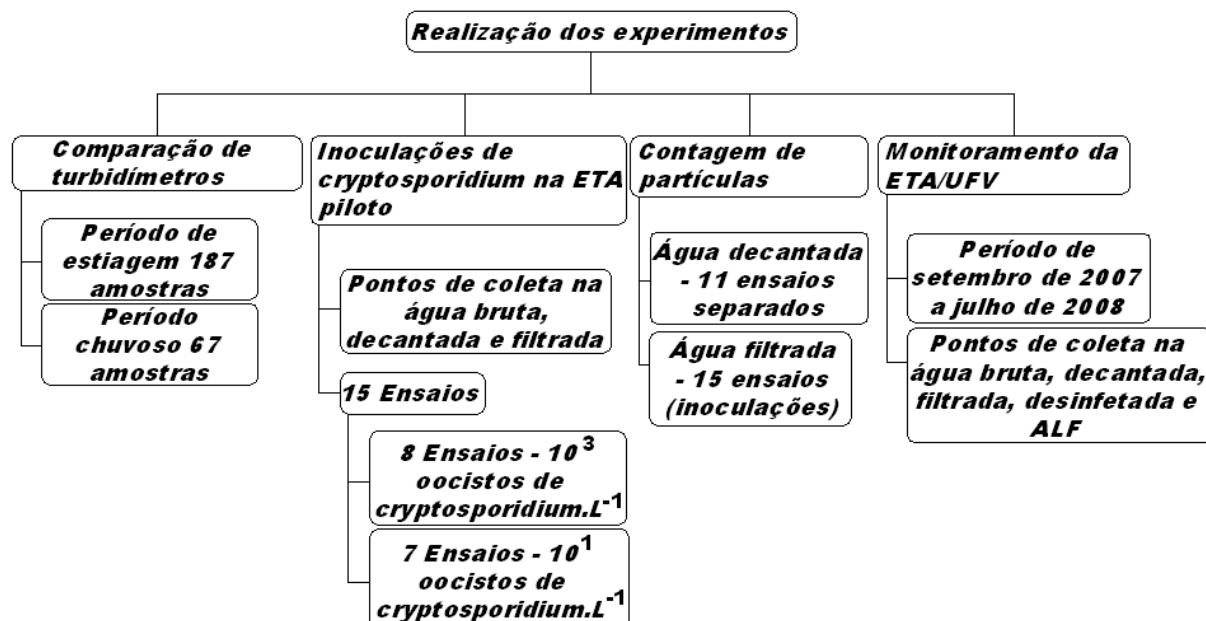


Figura 8 – Fluxograma de realização dos experimentos.

4.1. Descrição da instalação piloto.

A ETA piloto (EP) concebida para tratamento em ciclo completo (mistura rápida, floculação, decantação e filtração), foi confeccionada em chapas de aço, reproduzindo, com a melhor aproximação possível, as instalações em escala real e os parâmetros de operação da ETA UFV (gradientes de velocidade, tempos de detenção hidráulica, velocidade de sedimentação e taxa de filtração).

A EP era alimentada com água oriunda do mesmo manancial da ETA UFV, através de uma tubulação conectada a uma bomba centrífuga, instalada na tubulação de adução da ETA UFV (Figura 9).



Figura 9 – Detalhe da tubulação de chegada de água bruta da ETA UFV e da tomada de água para alimentação da ETA piloto.

A ETA piloto era composta por dispositivo de mistura rápida – diafragma instalado na tubulação de entrada, floculador hidráulico, decantador convencional de fluxo ascendente, filtro rápido descendente com camada simples de areia, reservatório para inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* e caixa d'água de 5 m³ para tratamento do efluente dos experimentos. (Figuras 10). A ETA piloto foi dimensionada para uma vazão de 0,36 m³.h⁻¹ (0,10 L.s⁻¹). Nos experimentos de inoculação de oocistos foi aplicada vazão total de 0,378 m³.h⁻¹, correspondente a vazão inicial da ETA piloto acrescida da vazão do inóculo (0,005L.s⁻¹).



Figura 10 – Vista parcial da ETA piloto, decantador, filtro e tanque de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium*.

4.1.1 Mistura rápida

A água bruta era bombeada, através de tubulação de PVC de $\frac{3}{4}$ " (20 mm) de diâmetro, para a entrada da ETA piloto, onde era misturada com o inóculo já diluído, por sua vez bombeado do reservatório e conduzido por meio de mangueira de 1" (25 mm) de diâmetro. A solução de sulfato de alumínio (coagulante) era aplicada por meio de mangueira, utilizada em aplicações de soro e medicamentos por via endovenosa, com controlador de gotejamento, imediatamente antes da mistura rápida, proporcionada pela redução da tubulação de $\frac{3}{4}$ " (20 mm) para $\frac{1}{2}$ " (15 mm), seguida por nova ampliação da tubulação para $\frac{3}{4}$ " (20 mm) (Figura 11).

Os gradientes de velocidade da mistura rápida para as vazões utilizadas na ETA piloto estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Vazões da ETA piloto e gradientes de velocidade de mistura rápida

Vazão (L s ⁻¹)	Gradiente de velocidade (s ⁻¹)
0,100	1.060
0,105	1.140

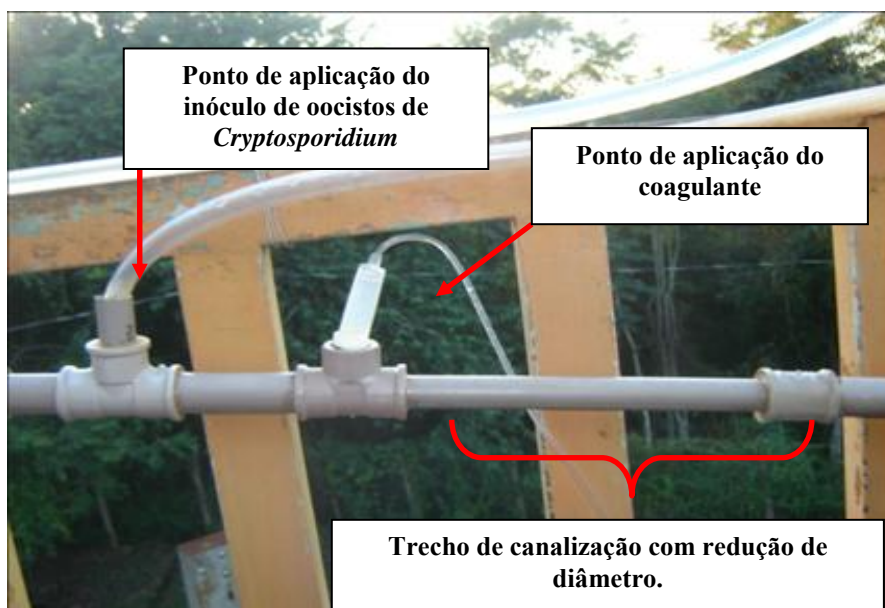


Figura 11 – ETA piloto, detalhes dos pontos de mistura água bruta + inóculo de oocistos de *Cryptosporidium*, de aplicação e mistura do coagulante.

4.1.2 Floculador

O floculador da ETA piloto foi construído nos moldes da ETA UFV (seis câmaras de floculação com passagens retangulares alternadas nos cantos superiores direito e inferiores esquerdo - Figura 12) e dimensionado com base em ensaios de tratabilidade, os quais indicaram os seguintes parâmetros: tempo de floculação = 20 min.; gradientes de velocidade de floculação = 47 a 12 s⁻¹. Na Tabela 2 encontram-se os gradientes de velocidade calculados em cada câmara de floculação para as vazões testadas.



Figura 12 - ETA piloto, vista lateral do floculador.

Tabela 2 – Gradientes de velocidade (s^{-1}) nas câmaras de floculação para as vazões utilizadas na ETA piloto.

Câmara	Vazão ($L.s^{-1}$)	
	0,100	0,105
	Gradientes de velocidade (s^{-1})	
1	44	47
2	29	31
3	22	24
4	22	24
5	12	13
6	12	13

4.1.3 Decantador

O decantador da EP apresentava área superficial de $0,44 \text{ m}^2$ e profundidade de $3,30 \text{ m}$ (Figura 13). Operando com vazão de $0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$, a EP apresenta a mesma taxa de aplicação superficial da ETA UFV ($20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$). Para a vazão alimentada durante o período de inoculação - $0,105 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ - a taxa de aplicação correspondia a $20,6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

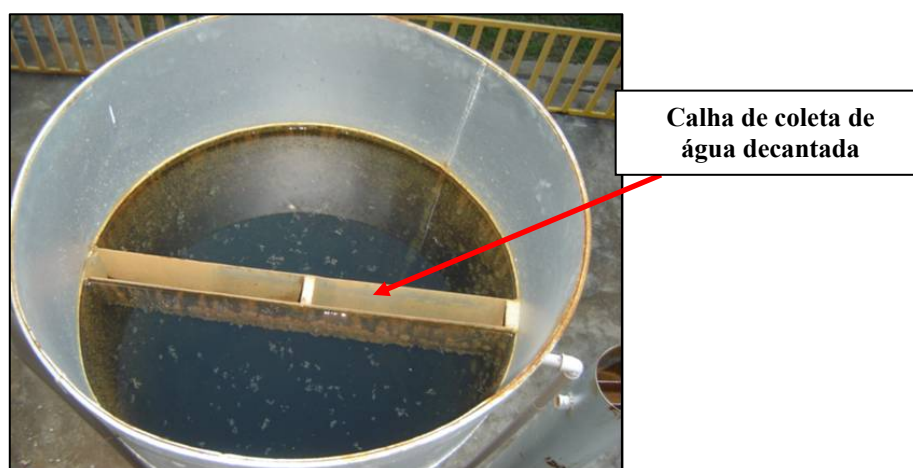


Figura 13 -ETA piloto, vista superior do decantador.

4.1.4 Filtro

O filtro da ETA piloto apresentava área superficial de $0,04 \text{ m}^2$, sendo operado com taxa de filtração constante e carga hidráulica variável. As taxas de aplicação foram: $220,3 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ para a vazão de $0,100 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ (mesma da ETA UFV) e $226,8 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ para a vazão de $0,105 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$. As características do leito filtrante estão descritas na Tabela 3.

A lavagem do filtro era realizada com velocidade ascensional de $0,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, utilizando água tratada (clorada) proveniente do reservatório elevado da ETA UFV. O tempo de lavagem é o

mesmo da ETA UFV, aproximadamente 8 min, o que proporcionava volume de água de lavagem de filtros (ALF) de cerca de 260 L.

Tabela 3 - ETA piloto, características do leito filtrante

Granulometria	Espessura (m)
Areia quartzosa, TEM. 0,4 a 0,42mm – $C_u \leq 1,3$	0,25
Seixo rolado de 1 a 2mm	0,06
Seixo rolado de 2 a 3mm	0,06
Seixo rolado de 3 a 6mm	0,08
Seixo rolado de 6 a 12mm	0,08
Seixo rolado de 12 a 19mm	0,08

TE: tamanho efetivo nominal; C_u : coeficiente de uniformidade.

4.1.5 Tanque de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium*

O tanque para inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* apresentava altura útil de 1,2 m, área superficial de 0,3 m² e hélice acoplada a um motor, de forma a manter o inóculo em suspensão e o máximo possível em suspensão durante os ensaios (Figura 14).



Figura 14 - ETA piloto, detalhe do tanque de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium*.

4.2. Descrição da ETA UFV

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) conta com sistema próprio de abastecimento de água, suprido por manancial superficial (Ribeirão São Bartolomeu), com dois represamentos consecutivos à montante do ponto de captação. A ETA UFV trata cerca de 50 L.s⁻¹, com

período de operação médio diário de oito horas, sendo empregado o tratamento em ciclo completo: coagulação com sulfato de alumínio granulado, mistura rápida hidráulica em calha Parshall, floculação hidráulica do tipo chicanas, decantador circular com alimentação central e fluxo radial (taxa de aplicação superficial de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$); dois filtros rápidos (taxa de filtração $220,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), desinfecção com cloro-gás (Figuras 15 e 16).

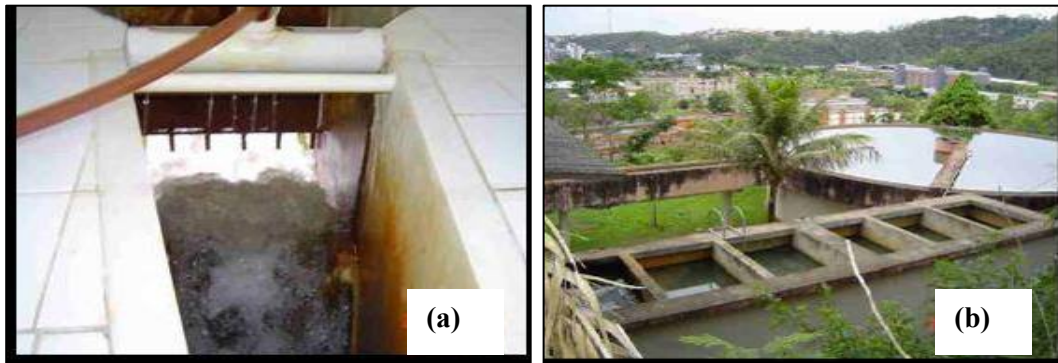


Figura 15 - ETA UFV, detalhe da Calha Parshall (a) e vista do decantador e do floculador (b).



Figura 16 - ETA UFV, vista dos filtros .

A carreira de filtração média dos filtros é de, aproximadamente, 36 h, sendo a retrolavagem efetuada a partir de um reservatório elevado com capacidade de 100 m^3 , com duração de cerca de 8 minutos.

4.3. Inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

4.3.1. Descrição dos ensaios, coleta de amostras e análises laboratoriais

Antes de serem iniciados os ensaios de inoculação, foi realizado diagrama de coagulação para a definição dos parâmetros de coagulação (pH x dose coagulante), além de ensaio com

traçador (NaCl) para a determinação dos tempos de detenção hidráulica das unidades da ETA piloto.

Foram realizados quinze ensaios de inoculação com concentrações conhecidas de (oo)cistos de *Cryptosporidium*, preparadas a partir de amostras adquiridas da Universidade Federal do Triângulo Mineiro – frascos de 10 mL contendo, de acordo com o fornecedor, 10^7 oocistos. Entretanto, em testes de controle de qualidade em lotes utilizados nos oito primeiros ensaios, verificou-se que possuíam concentração da ordem 10^6 oocistos em 10 mL e, nos lotes utilizados nos sete ensaios seguintes, 10^4 oocistos.

Assim, considerando estas como as concentrações originais no material adquirido e que o tanque de inoculação apresentava capacidade de 40 L de água bruta, isso totalizaria 25 oocistos.mL⁻¹ para os inóculos mais concentrados e 0,25 oocistos.mL⁻¹ para os menos concentrados. Essa suspensão era bombeada com vazão de 5 mL.s⁻¹ até o ponto de chegada da água bruta (Figura 10), de forma que o afluente a ETA piloto conduzia, supostamente, 125 oocistos.s⁻¹ e 12,5 oocistos.s⁻¹ respectivamente. Considerando que a vazão da ETA piloto era de 105 mL.s⁻¹ (100 mL de água bruta + 5mL de inóculo), as concentrações teoricamente introduzidas seriam de $1,2 \times 10^3$ oocistos.L⁻¹ (oito primeiros ensaios) e $1,2 \times 10^1$ oocistos.L⁻¹ (sete últimos ensaios).

Os 40 L de inóculo eram bombeados em aproximadamente 133 min. Para efeito de amostragem, esse tempo foi dividido em três etapas ('início', 'meio' e 'fim'). Ao longo de cada um desses períodos (cerca de 45 min), a vazão de uma torneira instalada para coleta de amostras da água bruta (bruta + inóculo), decantada e filtrada, era regulada de forma a se coletar os volumes necessários para a pesquisa de protozoários (10 L para água bruta e 2 L para águas decantada e filtrada). Eram assim geradas três amostras compostas para cada ponto de coleta (bruta, decantada e filtrada) durante cada carreira de filtração (início, meio e fim), analisadas separadamente.

O tempo de detenção hidráulica, da mistura rápida até a calha de coleta do decantador, foi determinado em 4 h (ensaio com traçador). Dessa forma, fixou-se que a coleta da água bruta fosse iniciada juntamente com a inoculação, a da água decantada após 4 h e a da água filtrada após 4 h: 10 min (o procedimento completo de amostragem durava 133 min).

A partir do terceiro ensaio iniciou-se a coleta de amostras da água de lavagem do filtro.

As amostras eram coletadas em galões (10 L para água bruta e 2 L para águas decantada e filtrada) e processadas em laboratório com o emprego das técnicas de floculação em

carbonato de cálcio (água bruta) (VESEY et al., 1993) e filtração em membranas (águas decantada e filtrada) (FRANCO et al., 2001). A leitura das amostras foi realizada em microscópio de imunofluorescência direta, utilizando kit MERIFLUOR®.

Do início ao fim de cada ensaio, a cada 15 min, eram ainda realizadas análises de turbidez, de amostras da água bruta, decantada e filtrada, utilizando turbidímetro marca Hach, modelo 2100 AN (Figura 17a).

Adicionalmente, a cada 5 min, eram computados os valores de contagem de partículas (contador de partículas de processo, marca Hach, modelo 2200 PCX) (Figura 17b) para a água filtrada dentro as seguintes faixas de tamanho de partículas: 2 a 15 (variando a cada unidade), 20, 25, 30, 35, 40, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 e 700 μ m. As faixas inferiores de tamanho das partículas foram fixadas para facilitar comparações com o tamanho de oocistos de *Cryptosporidium* (4 – 6 μ m) e cistos de *Giardia* (8 – 15 μ m).

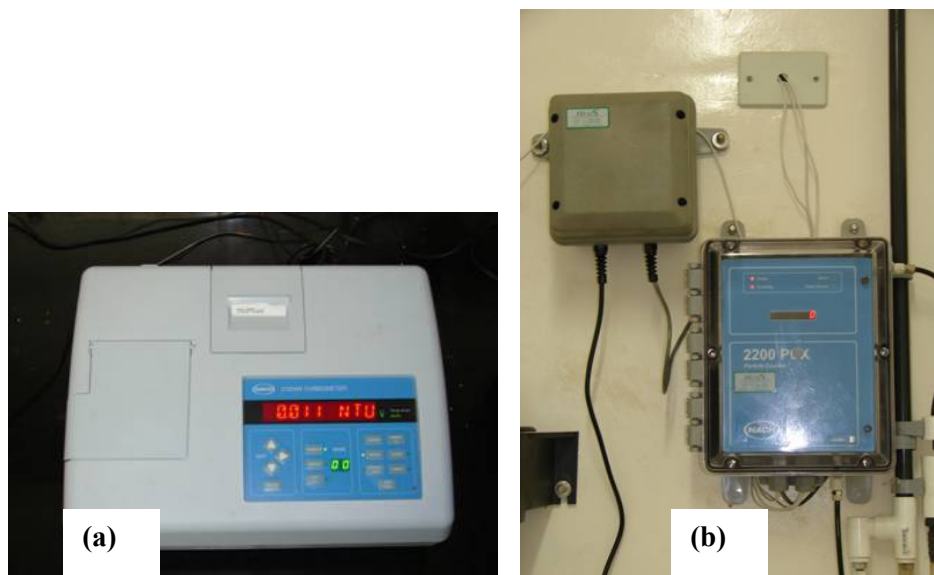


Figura 17 - Turbidímetro modelo HACH 2100 AN (a) e contador de partículas de processo, modelo HACH 2200PCX (b).

As leituras de turbidez da água filtrada eram a cada 5 minutos, por medidas em turbidímetro de processo, a marca HACH modelo 1720E (Figura 18).



Figura 18 - Turbidímetro de processo modelo HACH 1720 E.

4.3.1. Análise dos resultados

Foram realizados testes de sensibilidade de recuperação das técnicas de pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* empregadas (Anexo 1). Entretanto, para efeito de uniformização de interpretação dos resultados, a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* nas etapas de tratamento foi computada a partir dos resultados efetivamente quantificados, ou seja, eventuais efeitos associados à recuperação das técnicas estariam embutidos como erros sistemáticos.

Os resultados foram inicialmente sistematizados em termos de estatística descritiva.

Para a aplicação de testes estatísticos, o banco de dados foi submetido à verificação de distribuição normal (teste de D'Agostino). Quando satisfeita essa condição foram aplicados testes de Análise de variância (ANOVA) e testes de comparação de médias para amostras relacionadas (teste t – amostras pareadas), essencialmente no estudo de comparação de turbidímetros. Quando não satisfeita esta condição e, ou, pela pequena quantidade de dados disponíveis, foram aplicados testes não-paramétricos: (i) teste de Friedman - teste de modelo livre de distribuição de probabilidades abrangendo 3 ou mais amostras relacionadas, para comparação das respectivas médias (comparação da remoção de partículas nas diferentes faixas de tamanho); (ii) coeficiente de correlação de Spearman para determinar o grau de associação de duas variáveis mensuradas e dispostas em postos ordenados (correlação entre remoção de partículas e turbidez na filtração); (iii) Teste de Wilcoxon - teste não-paramétrico de distribuição livre, para duas amostras pareadas (concentrações de partículas de diferentes

tamanhos no efluente do decantador e do filtro); (iv) coeficiente Phi para verificar a associação de variáveis mensuradas a nível nominal e que se apresentam de modo dicotômico (ocorrência de oocistos) em faixas de turbidez superiores e inferiores a determinado valor.

A princípio, em todos os testes adotou-se significância estatística de 5%, mas, por vezes os resultados foram discutidos para nível de decisão de 10%.

Cabe o registro de que algumas vezes se recorreu a testes de regressão em condições pouco apropriadas (escassez ou distribuição dos dados) e outras vezes fazem-se inferências a partir de resultados estatisticamente pouco significativos. Nestes casos o que se pretende é tão somente a verificação de tendências gerais e as respectivas inferências merecem as devidas ressalvas.

Os testes estatísticos foram realizados com o uso dos programas Excel (Microsoft, 2003) e Biostat (AYRES & AYRES JR, 2000).

4.4. Comparação de medidas de turbidez em diferentes turbidímetros.

4.4.1. Descrição dos ensaios.

Ao longo de todo o período de estudo foram conduzidos repetidos ensaios de comparação de medidas de turbidez das águas bruta, decantada e filtrada da ETA UFV, utilizando cinco equipamentos distintos: dois turbidímetros digitais portáteis – (i) marca La Motte, modelo 2020 (Figura 19b); (ii) marca Hach, modelo 2100 P (Figura 19a); (iii) um turbidímetro digital de mesa, marca Hach Modelo 2100 AN (Figura 17a); (iv) um turbidímetro analógico de bancada, marca FUGIWARA, modelo THN 100 A (Figura 19c); e um turbidímetro de processo, marca Hach, modelo 1720 E (Figura 18).

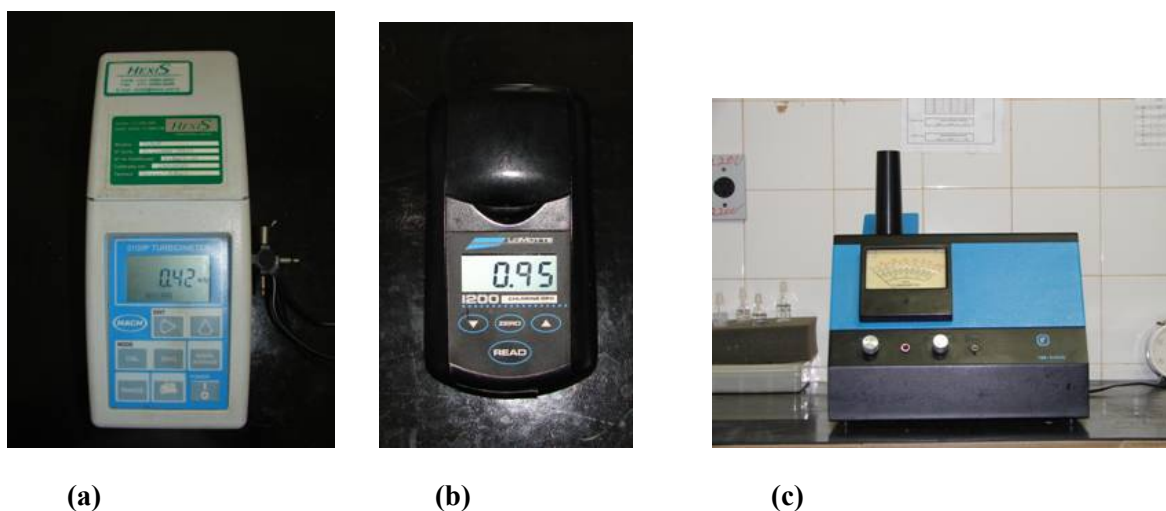


Figura 19 – Turbidímetros de bancada digitais, modelos Hach 2100 P (a), La Motte 2020 (b) e analógico modelo FUGIWARA THN 100 A (c)

Nas amostras de água bruta não foi utilizado o turbidímetro de processo; na água filtrada, a partir de determinado estágio do trabalho, o turbidímetro La Motte 2020 foi descartado por fornecer sucessivas medidas de turbidez com valor ‘zero’.

4.4.2. Descrição dos equipamentos.

O texto a seguir é extraído, essencialmente, de Sadar (1999) e de catálogos dos fabricantes

Turbidímetro digital de mesa Hach 2100AN

O modelo 2100AN segue os critérios de medição de turbidez prescritos pelo método USEPA 180.1 (USEPA, 1993).

O sistema óptico, mostrado na Figura 20, é constituído por uma lâmpada com filamento de tungstênio, lentes e aberturas para focalizar a luz, um detector para monitorar o espalhamento de luz posicionado a 90°, um detector de espalhamento claro, um detector de transmissão de luz e, na parte posterior, outro detector de espalhamento claro. A porção de luz perdida nesse instrumento é muito baixa, comparada com instrumentos mais antigos, por conter sistema óptico complexo que ajuda a reduzir a divergência da luz policromática incidente.

Pode ser utilizado para comprimentos de onda de 400 - 600 nm, desde que contenha filtro acoplado. Partículas pequenas refratarão esses comprimentos de onda mais curtos mais efetivamente que comprimentos de onda mais longos. Porém, comprimentos de onda mais

curtos são muito suscetíveis a interferências de cor. O instrumento mede turbidez menor que 40 uT, usando só o detector de espalhamento de luz a 90° ou usando o jogo completo de detectores (relação).

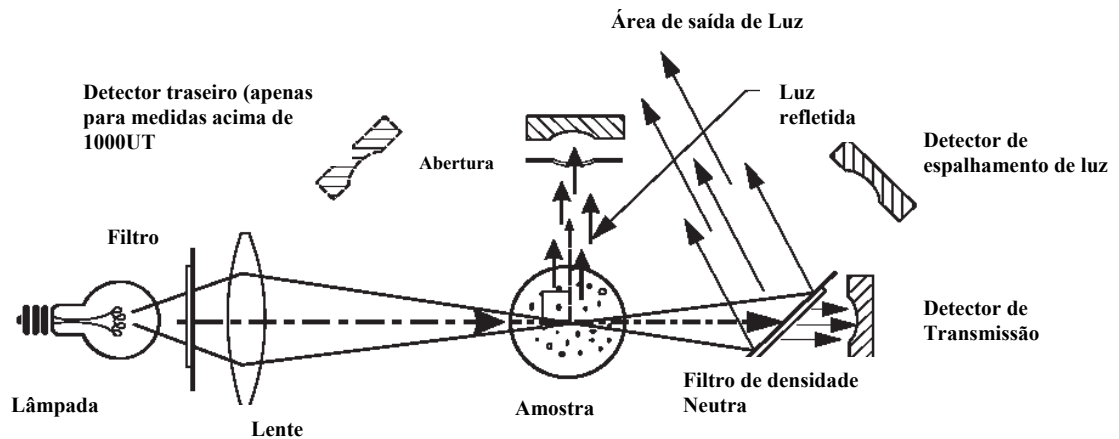


Figura 20 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro HACH 2100 AN

Fonte: Sadar (1999)

Turbidímetro digital portátil Hach 2100 P

Este instrumento também obedece à concepção e princípios do método USEPA 180.1

O sistema óptico (Figura 21) inclui uma lâmpada de filamento de tungstênio, um detector a 90° para monitorar o espalhamento de luz e um detector de transmissão claro. O microprocessador do instrumento calcula a relação dos sinais recebidos pelo detector a 90° e transmitidos pelos detectores claros. Esta técnica de relação corrige para interferências de cor absorvidas pelos materiais e compensa para flutuações em intensidade de luz, provendo estabilidade de calibração a longo prazo.

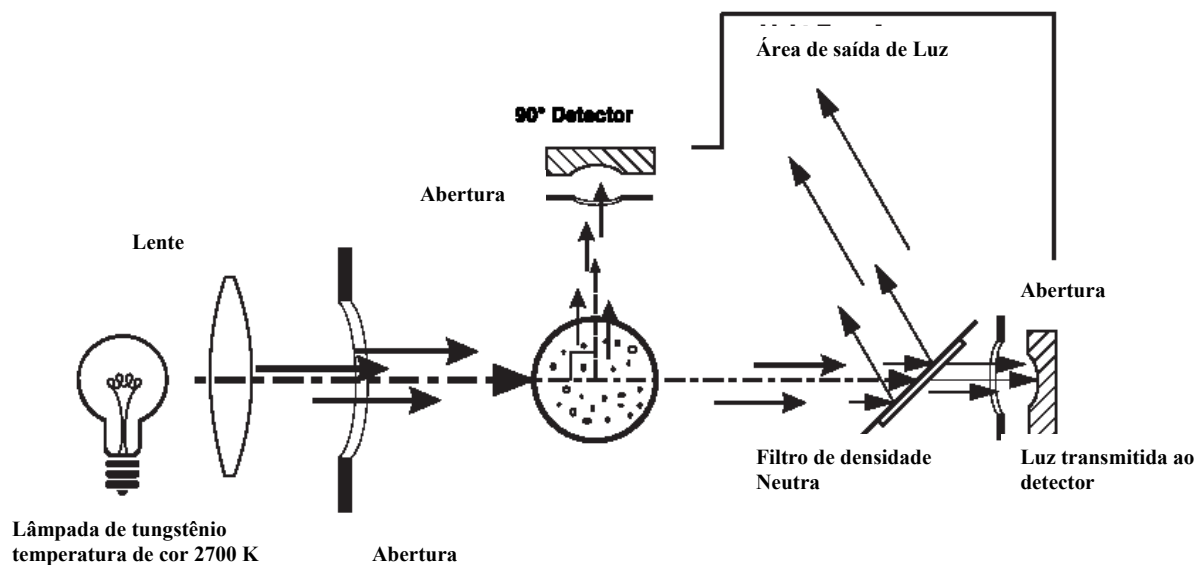


Figura 21 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro HACH 2100 P

Fonte: Sadar (1999)

Turbidímetro digital portátil La Motte 2020

O turbidímetro 2020 é um nefelômetro portátil, controlado por microprocessador. Possui dois modos de operação: modo padrão e o modo EPA. O modo de operação padrão mostra a turbidez como medida arredondada. Como um nefelômetro, os turbidímetros La Motte 2020 medem a luz dispersa a 90 graus da fonte de luz. Um feixe luminoso de referência passa através da amostra e é medido a 180 graus. A relação entre essas duas leituras é eletronicamente convertida em medida de turbidez em UNT.

Uma configuração óptica multidetectora assegura estabilidade a longo prazo e minimiza interferências indevidas de luz e cor. Todas as leituras são determinadas pelo processo de média de sinal durante um período de 5 segundos, minimizando flutuações em leituras atribuídas a partículas maiores, permitindo medidas rápidas e reprodutíveis. O microprocessador permite auto-ajuste de faixa por toda a faixa de 0 - 1100 uT e fornece leitura digital com resolução de 0,01 UNT para faixas mais baixas.

O equipamento óptico contém fonte de luz de tungstênio, com expectativa de vida de 45.000 horas. A luz é detectada por um foto-diodo de silício (Figura 22).

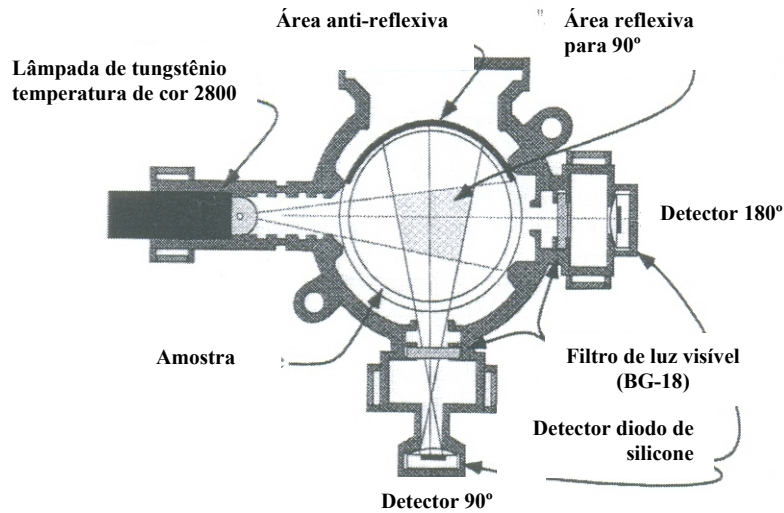


Figura 22 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro La Motte 2020

Fonte: Catalogo do fabricante

Turbidímetros de processo 1720E

A Turbidez é medida por forte luz incandescente posicionada acima da amostra no corpo de turbidímetro. A luz se espalha a 90° através de partículas suspensas na amostra e é detectada por fotocélula submersa. Ambos instrumentos promovem o espalhamento de luz através da própria amostra, eliminando a necessidade de célula de amostragem. Isso reduz consideravelmente a luz perdida pela célula da amostra. Porém, os 1720E apresentam porção de luz perdida devido à formação de bolhas de ar localizadas no interior da câmara de medição (corpo do turbidímetro). Ambos os instrumentos são concebidos de acordo com o método USEPA 180.1.

O corpo do turbidímetro 1720E foi projetado para reduzir erros: corpo amoldado para emparelhar a forma da projeção de filamento da lâmpada depois que atravesse a lente óptica. Como resultado, o turbidímetro 1720E fornece leituras ligeiramente mais baixas.

Figura 23 mostra um esquema da configuração do turbidímetro 1720E.

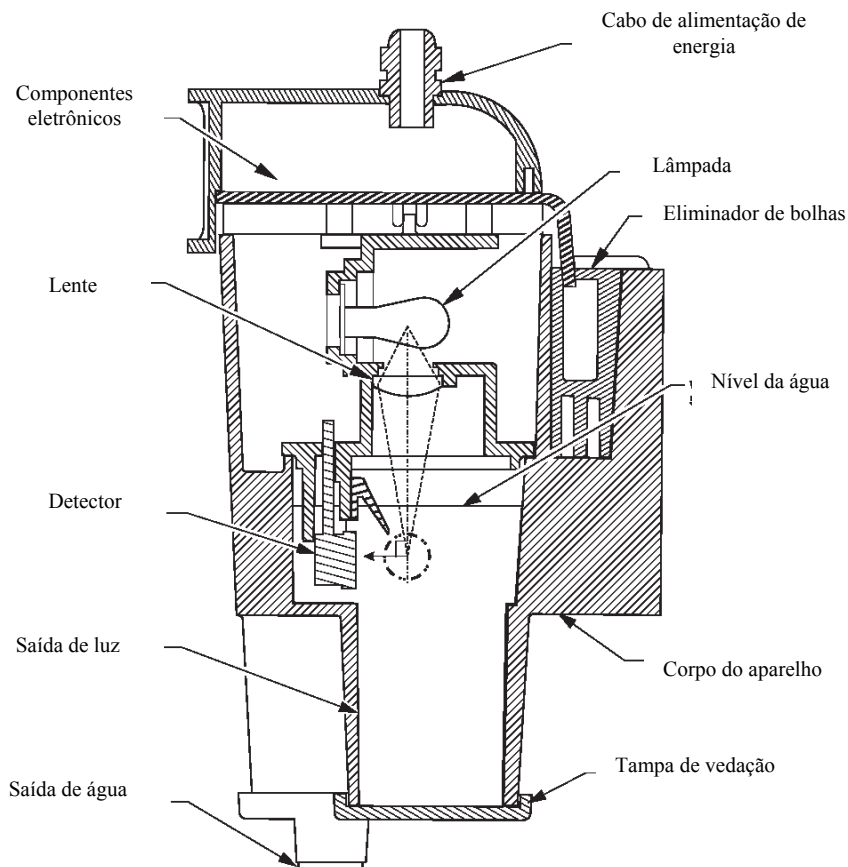


Figura 23 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro Hach 1720E

Fonte: Sadar (1999)

Turbidímetro analógico THN 2100A

No modelo THN 2100A, um feixe de luz atravessa a cuba que contém a substância cuja turbidez se deseja medir (Figura 24). Ao atravessar a amostra em estudo, uma parcela do feixe luminoso, parcela essa proporcional à turbidez presente, é refletida num ângulo de 90° em relação à luz incidente. Essa parcela de luz refletida a 90° é então transformada em um sinal elétrico e medida no instrumento. Um cone de vedação de luz impede a penetração dos raios luminosos externos. Em substâncias de elevada turbidez, verifica-se acentuada atenuação do feixe luminoso em função da distância percorrida. Esse fato traduz em não linearidade que se acentua à medida que aumenta a distância percorrida pelo feixe luminoso. Para reduzir esse efeito, o equipamento é concebido de tal forma que em escalas mais altas (0-100 UNT e 0-1000 UNT) a célula da amostra seja elevada. No entanto, as demais escalas devem ser utilizadas sem o referido ‘elevador de célula’.

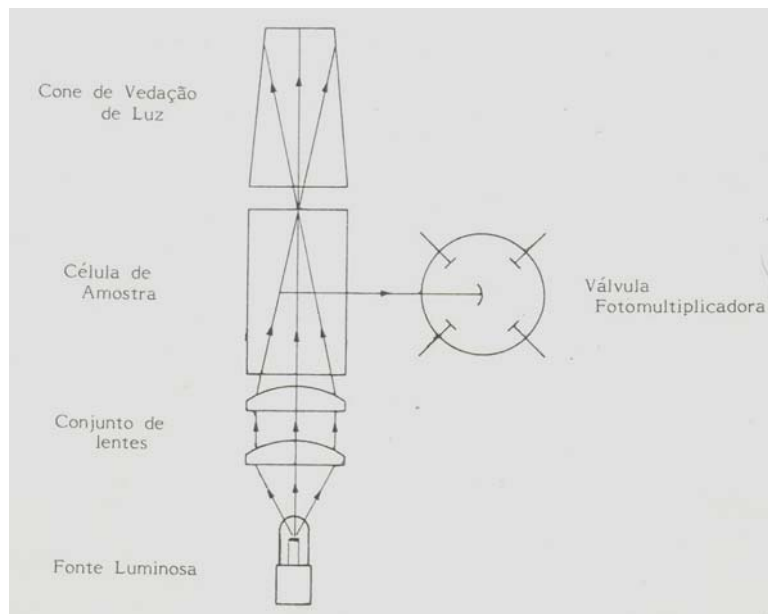


Figura 24 – Ilustração esquemática do princípio de funcionamento de um turbidímetro FUGIWARA analógico THN 2100A

Fonte: Catalogo do fabricante

4.4.3. Análise dos resultados

Os resultados foram sistematizados em termos de estatística descritiva e diferenças no conjunto de dados de medidas de turbidez em cada tipo de amostra de água foram analisadas com o emprego de testes de análise de variância (ANOVA); diferenças entre resultados de pares de equipamentos foram verificadas por meio de teste de diferença de médias (teste t – amostras pareadas). Em todos os testes adotou-se significância estatística de 5%.

4.5. Contagem de partículas da água decantada da ETA piloto.

Para efeito de cômputo da remoção de turbidez na filtração, a cada 5 min, foram computados os valores de contagem de partículas (com o mesmo equipamento de processo, Figura 17b) na água decantada, dentre as seguintes faixas de tamanho de partículas: 2 a 15 (variando a cada unidade), 20, 25, 30, 35, 40, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 e 700 μ m.

Vale ressaltar que estes ensaios foram realizados em separado aos de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium*, ou seja as medidas na água decantada e na água filtrada não foram simultâneas.

Adicionalmente foram realizadas análises de turbidez para água bruta, decantada e filtrada.

4.6. Monitoramento de protozoários na ETA UFV.

Entre setembro de 2007 a julho de 2008, foi realizada pesquisa de (oo)cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium* na ETA UFV, com coleta mensal de amostras pontuais da água bruta, decantada, filtrada e da água de lavagem de filtros (efluente de cada filtro). No caso da água de lavagem dos filtros, a amostragem era composta durante o período de limpeza das unidades (aproximadamente 8 min). No período de novembro de 2007 a abril de 2008 foram incluídas amostras pontuais de água clorada (na saída do tanque de contato) e da saída do reservatório / entrada do sistema de distribuição. Demais procedimentos de coleta e análise das amostras seguiram o descrito no item 4.3.1.

4.7. Amostragem total.

Ao todo foram realizadas 250 coletas para comparação de valores obtidos nos diferentes turbidímetros, sendo 63 no período chuvoso (valores mais altos de turbidez) e 187 no período de estiagem (valores mais baixos de turbidez).

A contagem de partículas da água decantada foi realizada em 11 (onze) ensaios. Para a água filtrada foram realizados 15 ensaios.

Foram realizadas 15 inoculações de oocistos de *Cryptosporidium*. Cada ensaio gerou 9 (nove) amostras totalizando assim 135 amostras.

O monitoramento realizado na ETA/UFV gerou 77 amostras.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Comparação da medida da turbidez em diferentes equipamentos.

A seguir apresentam-se os resultados, separados por períodos típicos de estiagem e chuvas, obtidos com os cinco equipamentos descritos no item 4.4: dois turbidímetros digitais portáteis - La Motte 2020, Hach 2100 P; um turbidímetro digital de mesa - Hach 2100 AN; um turbidímetro analógico de bancada - FUGIWARA THN 2100 A; um turbidímetro de processo - Hach 1720 E.

Na Tabela 4, encontram-se os dados de turbidez da água bruta nos meses típicos de chuvas (janeiro a março). O período analisado inclui, entretanto, períodos de chuvas e de estiagem e, assim, a água bruta apresentou valores de turbidez com amplas variações ($\approx 6 - 100$ uT). Os valores médios das medidas de turbidez com os vários equipamentos não apresentaram grandes discrepâncias (em torno de 22-25 uT). Os coeficientes de variação e os desvios-padrão também estiveram próximos.

Apesar da proximidade dos valores médios, as leituras do equipamento La Motte 2020 foram estatisticamente distintas das obtidas com os demais equipamentos, bem como aquelas entre os turbidímetros Hach de mesa e portátil. As leituras nestes equipamentos e no turbidímetro analógico foram estatisticamente equivalentes (Tabela 5).

Tabela 4 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água bruta em diferentes equipamentos, janeiro a março de 2007.

Parâmetro	Turbidímetro			
	LaMotte 2020	Hach 2100P	Hach 2100AN	THN 2100 A
N	66	66	66	66
Mínimo	5,8	6,6	6,2	3,0
Máximo	110	95,3	105	95
Mediana	11	10,5	10,2	9,8
Primeiro Quartil (25%)	9,5	8,1	8,0	8,0
Terceiro Quartil (75%)	14,7	12,1	12,17	11,7
Média Aritmética	24,6	22,1	23,6	22,3
Variância	946,7	780,6	971,9	844,09
Desvio Padrão	30,7	27,9	31,2	29,1
Erro Padrão	3,78	3,44	3,84	3,58
Coefficiente de Variação	125,2%	126,5%	132,1%	130,4%

Tabela 5 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água bruta (teste t – amostras pareadas), janeiro a março de 2007.

Turbidímetros	t	p
LaMotte 2020 x Hach 2100P	10,75	< 0,01
LaMotte 2020 x Hach 2100AN	11,05	0,0042
LaMotte 2020 x THN2100A	9,38	< 0,01
Hach 2100P x Hach 2100AN	1,31	0,0267
Hach 2100P x THN2100A	-1,33	0,187
Hach 2100AN x THN2100A	-1,84	0,7661

Nas Tabelas 6 e 7 apresentam-se, respectivamente, a estatística descritiva e a comparação entre as medidas de turbidez da água decantada fornecidas pelos diversos equipamentos.

De modo geral, nota-se que a água decantada apresenta baixos valores de turbidez e com variações relativamente estreitas, denotando eficiência e estabilidade do processo de decantação. O turbidímetro LaMotte 2020 forneceu as leituras mais elevadas (média de 5,4 uT) e estatisticamente superior às dos demais equipamentos, os quais, entre si forneceram leituras estatisticamente semelhantes (médias de 2,2 - 2,5 uT).

Tabela 6 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água decantada em diferentes equipamentos, janeiro a março de 2007.

Parâmetro	Turbidímetro			
	LaMotte 2020	Hach 2100P	Hach 2100AN	THN 2100 A
N	66	66	66	66
Mínimo	1,1	0,9	0,3	0,5
Máximo	11	6,0	7,3	4,5
Mediana	5,2	2,1	1,75	2,1
Primeiro Quartil (25%)	3,2	1,6	1,3	2,0
Terceiro Quartil (75%)	6,4	2,9	2,8	3,0
Média Aritmética	5,4	2,3	2,2	2,5
Variância	6,8	1,0	1,7	0,9
Desvio Padrão	2,6	1,0	1,3	0,9
Erro Padrão	0,3	0,1	0,2	0,1
Coeficiente de Variação	48,4%	43,4%	59,1%	37,8%

Tabela 7 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água decantada (teste t – amostras pareadas), janeiro a março de 2007.

Turbidímetros	t	p
LaMotte 2020 x Hach 2100P	10,75	< 0,01
LaMotte 2020 x Hach 2100AN	11,05	< 0,01
LaMotte 2020 x THN2100A	9,38	< 0,01
Hach 2100P x Hach 2100AN	1,31	0,1959
Hach 2100P x THN2100A	-1,33	0,187
Hach 2100AN x THN2100A	-1,84	0,0699

Nas Tabelas 8 e 9 apresenta-se a estatística descritiva da água filtrada, medida em cada um dos dois filtros, individualmente. Na Tabela 10 encontram-se os resultados dos testes de comparação de médias realizados.

Nessa faixa de turbidez (em torno de 0,2 - 5,0 uT) foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre todos os turbidímetros testados

Em ambos os efluentes filtrados, os turbidímetros Hach 2100P (digital portátil) e THN 2100A (analógico) forneceram as leituras mais elevadas e com valores médios próximos entre si (média em torno de 0,4 – 0,5 uT), porém estatisticamente distintas. Por sua vez, os equipamentos Hach 1720E (digital de processo) e Hach 2100AN (digital de mesa) forneceram leituras mais baixas (médias em torno 0,2 – 0,3 uT), no entanto, também estatisticamente diferentes.

Tabela 8 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água filtrada (filtro 1) em diferentes equipamentos, janeiro a março de 2007.

Parâmetro	Turbidímetro			
	Hach 2100P	Hach 2100AN	THN 2100 A	Hach 1720E
N	67	67	67	67
Mínimo	0,24	0,13	0,15	0,06
Máximo	1,64	1,73	2,04	0,71
Mediana	0,48	0,27	0,43	0,24
Primeiro Quartil (25%)	0,45	0,22	0,34	0,15
Terceiro Quartil (75%)	0,58	0,34	0,51	0,29
Média Aritmética	0,54	0,31	0,46	0,25
Variância	0,049	0,043	0,053	0,018
Desvio Padrão	0,22	0,21	0,23	0,13
Erro Padrão	0,02	0,03	0,03	0,02
Coeficiente de Variação	41,3%	67,3%	50,1%	54,5%

Tabela 9 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água filtrada (filtro 2) em diferentes equipamentos, janeiro a março de 2007.

Parâmetro	Turbidímetro			
	Hach 2100P	Hach 2100AN	THN 2100 A	Hach 1720E
N	63	63	63	63
Mínimo	0,26	0,12	0,2	0,03
Máximo	1,38	0,6	0,95	0,65
Mediana	0,50	0,28	0,41	0,17
Primeiro Quartil (25%)	0,41	0,21	0,32	0,14
Terceiro Quartil (75%)	0,61	0,36	0,50	0,22
Média Aritmética	0,54	0,29	0,43	0,20
Variância	0,037	0,011	0,024	0,012
Desvio Padrão	0,19	0,11	0,16	0,11
Erro Padrão	0,02	0,01	0,02	0,01
Coeficiente de Variação	35,6%	35,9%	36,1%	54,8%

Tabela 10 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água filtrada (teste t – amostras pareadas), janeiro a março de 2007.

Turbidímetros	t	p
Filtro 1		
Hach 2100P x Hach 2100 AN	10,29	< 0,01
Hach 2100P x THN2100A	3,71	< 0,01
Hach 2100P x Hach 1720E	10,62	< 0,01
Hach 2100AN x THN2100A	-11,36	< 0,01
Hach 2100AN x Hach 1720E	2,49	< 0,01
THN2100A x Hach 1720E	7,28	< 0,01
Filtro 2		
Hach 2100P x Hach 2100AN	10,59	< 0,01
Hach 2100P x THN2100A	4,36	< 0,01
Hach 2100P x Hach 1720E	13,90	< 0,01
Hach 2100AN x THN2100A	-7,65	< 0,01
Hach 2100AN x Hach 1720E	7,07	< 0,01
THN2100A x Hach 1720E	13,23	< 0,01

Na Tabela 11, encontram-se os dados de turbidez da água bruta nos meses típicos de estiagem (abril a julho). No período analisado a água bruta apresentava valores baixos de turbidez, em torno de 4 - 13 uT. O equipamento LaMotte 2020 foi o que apresentou medidas de turbidez mais elevadas, sendo os seguintes os valores médios encontrados: La Motte (8,1 uT); Hach 2100P (5,8 uT); Hach 2100AN (5,6 uT); THN 2100 A (6,2 uT). As medidas com o equipamento LaMotte 2020 foram as que apresentaram os maiores coeficientes de variação e desvios-padrão, seguido do equipamento analógico. Nessa faixa de turbidez da água bruta mais baixa em relação à época de chuvas, todos os equipamentos forneceram leituras diferentes estatisticamente (Tabela 12).

Tabela 11 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água bruta em diferentes equipamentos, abril a julho de 2007.

Parâmetro	Turbidímetro			
	LaMotte 2020	Hach 2100P	Hach 2100AN	THN 2100 A
N	187	187	187	187
Mínimo	4,03	4,16	3,84	0,5
Máximo	13,3	10,1	9,8	9,6
Mediana	7,69	5,73	5,58	6,3
Primeiro Quartil (25%)	6,38	5,04	4,83	5,35
Terceiro Quartil (75%)	9,71	6,51	6,23	7,30
Média Aritmética	8,08	5,81	5,59	6,22
Variância	4,07	0,91	0,89	2,06
Desvio Padrão	2,02	0,95	0,94	1,43
Erro Padrão	0,15	0,07	0,07	0,11
Coeficiente de Variação	24,99%	16,40%	16,87%	23,05%

Tabela 12 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água bruta (teste t – amostras pareadas), abril a julho de 2007.

Turbidímetros	t	p
LaMotte 2020 x Hach 2100P	18,637	< 0,01
LaMotte 2020 x Hach 2100AN	20,274	< 0,01
LaMotte 2020 x THN2100A	12,368	< 0,01
Hach 2100P x Hach 2100AN	6,579	< 0,01
Hach 2100P x THN2100A	-23,707	< 0,01
Hach 2100AN x THN2100A	-22,358	< 0,01

Nas Tabelas 13 e 14 apresentam-se, respectivamente, a estatística descritiva e a comparação entre as medidas de turbidez da água decantada fornecidas pelos diversos equipamentos. O turbidímetro LaMotte 2020 mais uma vez forneceu as leituras mais elevadas (média de 3,2 uT), seguido do THN2100A (média de 1,8 uT), dos turbidímetros Hach 2100P (média de 1,1 uT) e Hach 2100AN (média de 1,0 uT). As medidas com o equipamento LaMotte 2020 foram também as que apresentaram o maior desvio-padrão, seguido do equipamento analógico. Entretanto, o equipamento Hach 2100AN apresentou o maior coeficiente de variação e o analógico (THN2100A), o menor. Para essa faixa de turbidez (baixa) da água decantada, foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre todos os turbidímetros testados

Tabela 13 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água decantada em diferentes equipamentos, abril a julho de 2007.

Parâmetro	Turbidímetro			
	LaMotte 2020	Hach 2100P	Hach 2100AN	THN 2100 A
N	187	187	187	187
Mínimo	0,38	0,55	0,41	0,8
Máximo	5,59	2,21	5,39	3,4
Mediana	3,06	1,09	0,83	1,8
Primeiro Quartil (25%)	2,28	0,82	0,66	1,5
Terceiro Quartil (75%)	4,46	1,39	1,16	2,1
Média Aritmética	3,23	1,13	0,96	1,83
Variância	1,62	0,15	0,23	0,26
Desvio Padrão	1,27	0,38	0,48	0,51
Erro Padrão	0,09	0,03	0,03	0,04
Coeficiente de Variação	39,43%	33,75%	49,53%	27,51%

Tabela 14 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água decantada (teste t – amostras pareadas), abril a julho de 2007.

Turbidímetros	t	p
LaMotte 2020 x Hach 2100P	18,637	< 0,01
LaMotte 2020 x Hach 2100AN	20,274	< 0,01
LaMotte 2020 x THN2100A	12,368	< 0,01
Hach 2100P x Hach 2100AN	6,579	< 0,01
Hach 2100P x THN2100A	-23,707	< 0,01
Hach 2100AN x THN2100A	-22,358	< 0,01

Nas Tabelas 15, 16 e 17 apresentam-se os resultados obtidos para a água filtrada.

Em ambos os efluentes filtrados, os turbidímetros Hach 2100P (digital portátil) e THN2100A (analógico) forneceram as leituras mais elevadas, estatisticamente equivalentes (média em torno de 0,3 uT). Por sua vez, os equipamentos Hach 1720E (digital de processo) e Hach 2100AN (digital de mesa) forneceram leituras mais baixas (médias em torno 0,13 uT) e estatisticamente equivalentes entre si (à exceção do efluente do filtro 2, onde essas medidas embora com médias próximas - 0,12 uT e 0,14 uT - revelaram-se estatisticamente distintas). O equipamento de processo (Hach 1720E) foi o que apresentou o maior coeficiente de variação.

Mais uma vez, é importante destacar que em faixa de valores de turbidez baixas (sempre inferiores a 1,0 uT e a 0,35 uT em 75% do tempo), para uma mesma amostra, as leituras mais elevadas são cerca do dobro das mais baixas e que o turbidímetro LaMotte 2020 forneceu sempre valores não detectáveis ('zero').

Tabela 15 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água filtrada (filtro 1) em diferentes equipamentos, abril a julho de 2007.

Parâmetro	Turbidímetro			
	Hach 2100P	Hach 2100AN	THN 2100 A	Hach 1720E
N	186	186	186	186
Mínimo	0,16	0,08	0,14	0,07
Máximo	0,77	0,58	0,62	0,75
Mediana	0,3	0,125	0,29	0,12
Primeiro Quartil (25%)	0,27	0,11	0,25	0,1
Terceiro Quartil (75%)	0,34	0,16	0,35	0,15
Média Aritmética	0,31	0,14	0,30	0,14
Variância	0,005	0,003	0,007	0,006
Desvio Padrão	0,071	0,058	0,082	0,077
Erro Padrão	0,005	0,004	0,006	0,006
Coeficiente de Variação	23,16%	41,49%	27,19%	56,10%

Tabela 16 – Estatística descritiva das medidas de turbidez da água filtrada (filtro 2) em diferentes equipamentos, abril a julho de 2007.

Parâmetro	Turbidímetro			
	Hach 2100P	Hach 2100AN	THN 2100 A	Hach 1720E
N	187	187	187	187
Mínimo	0,22	0,08	0,14	0
Máximo	1,00	0,47	0,59	0,6
Mediana	0,30	0,13	0,30	0,11
Primeiro Quartil (25%)	0,27	0,11	0,25	0,08
Terceiro Quartil (75%)	0,34	0,16	0,35	0,13
Média Aritmética	0,31	0,14	0,31	0,12
Variância	0,006	0,003	0,006	0,007
Desvio Padrão	0,077	0,054	0,080	0,082
Erro Padrão	0,006	0,004	0,006	0,006
Coeficiente de Variação	24,58%	37,81%	26,04%	72,17%

Tabela 17 – Resultado da comparação estatística das medidas de turbidez da água filtrada (teste t – amostras pareadas), abril a julho de 2007.

Turbidímetros	t	p
Filtro 1		
Hach 2100P x Hach 2100 AN	41,5006	< 0,01
Hach 2100P x THN2100A	1,0757	0,2842
Hach 2100P x Hach 1720E	33,099	< 0,01
Hach 2100AN x THN2100A	-30,0495	< 0,01
Hach 2100AN x Hach 1720E	0,8026	0,4237
THN2100A x Hach 1720E	25,929	< 0,01
Filtro 2		
Hach 2100P x Hach 2100AN	41,6199	< 0,01
Hach 2100P x THN2100A	1,0374	0,3016
Hach 2100P x Hach 1720E	28,2983	< 0,01
Hach 2100AN x THN2100A	-29,057	< 0,01
Hach 2100AN x Hach 1720E	4,8712	< 0,01
THN2100A x Hach 1720E	27,4625	< 0,01

Em resumo para valores de turbidez da água bruta mais elevados, foram registradas menos diferenças entre as leituras obtidas com os diferentes turbidímetros de bancada (analógico e digitais portáteis e de mesa). À medida que se processou leituras de valores mais baixos de turbidez (inclusive de água bruta) as diferenças acentuaram-se, sendo que para água bruta e decantada o turbidímetro La Motte forneceu leituras mais elevadas. Para valores ainda mais baixos de turbidez (água filtrada) esse equipamento forneceu, sistematicamente, leituras de turbidez ‘zero’. Quanto aos demais, as leituras mais baixas (equipamentos Hach digital de mesa e digital de processo) foram, sensivelmente a metade daquelas obtidas no turbidímetro Hach digital portátil e no turbidímetro analógico. Podemos concluir então que quanto mais moderno for o aparelho melhor é sua sensibilidade na medição de baixos valores de turbidez,

o que foi alcançado com os turbidímetros Hach digital de mesa e digital de processo. Na descrição dos aparelhos notamos que o maior número de sensores fotoelétricos reduz as perdas de luz transmitidas pelos espelhos, dando assim essa maior precisão dos aparelhos.

5.2. Contagem de partículas e medidas de turbidez na ETA piloto - Ensaios de contagem de partículas da água decantada.

Nas Figuras 25 a 35 são apresentadas as variações dos valores de turbidez (água bruta, decantada e filtrada) medidos durante os 11 ensaios de contagem de partículas da água decantada.

A Figura 25 (primeiro ensaio) revela que o tratamento da água foi ineficiente, visto que a turbidez da água filtrada esteve grande parte do tempo acima de 1,00 uT. A causa dessa deficiência foi o fato da mangueira que conduz o sulfato de alumínio ter entupido e, portanto, a dosagem de coagulante ter sido efetuada em condições sub-otimizadas.

Nas Figuras 26 a 35 observa-se que a água bruta apresentou valores relativamente estáveis de turbidez (6 - 12uT). A turbidez da água decantada não sofreu alterações consideráveis durante os ensaios. Nota-se ainda elevação recorrente na turbidez da água decantada após cerca de uma hora e meia de operação da ETA piloto; isso pode se dever ao fato da decantação ser ascendente, sendo natural que do início do tratamento a água contivesse menos partículas em suspensão.

Nos ensaios 2 a 11, a etapa da filtração mostrou-se eficiente e estável na remoção de turbidez, produzindo efluente filtrado com turbidez < 1uT, por quase todo o tempo de operação da ETA piloto, com exceção do início dos ensaios 6 e 9 devido à prévia lavagem dos filtros.

Todas as carreiras de filtração duraram cerca de 8 horas, determinadas pelo horário de funcionamento da ETA UFV (o funcionamento da ETA em escala real e ETA piloto era simultâneo).

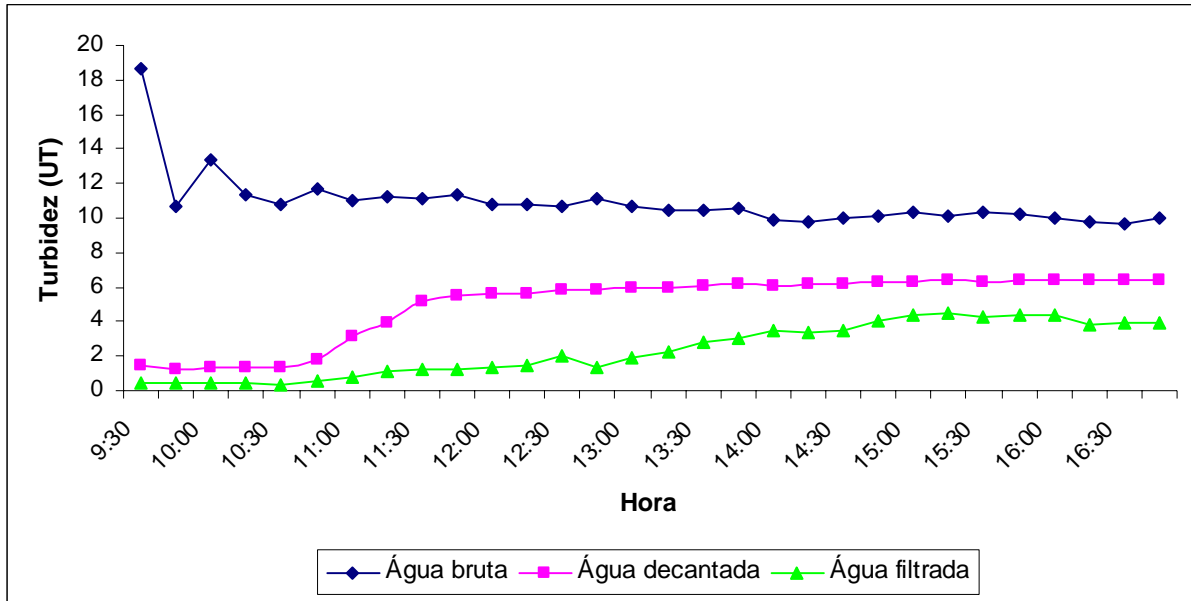


Figura 25 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 1 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

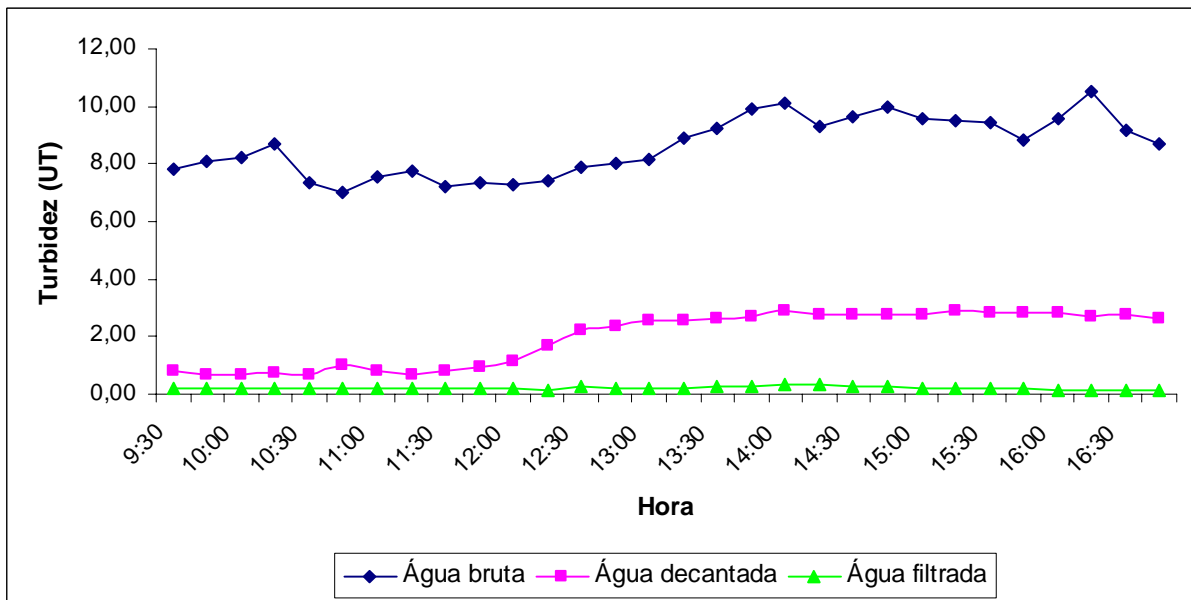


Figura 26 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 2 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

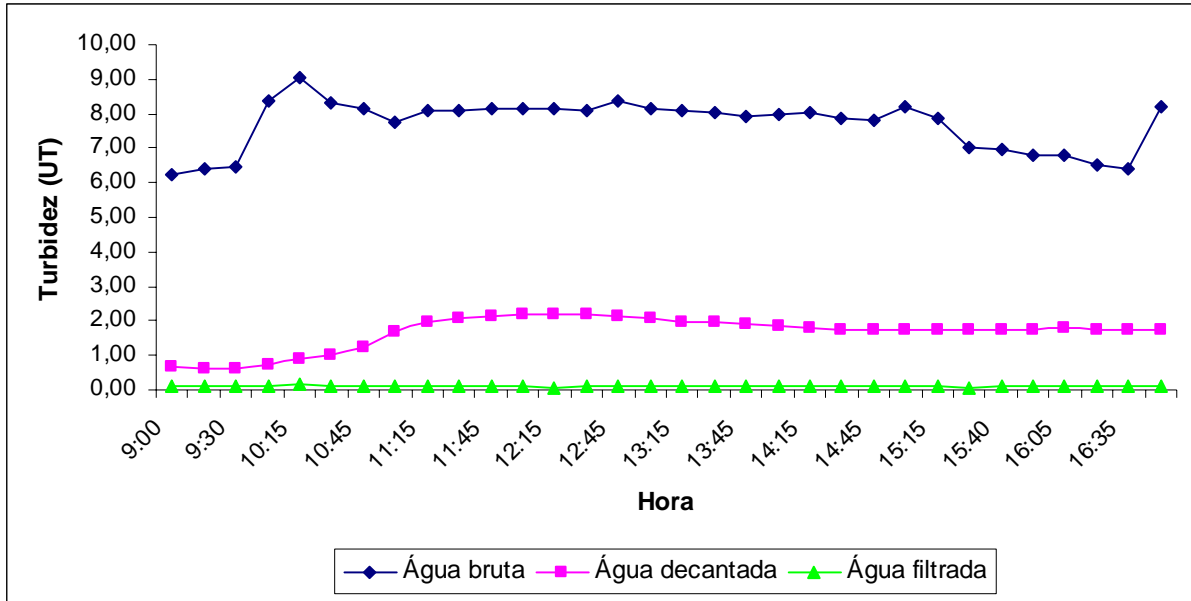


Figura 27 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 3 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

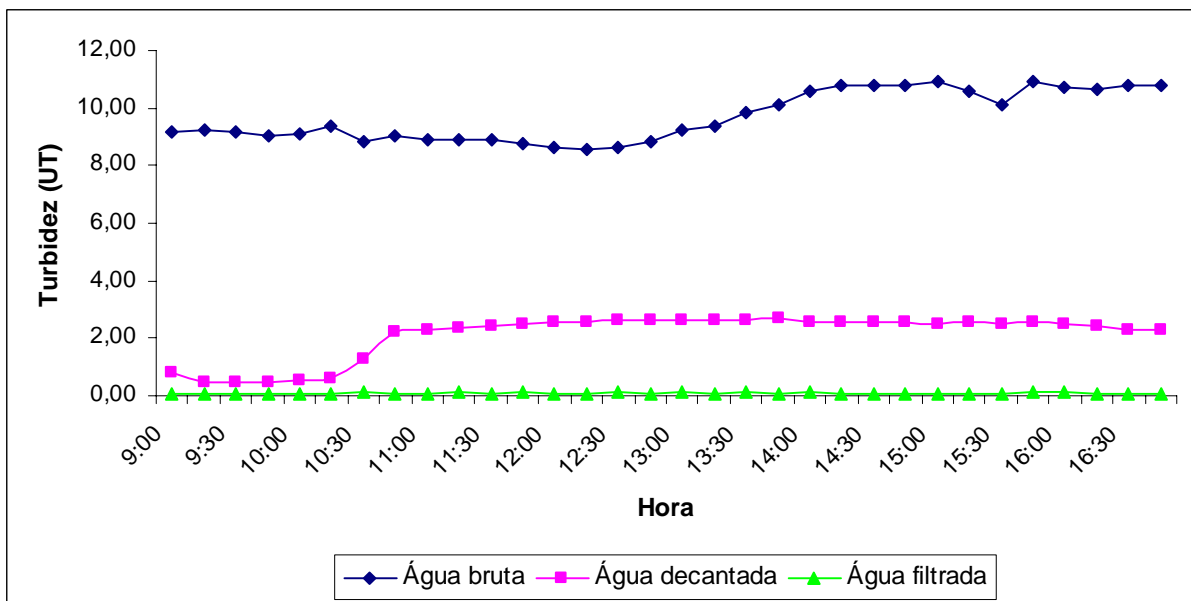


Figura 28 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 4 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

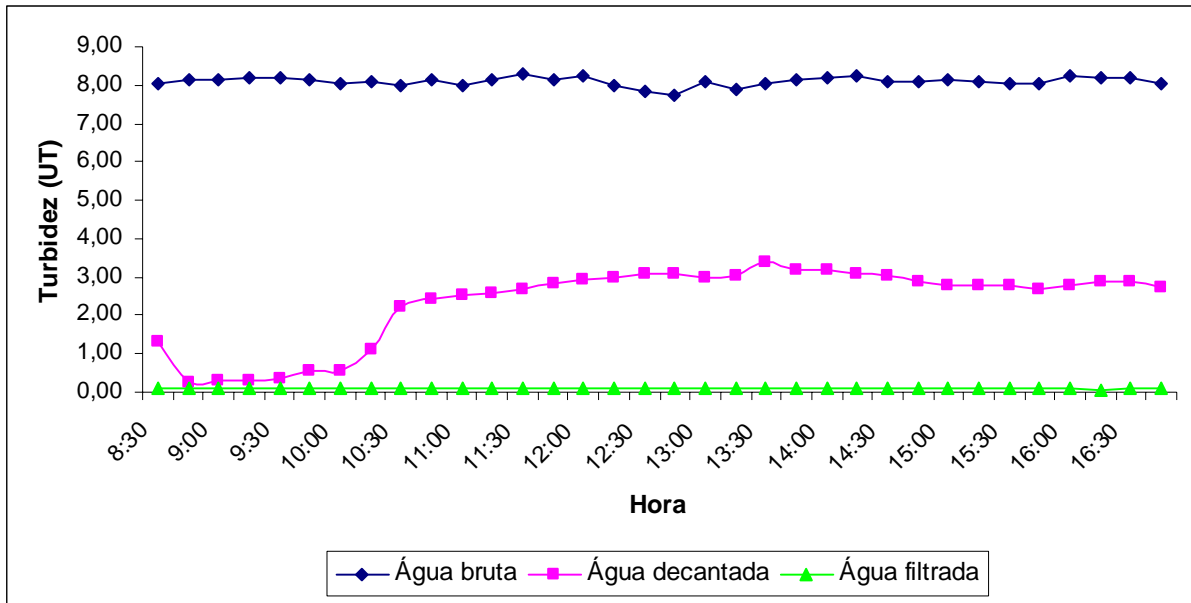


Figura 29 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 5 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

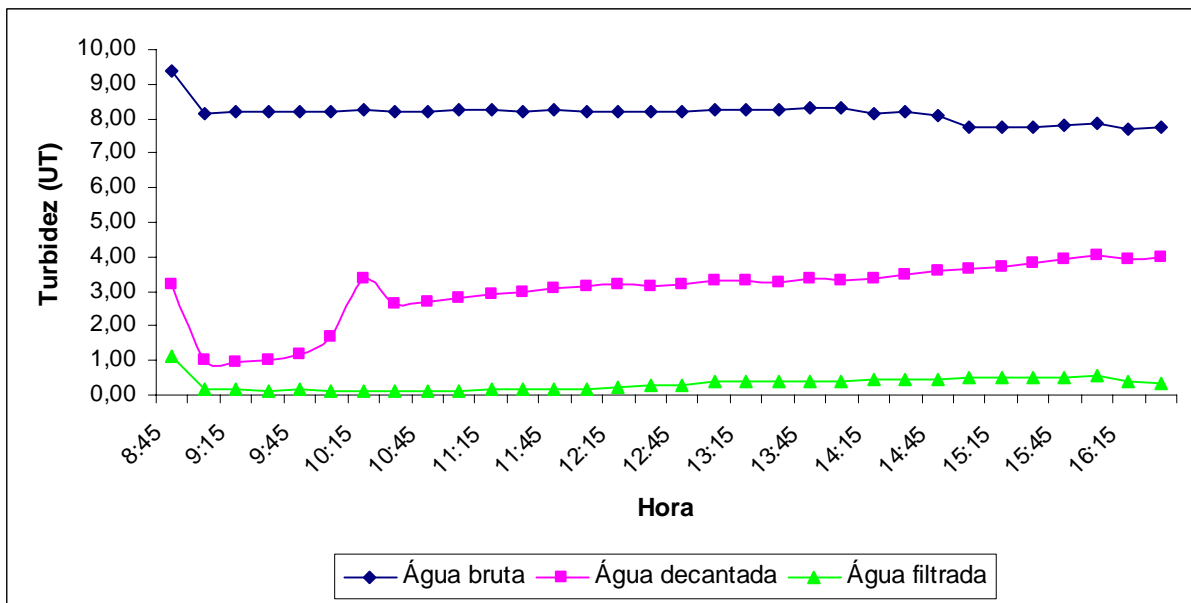


Figura 30 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 6 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

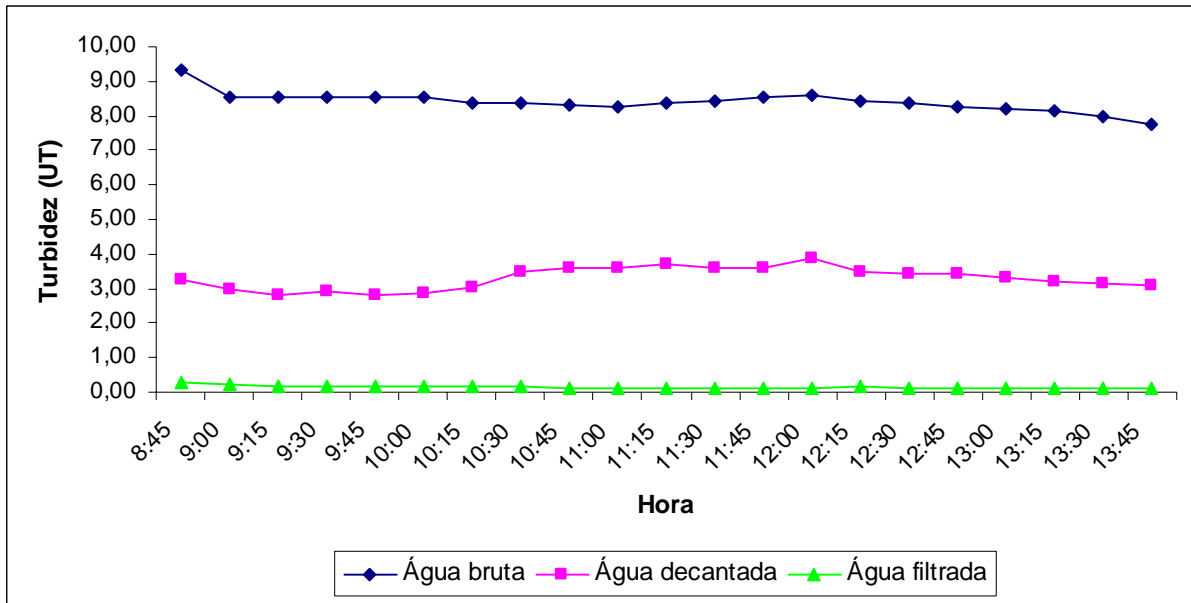


Figura 31 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 7 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

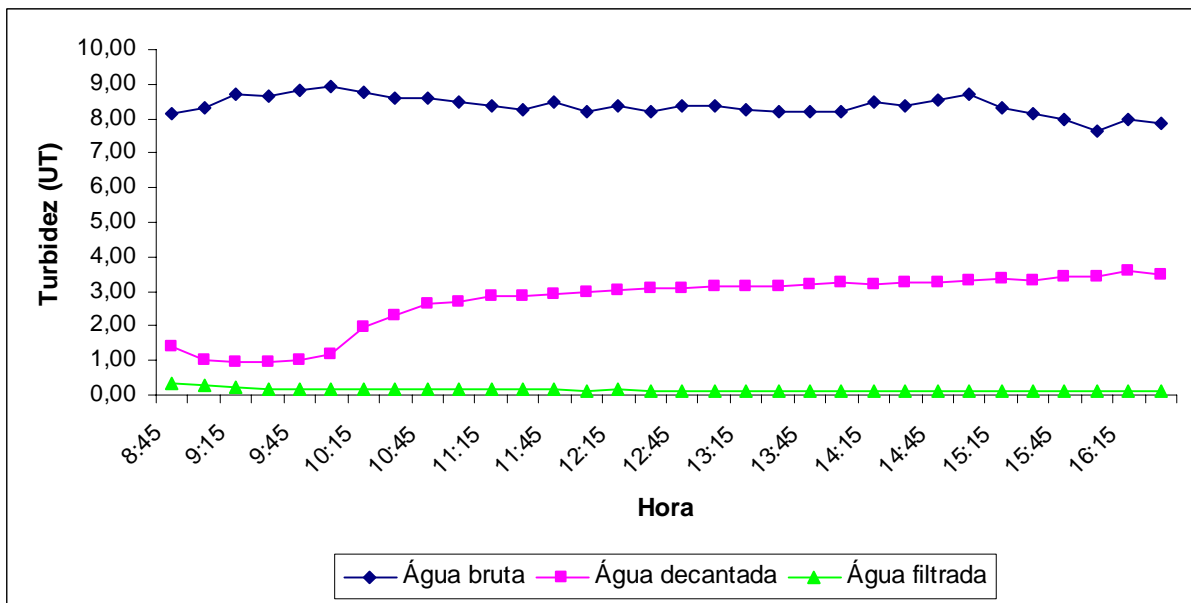


Figura 32 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 8 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

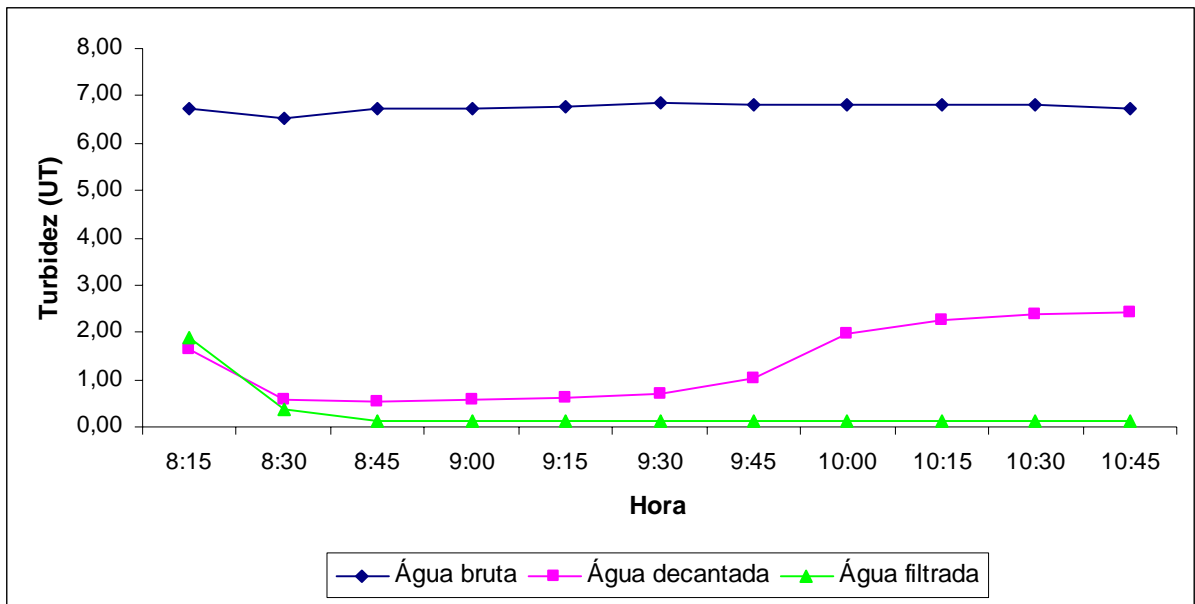


Figura 33 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 9 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

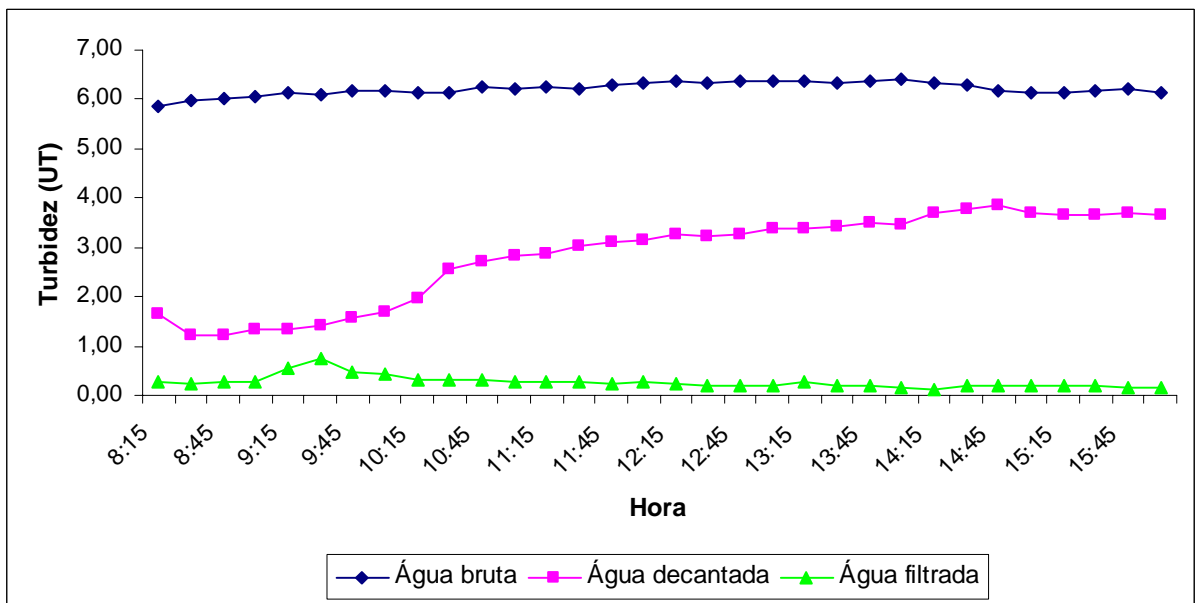


Figura 34 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 10 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

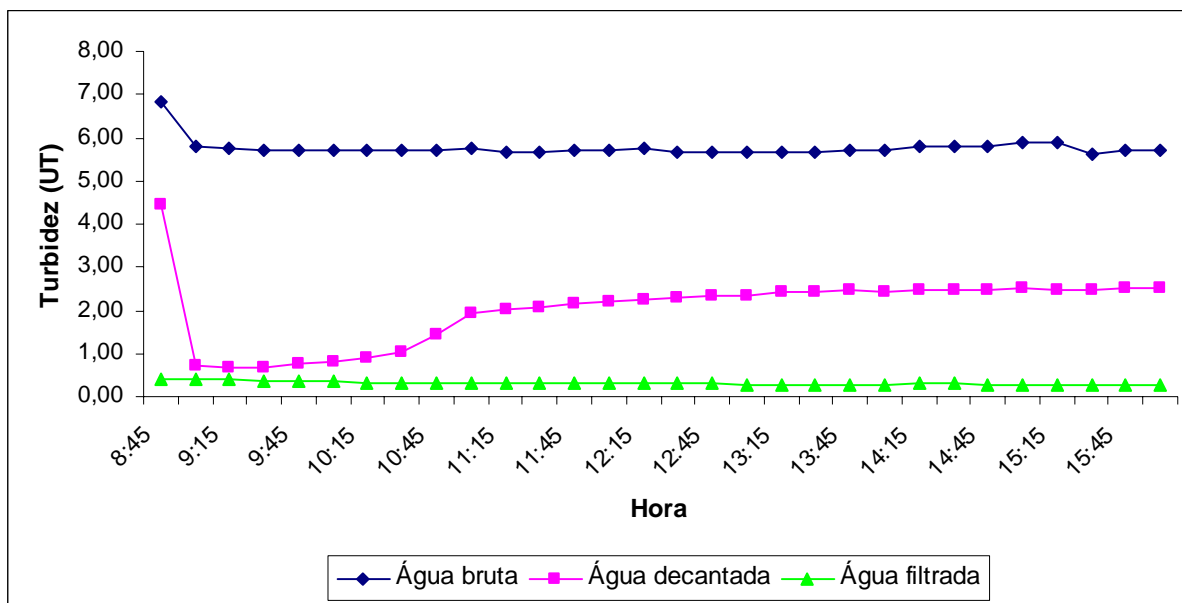


Figura 35 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio nº 11 de contagem de partículas da água decantada na ETA piloto

Nas Figuras 36 a 46 encontram-se os resultados das contagens de partículas (nas faixas de 2 a 7µm, 8 a 15µm e 20 a 50 µm) e a turbidez da água decantada nos 11 ensaios realizados na ETA piloto.

Nos resultados do primeiro ensaio, comparativamente aos demais, a relação entre a variação do número de partículas e a variação da turbidez é bem menos nítida. Isso pode ser devido ao problema operacional anteriormente mencionado. Nos demais ensaios, a turbidez e a contagem de partículas seguem perfil de variação similar.

No efluente do decantador nota-se a prevalência de partículas com tamanho entre 2 - 7 µm (faixa que engloba o tamanho típico de oocistos de *Cryptosporidium*). Partículas com o tamanho próximo ao tamanho típico de cistos de *Giardia* (8 - 15 µm) foram detectadas em pouca quantidade pelo decantador e partículas maiores que 20 µm praticamente não foram computadas. Isso sugere que a remoção de turbidez no decantador parece estar relacionada à remoção mais intensa de partículas de 2-7 µm.

Nas Figuras 37 e 39, referentes aos ensaios 7 e 9, nota-se que o período de funcionamento da ETA piloto foi menor devido à pausa no tratamento da água da ETA UFV.

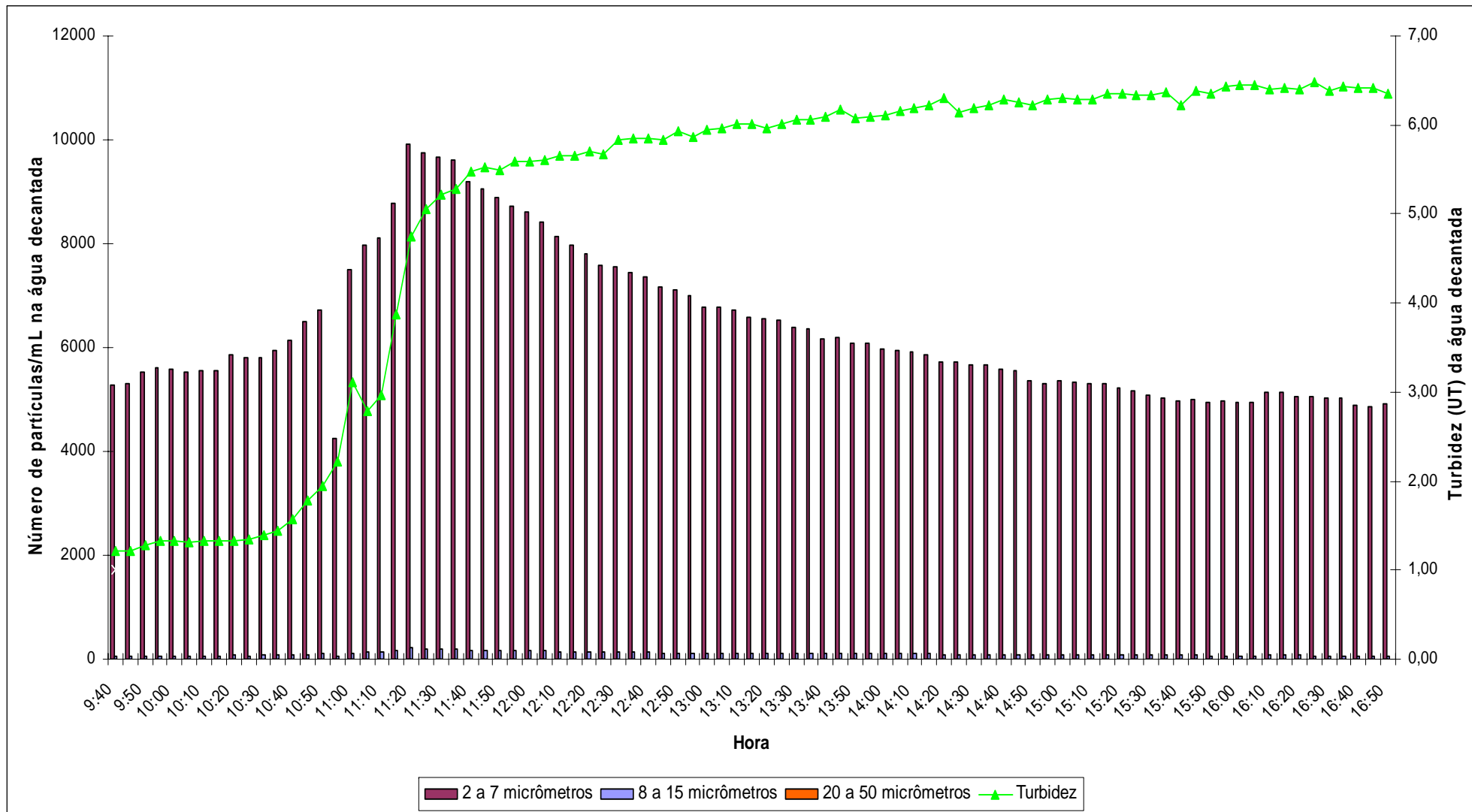


Figura 36 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 1 na ETA piloto

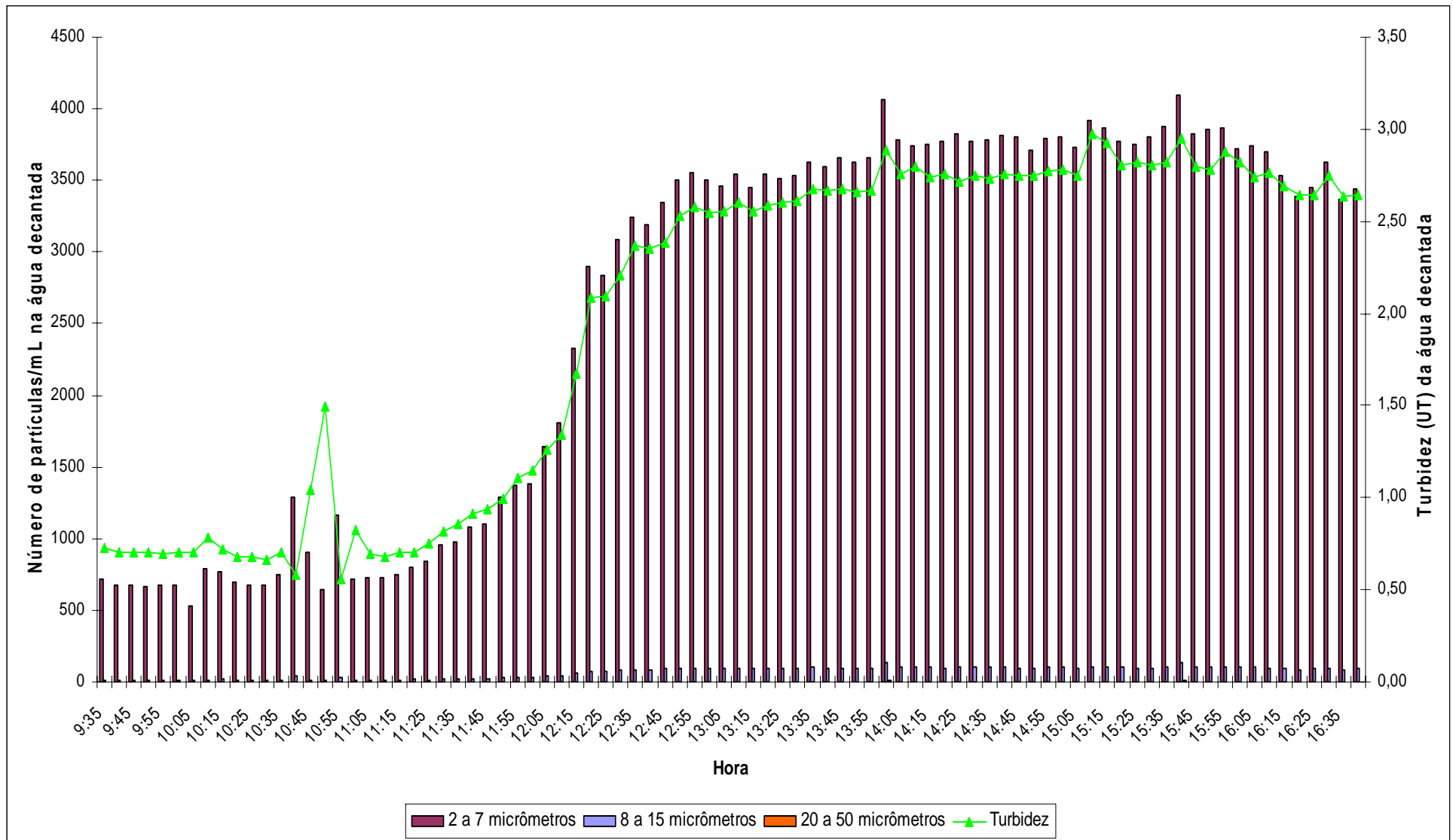


Figura 37 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 2 na ETA piloto

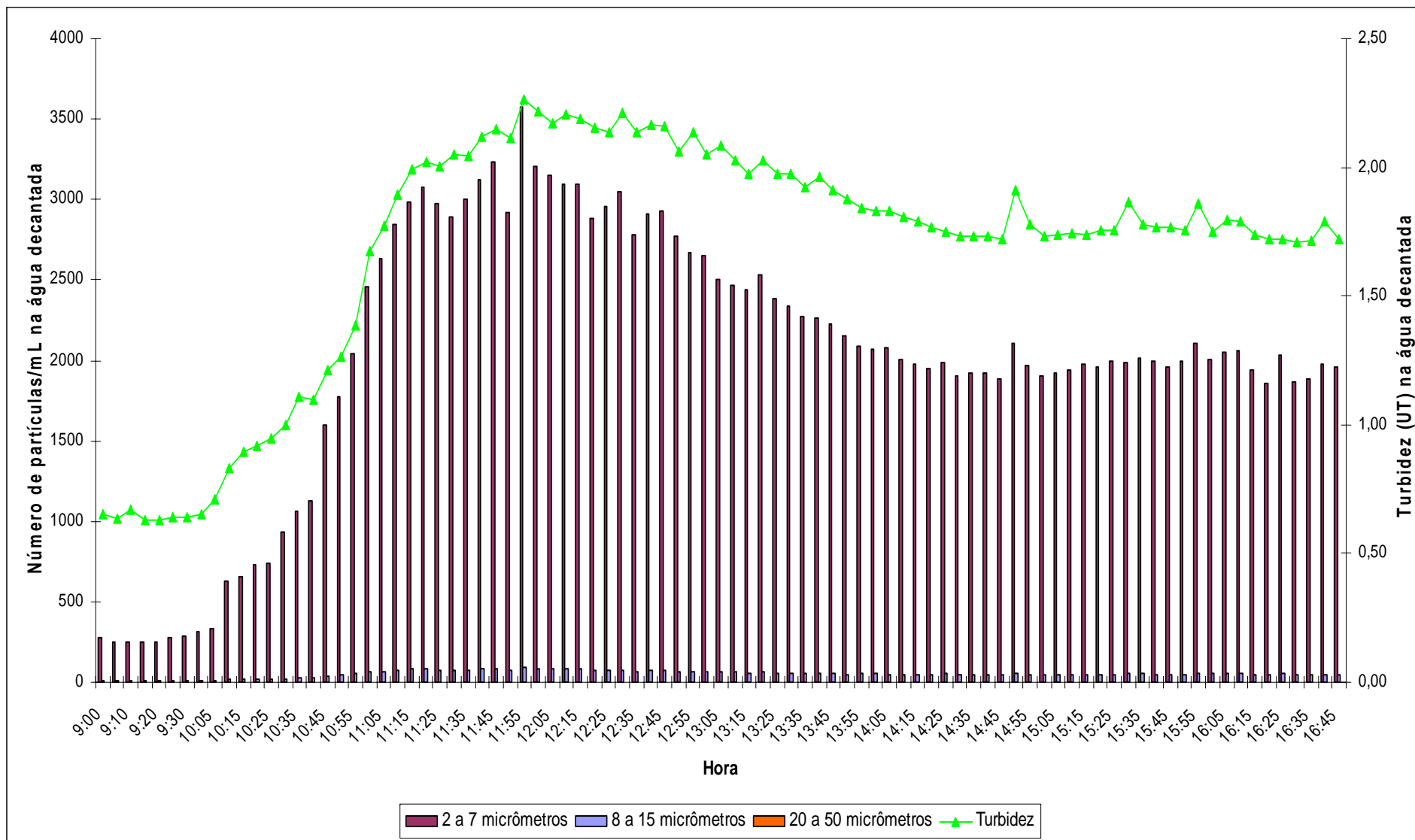


Figura 38 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 3 na ETA piloto

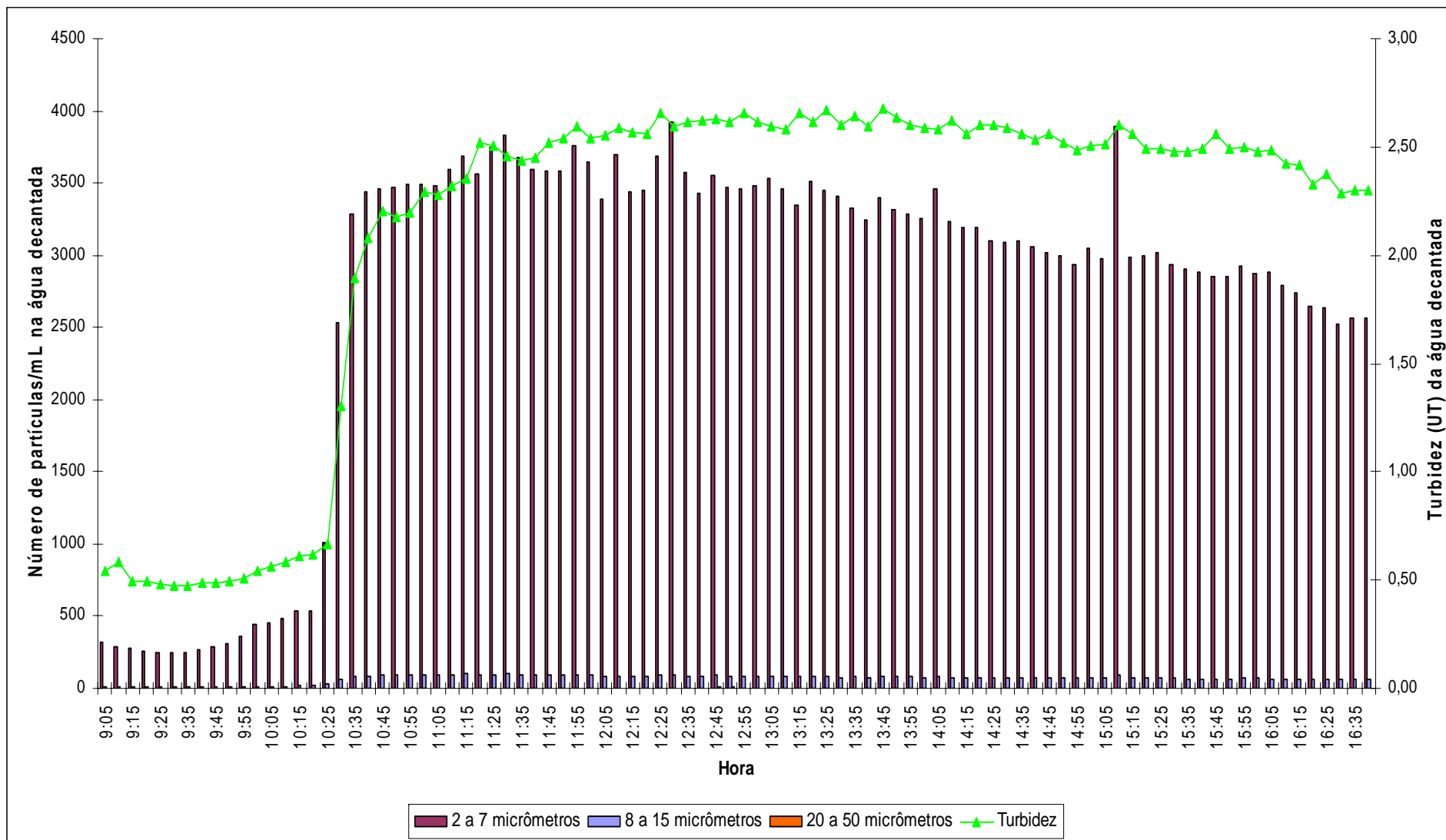


Figura 39 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 4 na ETA piloto

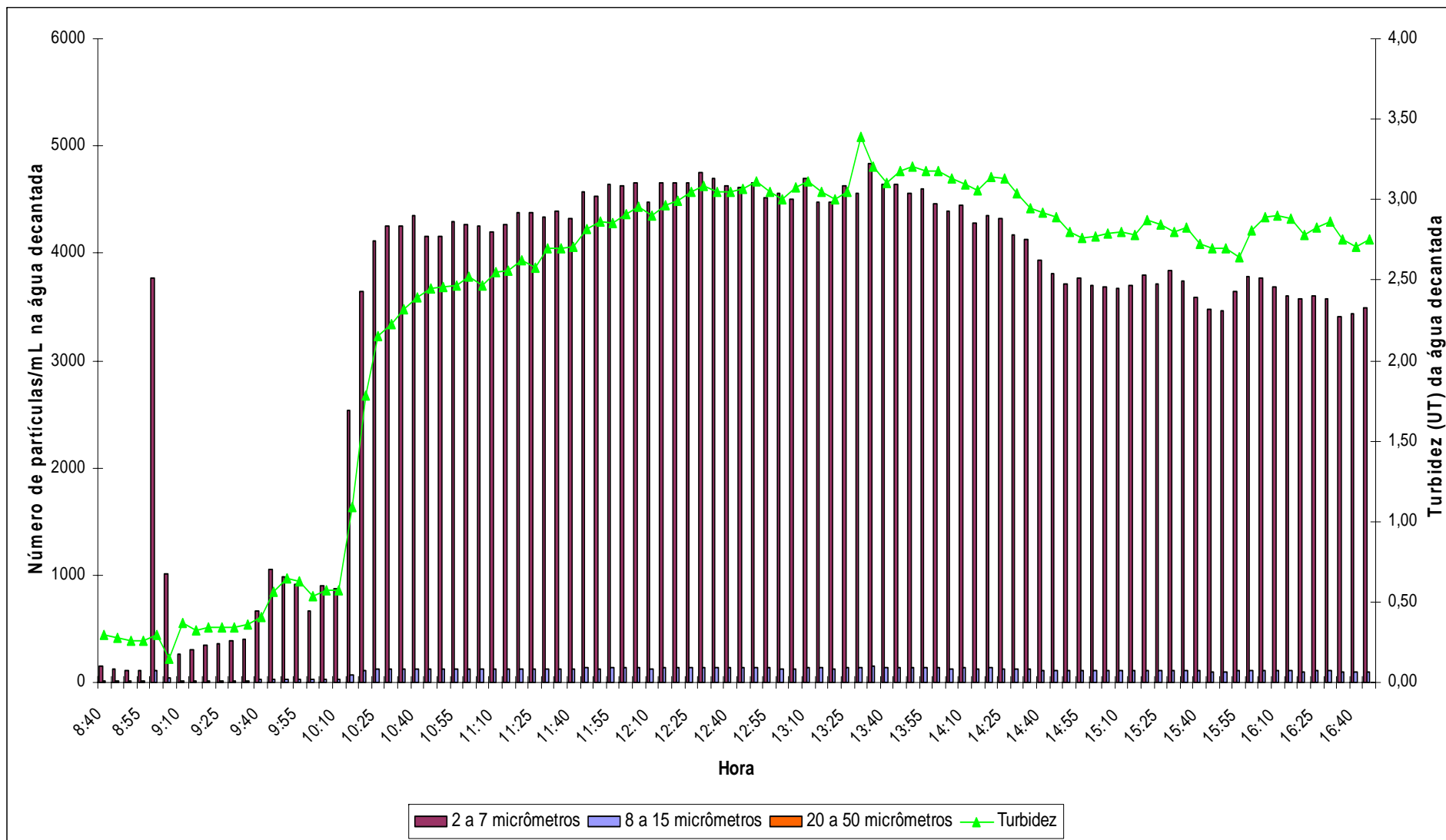


Figura 40 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água, ensaio nº 5 na ETA piloto

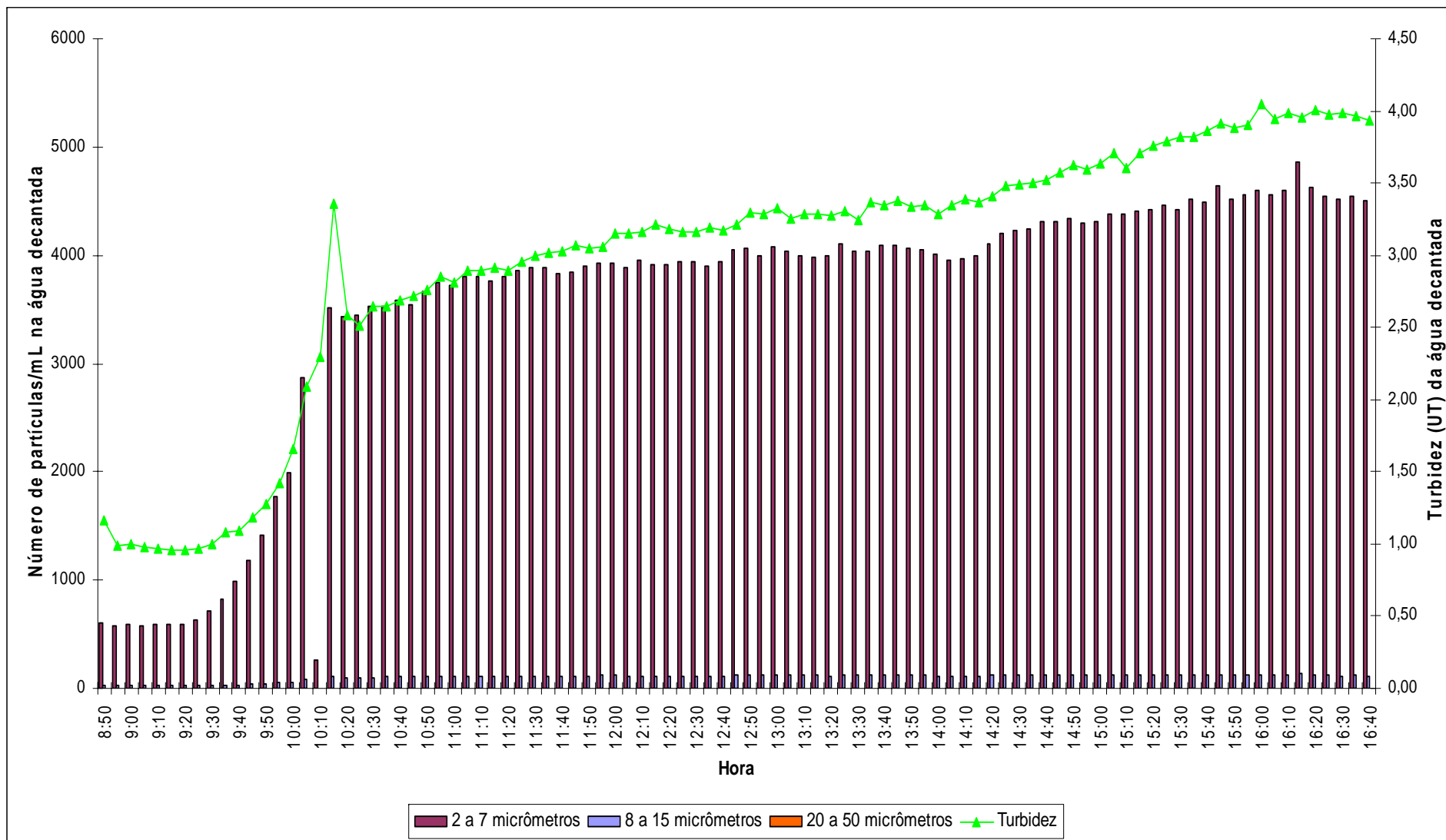


Figura 41 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 6 na ETA piloto

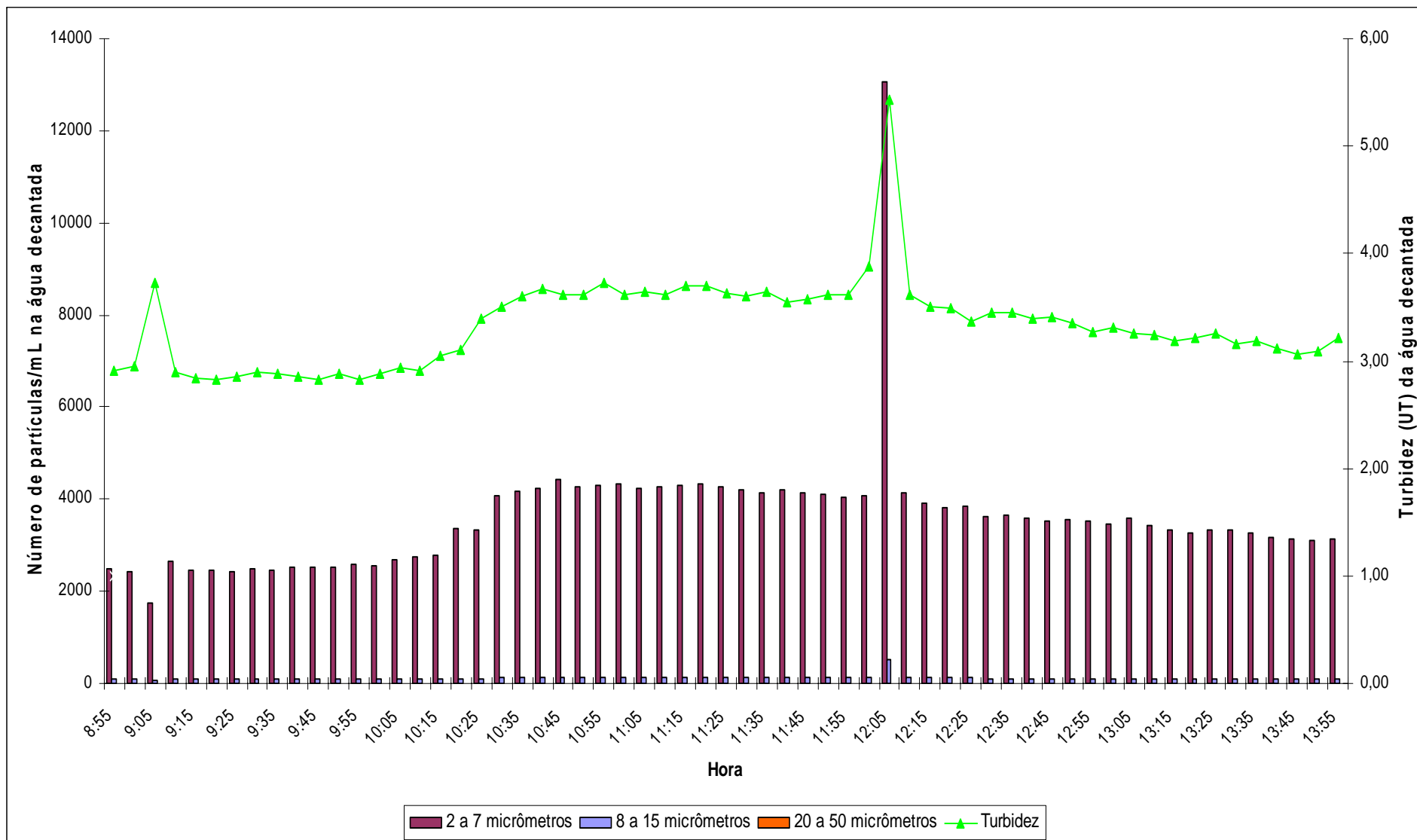


Figura 42 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 7 na ETA piloto

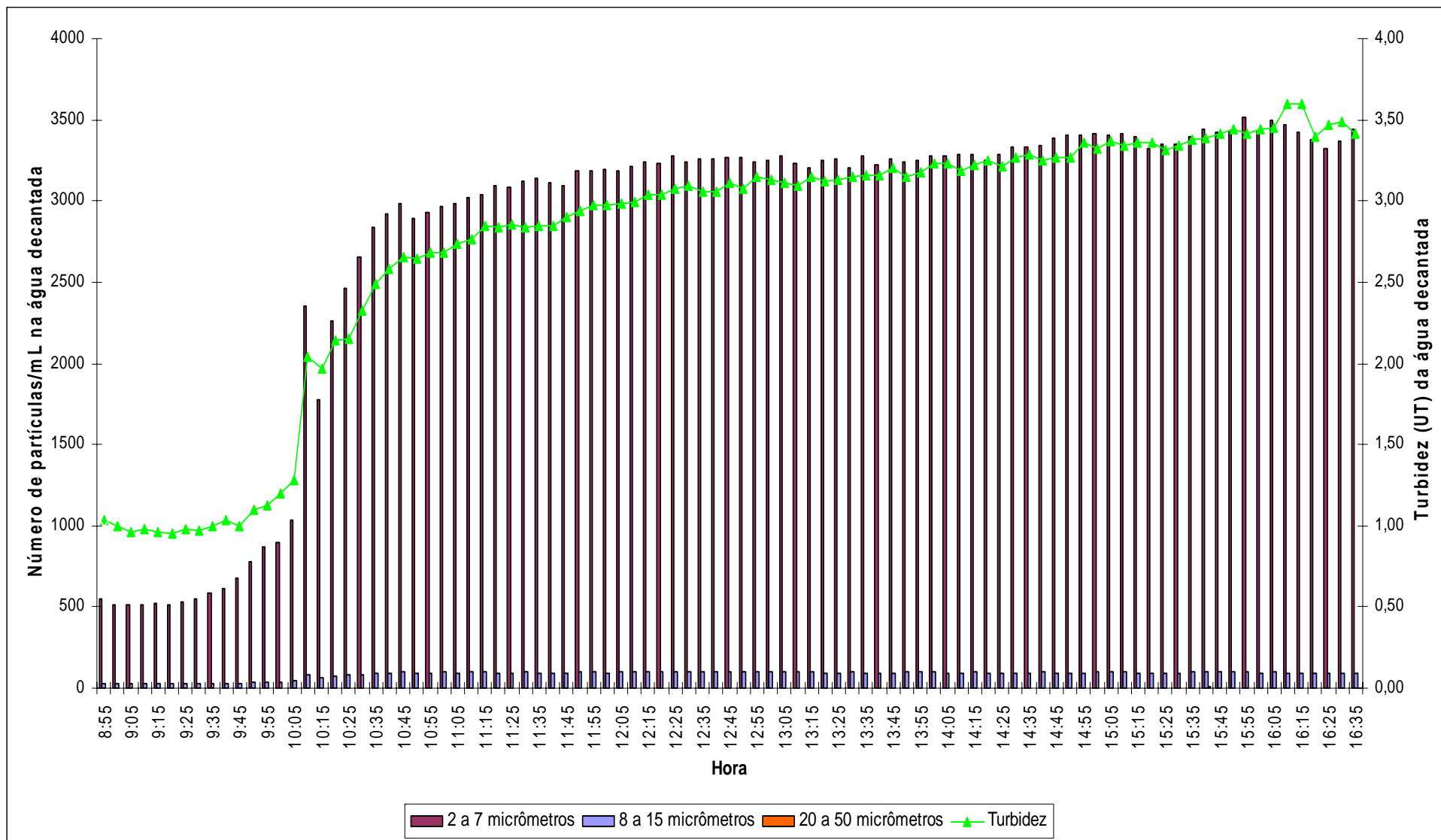


Figura 43 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 8 na ETA piloto

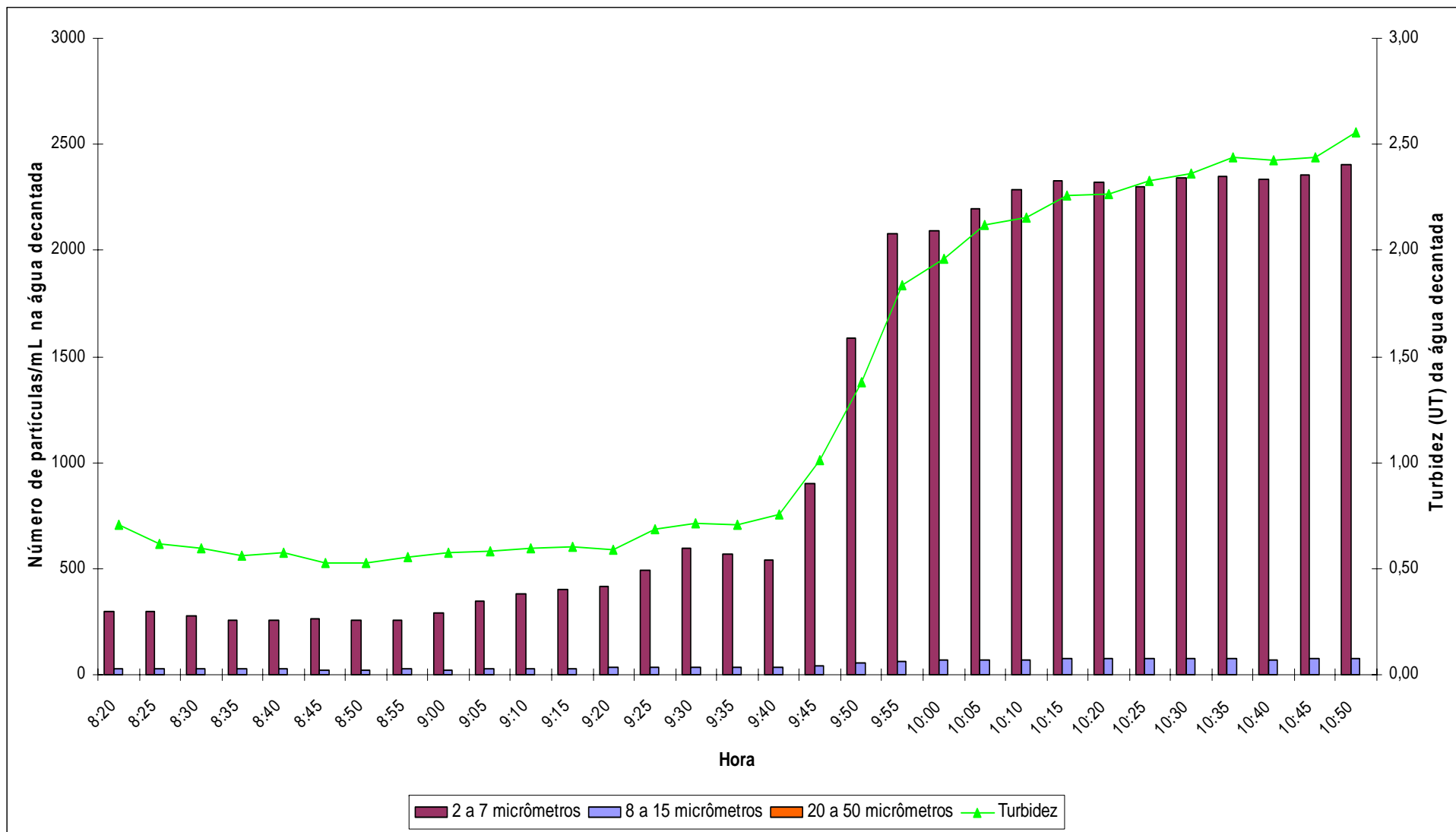


Figura 44 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 9 na ETA piloto

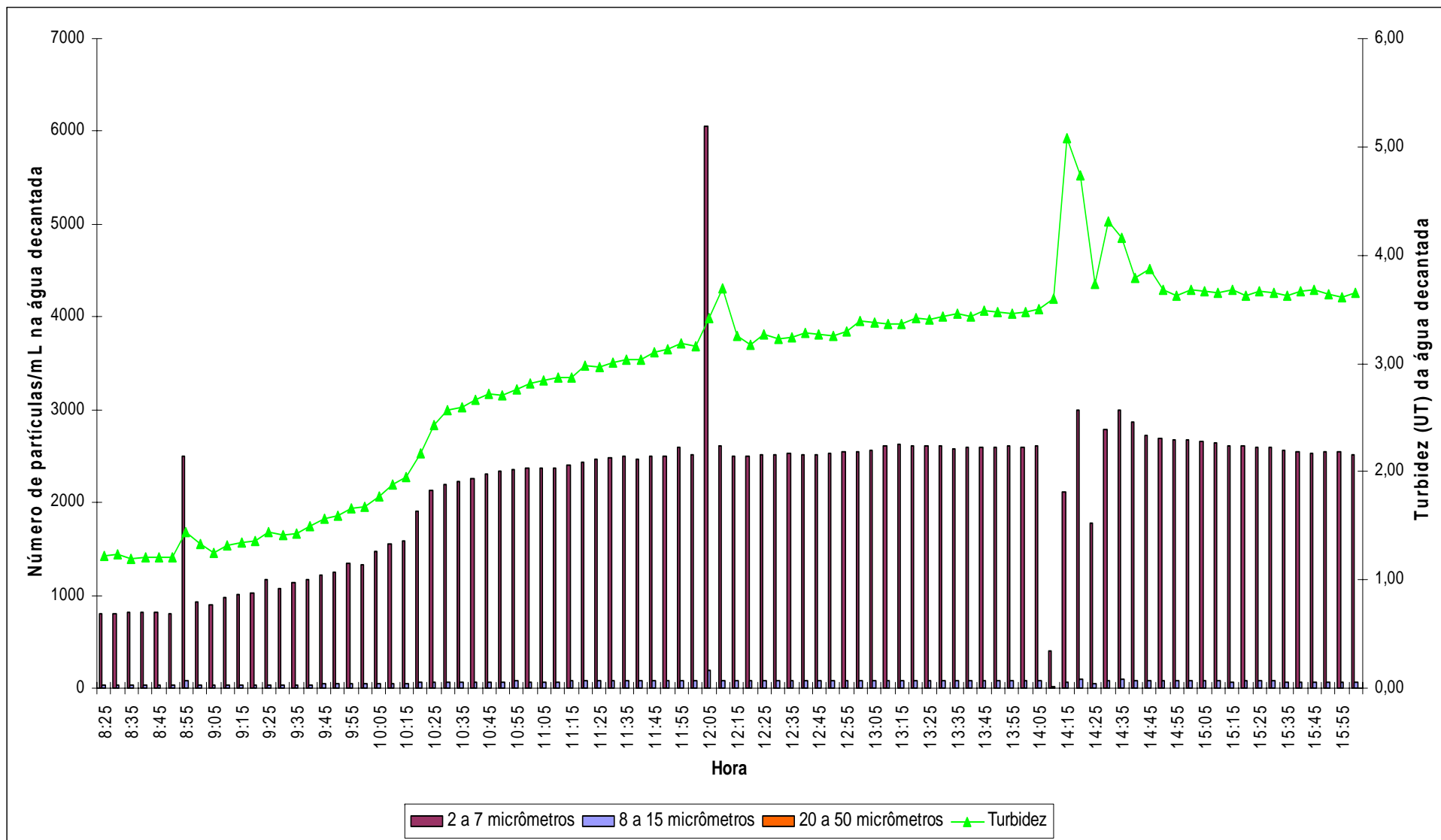


Figura 45 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 10 na ETA piloto

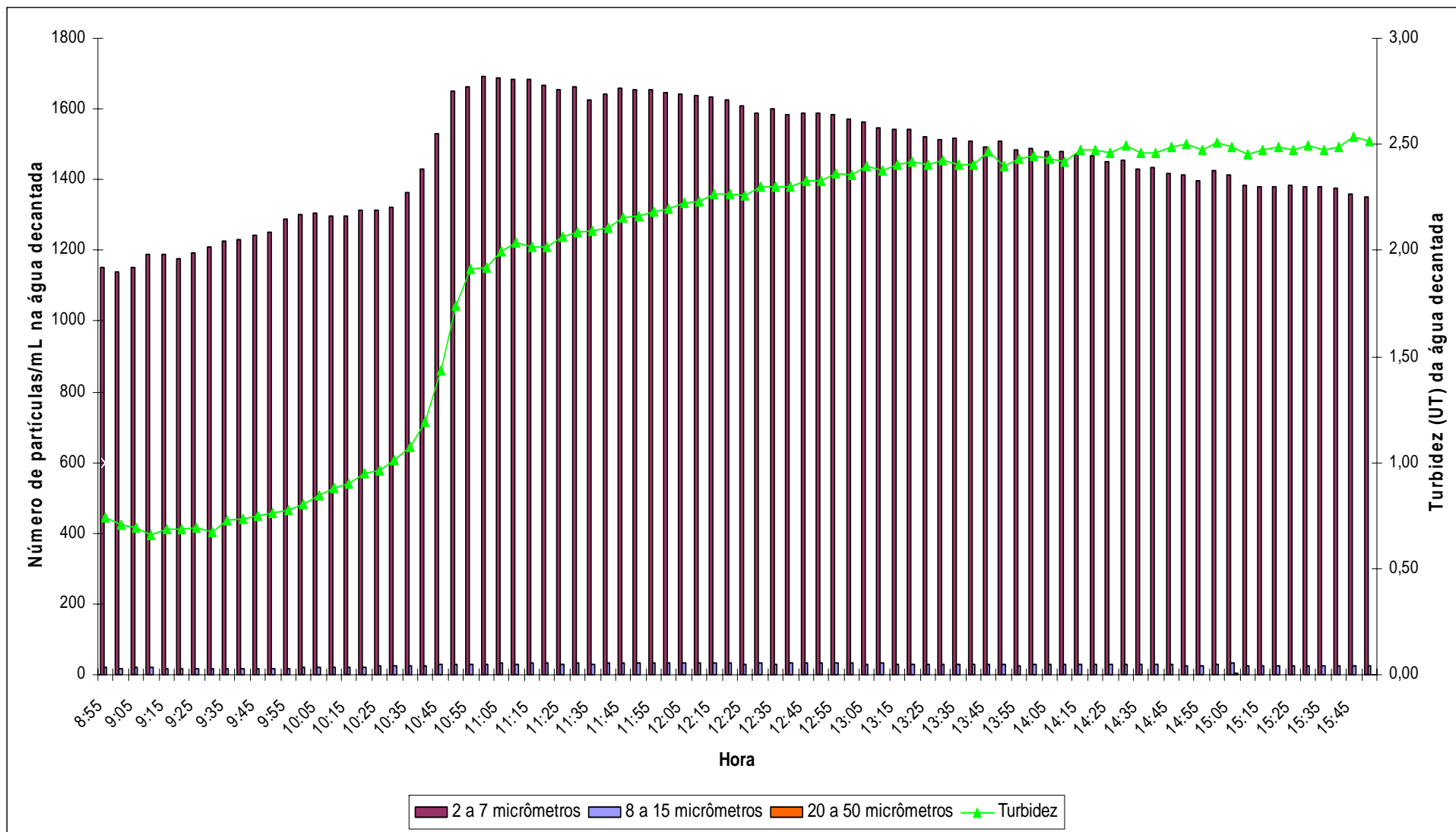


Figura 46 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água decantada, ensaio nº 11 na ETA piloto

5.3. Contagem de partículas e medidas de turbidez na ETA piloto - ensaios de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto.

Nas Figuras 47 a 61 são apresentados os valores de turbidez (água bruta, decantada e filtrada) durante os 15 ensaios de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto.

Observa-se que durante o segundo ensaio (Figura 47) houve variação mais ampla nos valores de turbidez da água bruta, o que se fez sentir na turbidez da água decantada. Não obstante, a etapa da decantação mostrou-se eficiente e sensivelmente estável na remoção de turbidez, bem como a filtração, produzindo efluente filtrado com turbidez < 1UT por quase todo o tempo de operação da ETA piloto.

Nos ensaios 3 e 4 (Figuras 49 e 50), foram observados valores mais elevados de turbidez da água filtrada no início de cada carreira; especula-se que esse comportamento possa ser atribuído ao arraste de partículas ao início da operação da ETA piloto (amadurecimento do filtro), mantida parada por períodos relativamente prolongados. Porém, após a estabilização do valor da turbidez o filtro se mostrou eficiente, não permitindo que essa voltasse a subir.

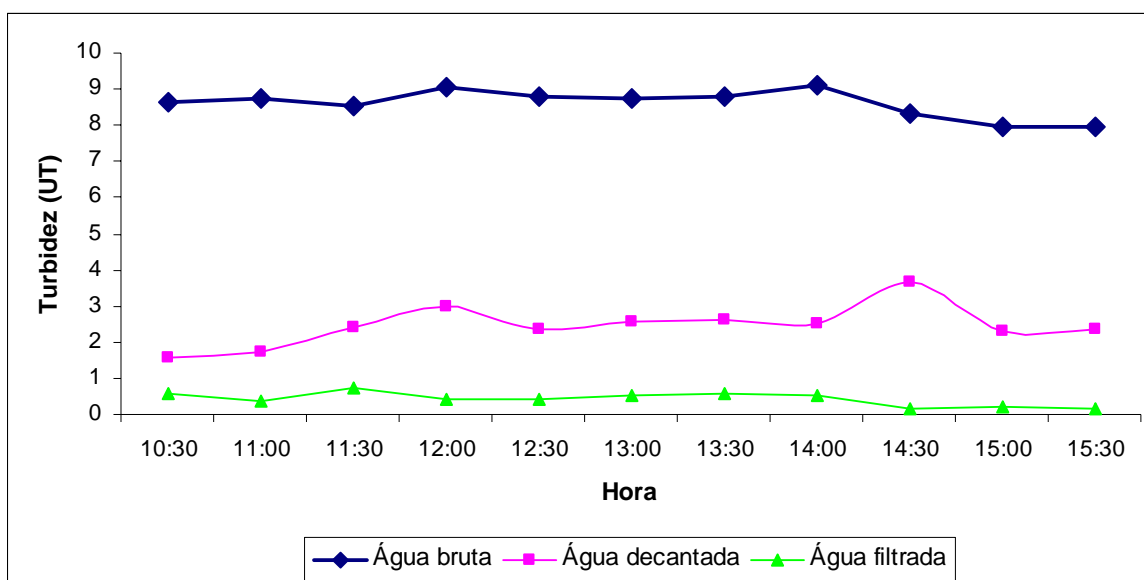


Figura 47 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 1 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

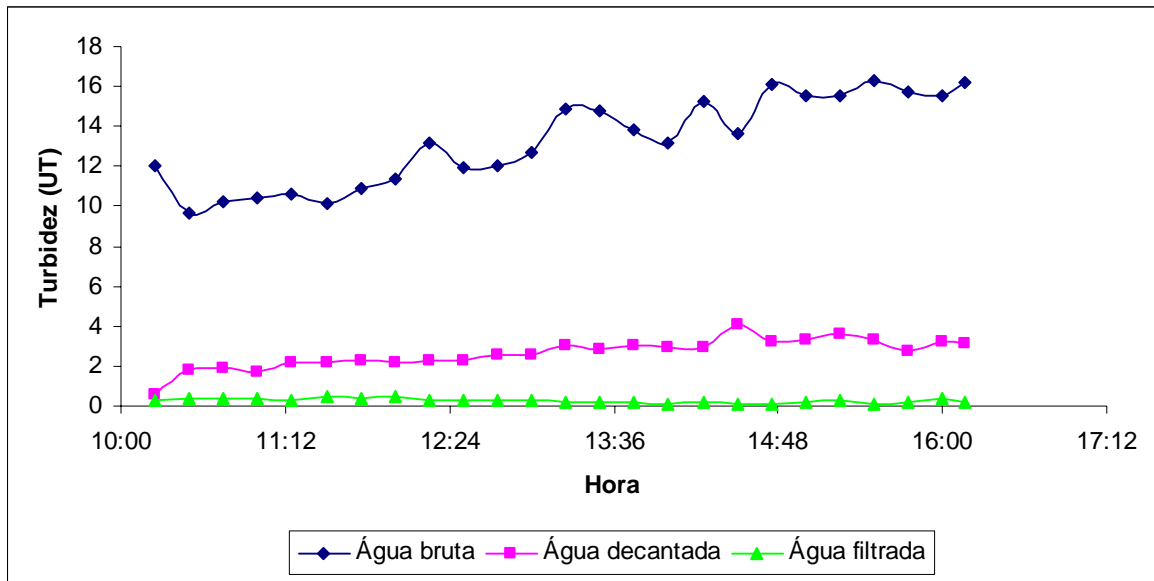


Figura 48 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 2 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

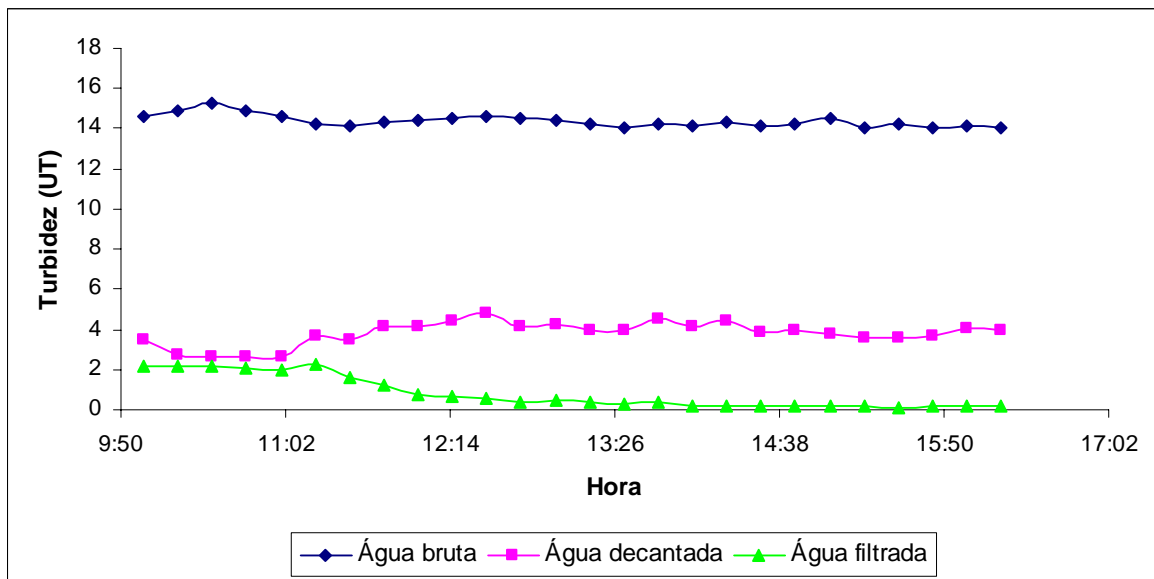


Figura 49 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 3 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

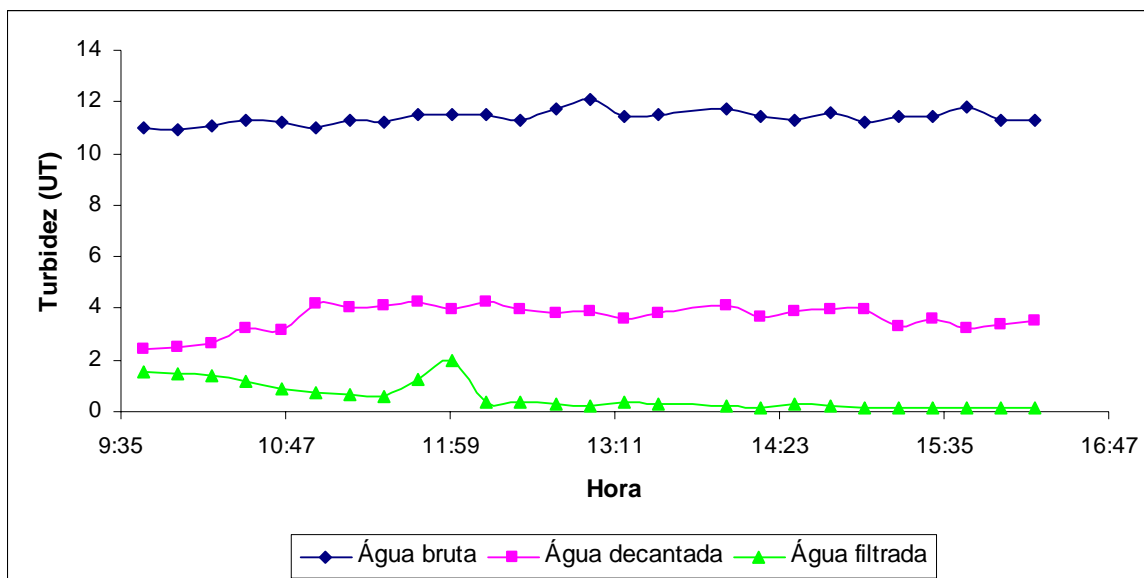


Figura 50 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 4 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

Nos ensaios 5 a 8 (Figuras 51 a 54) a água bruta apresentou valores distintos de turbidez (15-28 UT nos ensaios 5, 6 e 7 e 70-80 UT no ensaio 8). A qualidade da água decantada manteve-se inalterada nos ensaios 5, 6 e 7 (3-10 UT) e sofreu elevação no ensaio 8 (10-20 UT). A etapa da filtração mostrou-se eficiente e relativamente estável na remoção de turbidez, produzindo efluente filtrado com turbidez < 0,3 UT, por quase todo o tempo de operação. No ensaio 8 (Figura 54), observam-se valores mais elevados de turbidez da água filtrada no início da carreira, o que pode ser efeito da água decantada, a qual apresentou turbidez um pouco elevada em relação aos outros ensaios.

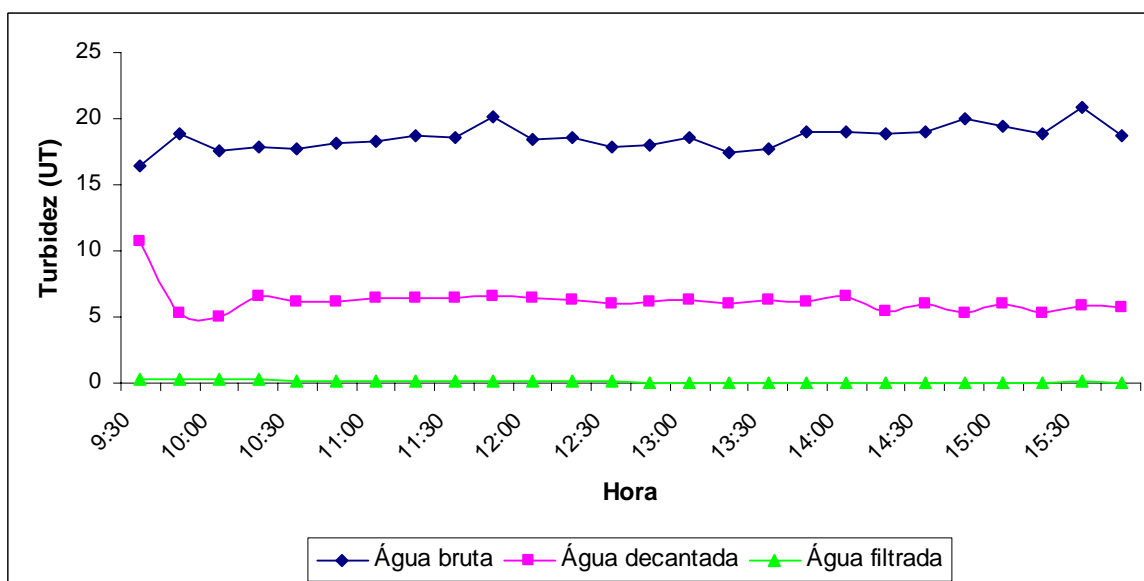


Figura 51 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 5 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

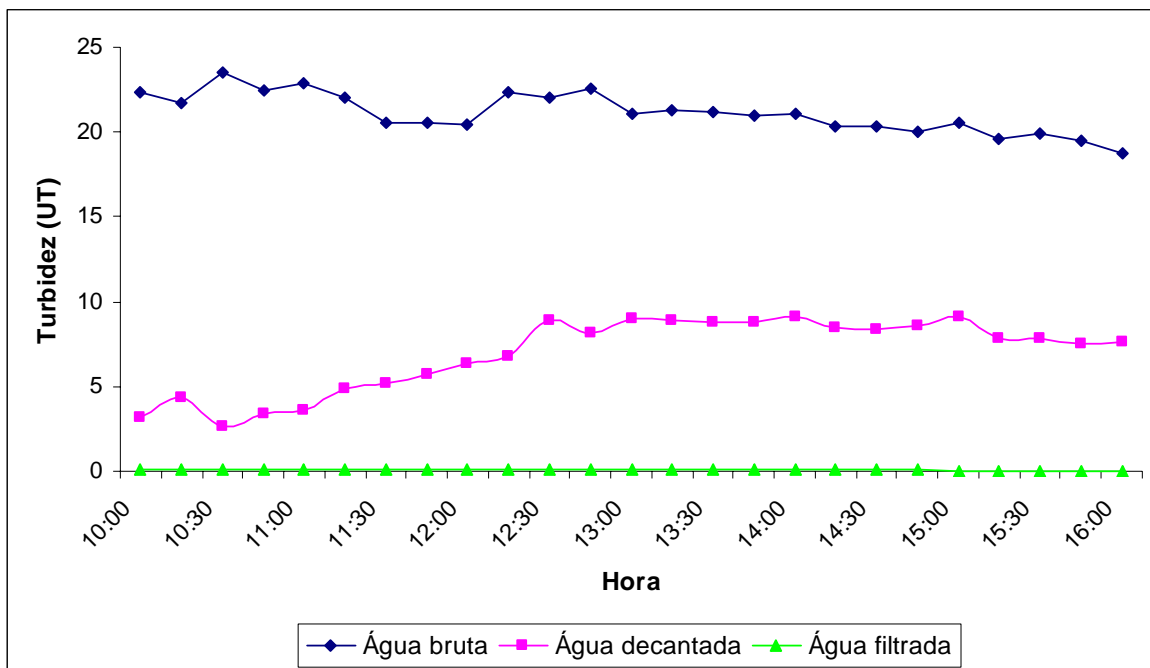


Figura 52 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 6 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

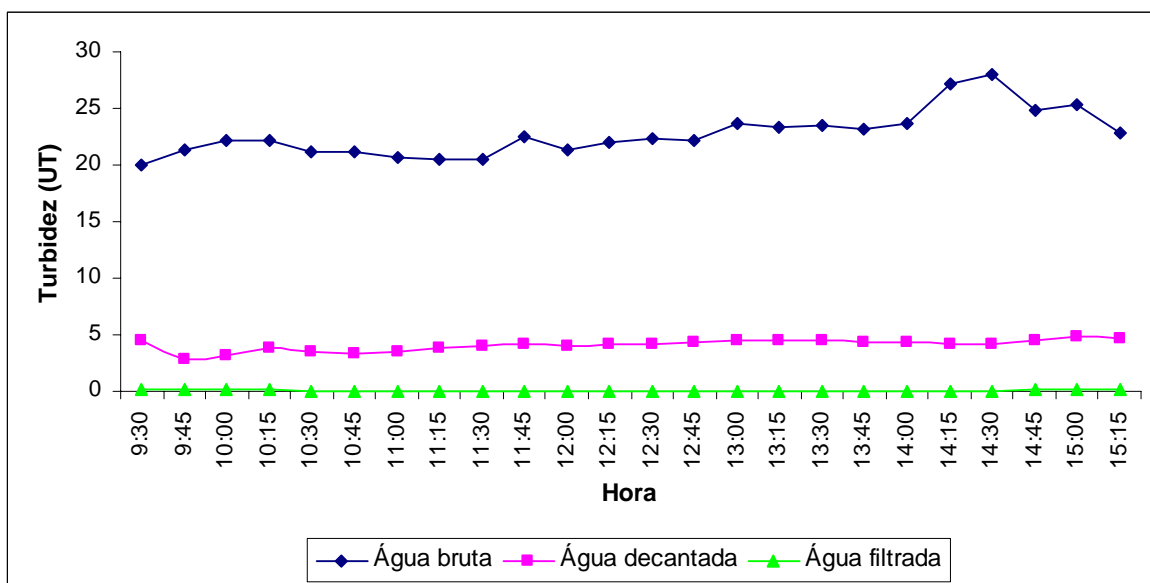


Figura 53 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 7 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

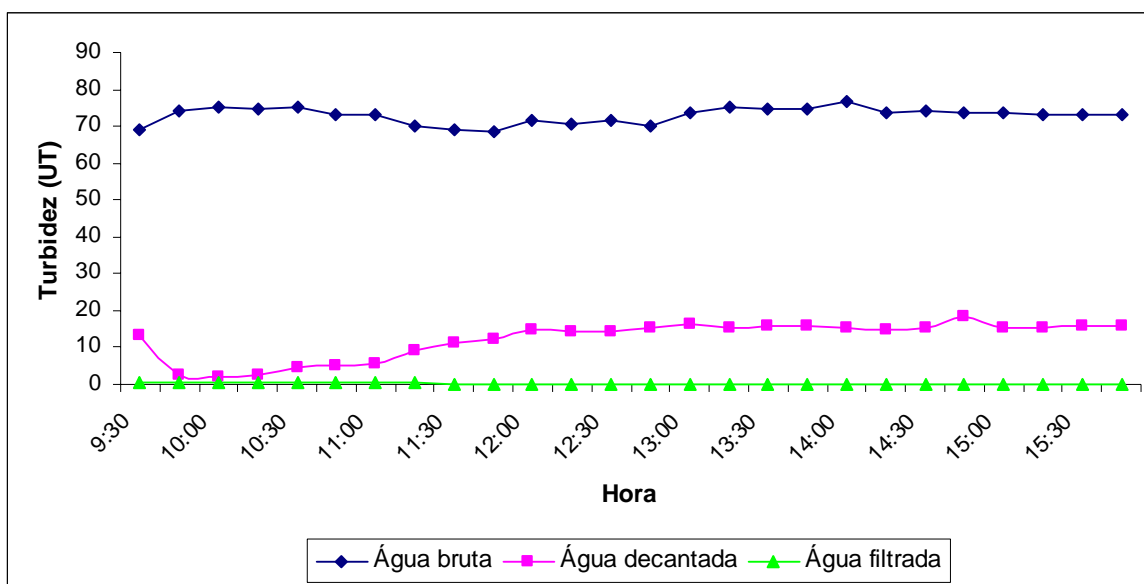


Figura 54 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 8 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

Nas Figuras 55 a 57 estão representados os valores de turbidez dos ensaios 9, 10 e 11. Nestes ensaios verificamos que o tratamento da água foi ineficiente, visto que mesmo a turbidez da água bruta estando baixa (3 - 10uT), a etapa da decantação não conseguiu produzir efluente de boa qualidade e a turbidez da água filtrada manteve-se acima de 1 uT por quase todo o tempo. Em alguns momentos podemos notar que a turbidez do efluente filtrado chegou a valores superiores a 4 uT.

Somente após três ensaios detectamos que o ocorrido foi devido a erro no preparo da solução de sulfato de alumínio, o qual estava sendo dosado com concentração bem inferior à utilizada normalmente (1%). O mesmo foi substituído imediatamente e já no final do ensaio 11 os resultados de turbidez (água decantada e filtrada) começaram a registrar queda.

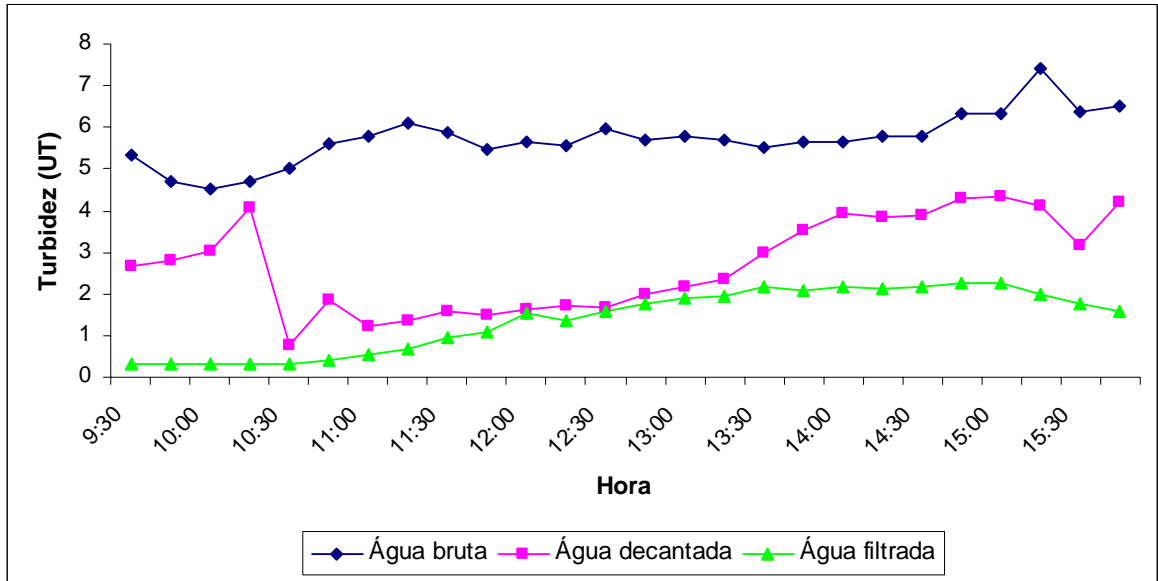


Figura 55 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 9 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

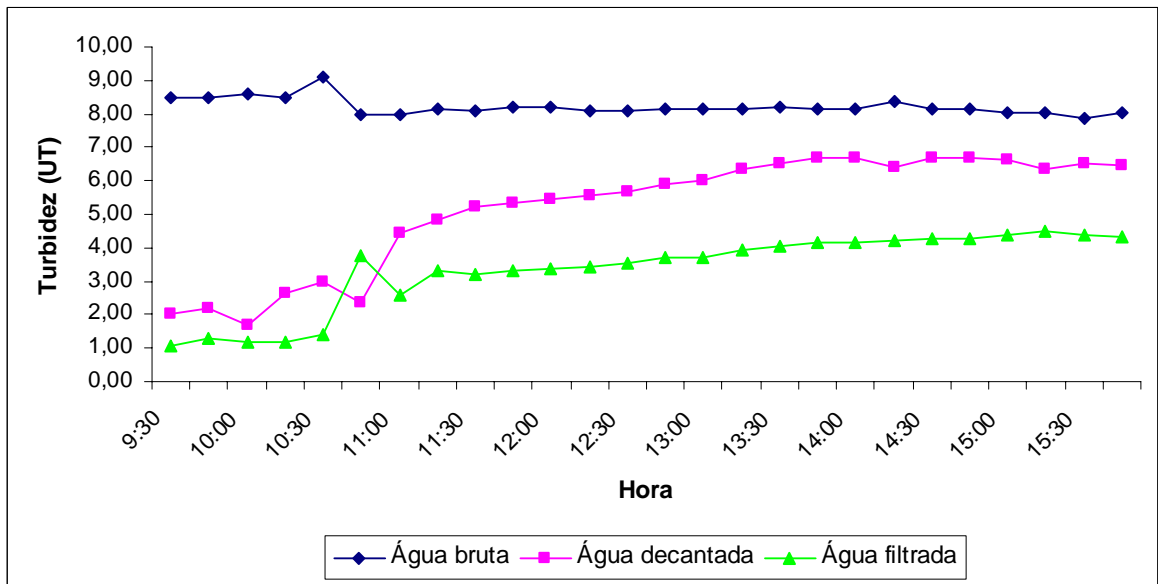


Figura 56 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 10 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

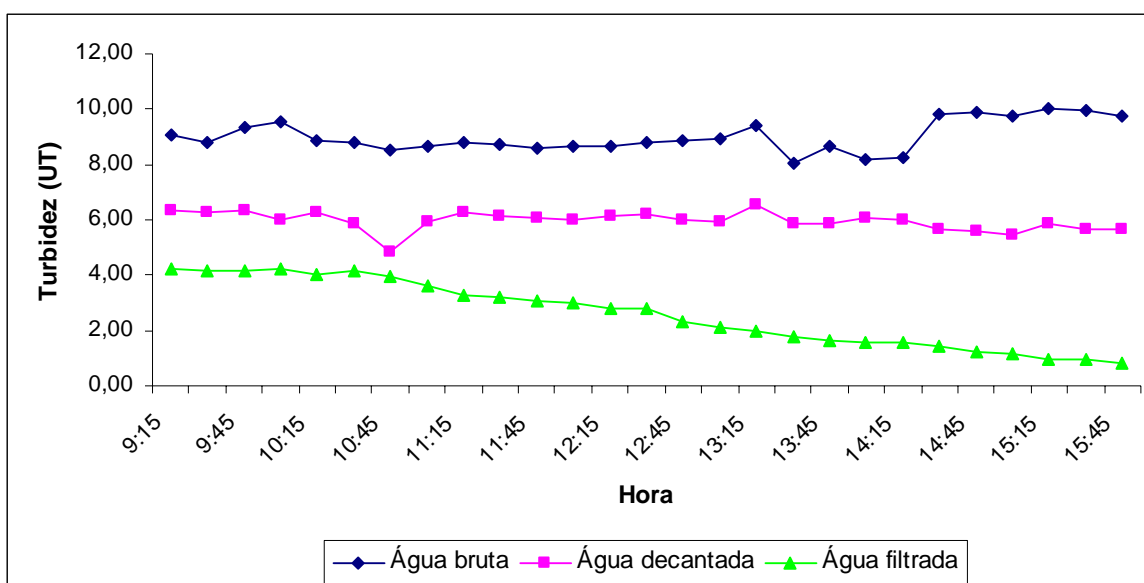


Figura 57 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, durante o ensaio 11 de inoculação de *Cryptosporidium* na ETA piloto

Os resultados dos últimos 4 ensaios estão apresentados nas Figuras 58 a 61. Observamos que a água bruta apresentou valores de turbidez com poucas variações (4,8-8,0 uT). A qualidade da água decantada apresentou-se bem variável durante os ensaios, com valores de 1,0 a 5,0 uT. Mesmo assim, com um controle rigoroso da dosagem de coagulante após os incidentes mencionados anteriormente, a etapa da filtração mostrou-se eficiente e relativamente estável na remoção de turbidez, produzindo efluente filtrado com turbidez < 1,0 uT, por quase todo o tempo de operação da ETA piloto.

Na Figura 58 (ensaio 12), foram observados valores mais elevados de turbidez da água filtrada (< 1,0 uT), o que pode ser efeito da qualidade da água decantada, que apresentou turbidez um pouco elevada durante o final do ensaio. Esse fato se repetiu durante o final do ensaio 14 (Figura 60), porém a turbidez da água filtrada manteve-se abaixo de 1,0 uT.

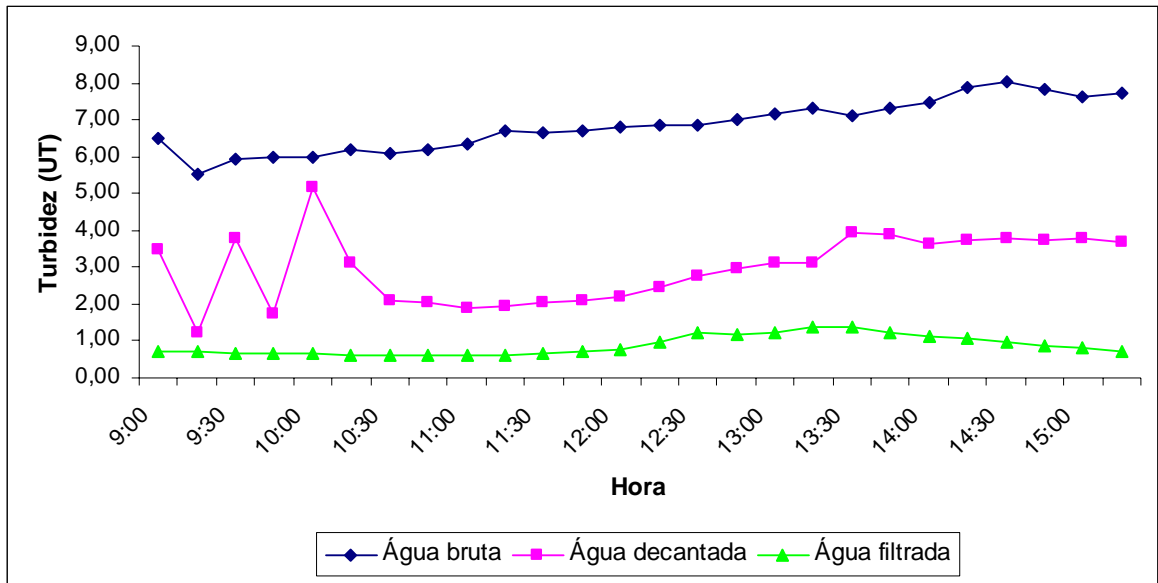


Figura 58 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 12 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

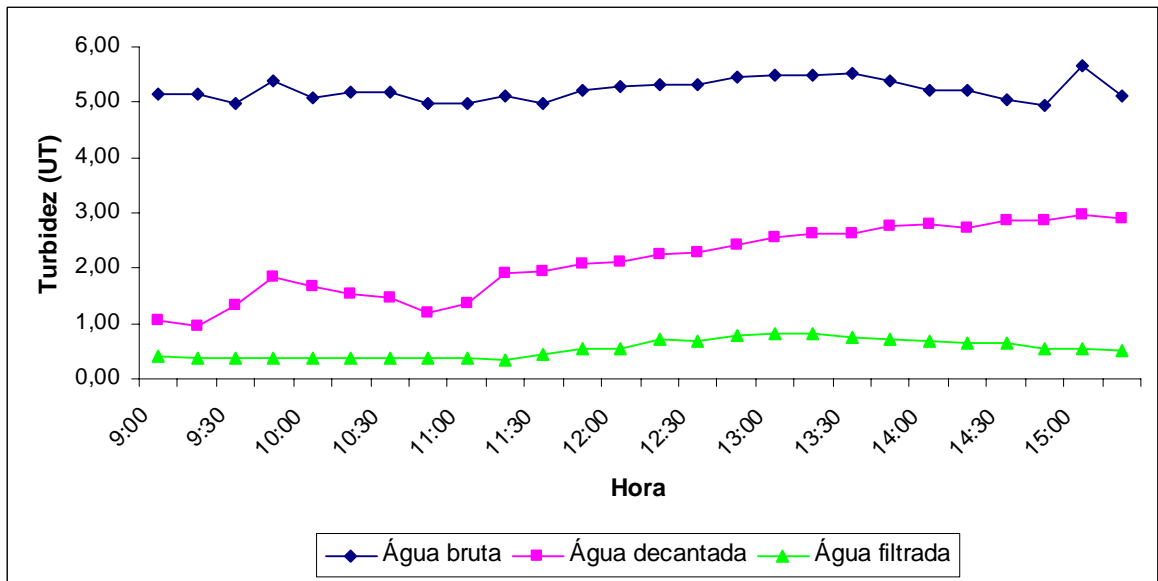


Figura 59 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 13 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

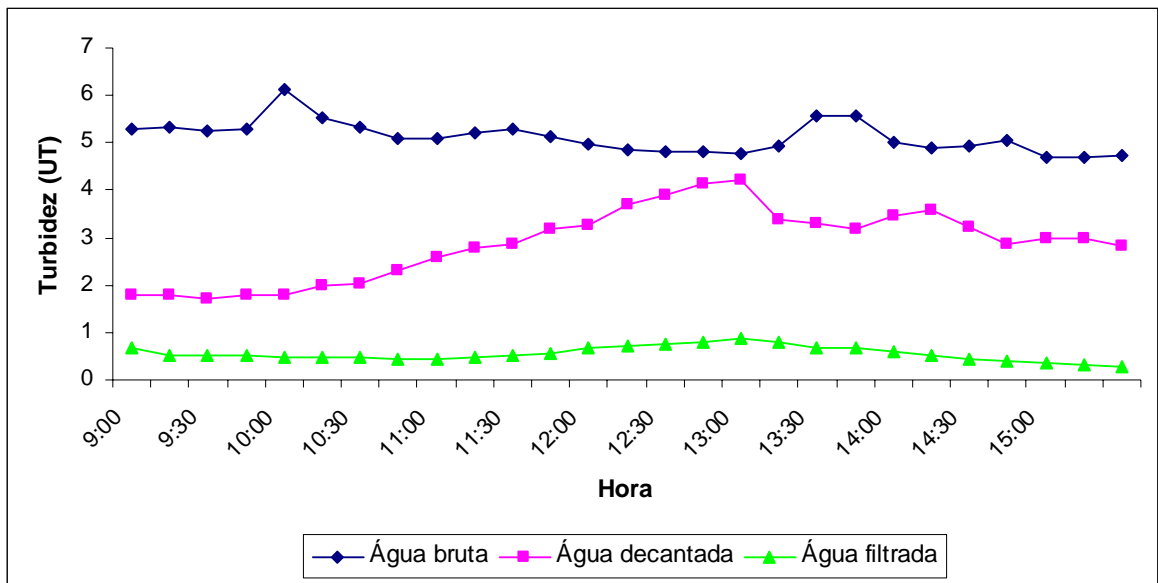


Figura 60 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 14 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

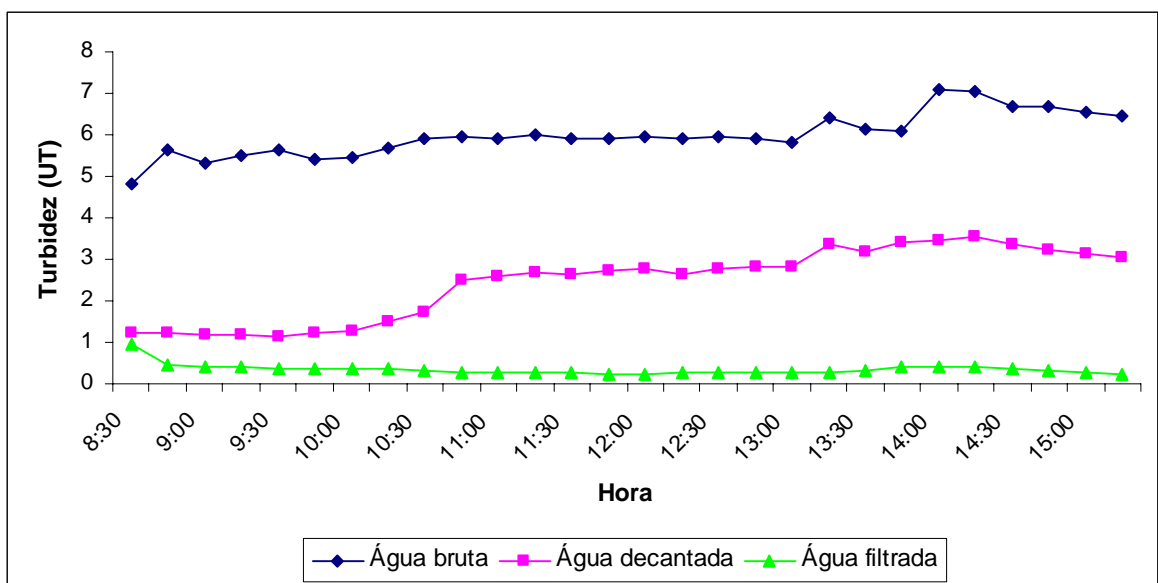


Figura 61 - Turbidez da água bruta, decantada e filtrada, ensaio 15 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

Nas Figuras 62 a 65, encontram-se os valores de turbidez e contagem do número de partículas (nas faixas de 2 a 7 μ m, 8 a 15 μ m e 20 a 50 μ m) na água filtrada, nos ensaios 1 a 4. Nessas figuras podemos observar picos de contagem de partículas (2 - 7 μ m) e

conseqüente elevação de turbidez em tempos irregulares em cada carreira de filtração. Tais picos, como comentado anteriormente, podem ser devidos à passagem de partículas carregadas pelo sistema após este ter sido posto em funcionamento; essa parece uma explicação plausível pelo fato do tempo de detenção hidráulica da ETA piloto ser um tempo bem superior ao apresentado pelos picos.

Salvos os referidos picos, em geral, a turbidez e a contagem de partículas na água filtrada obedecem ao padrão esperado ao longo de carreiras de filtração: valores mais elevados no início da carreira, seguidos de queda relativamente rápida e estabilização em valores baixos.

Em geral, observa-se a predominância na água filtrada de partículas de 2-7 μm e, em seguida, de 8-15 μm , sendo a primeira faixa correspondente ao tamanho típico de oocistos de *Cryptosporidium* e a segunda de cistos de *Giardia*. Mais nitidamente nos dois primeiros ensaios, a remoção de turbidez parece estar relacionada à remoção mais intensa de partículas de 2-7 μm ao longo da carreira.

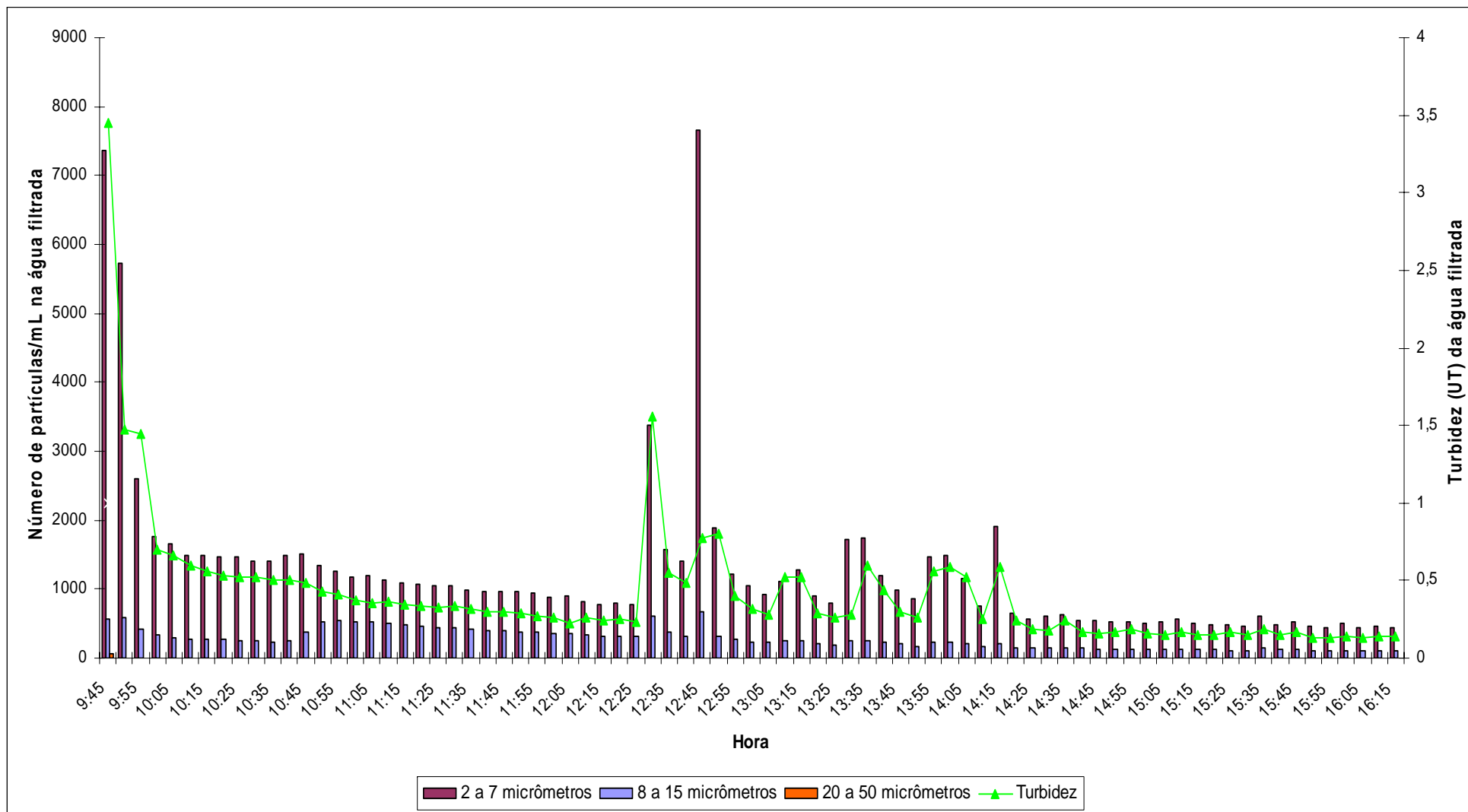


Figura 62 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 1 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

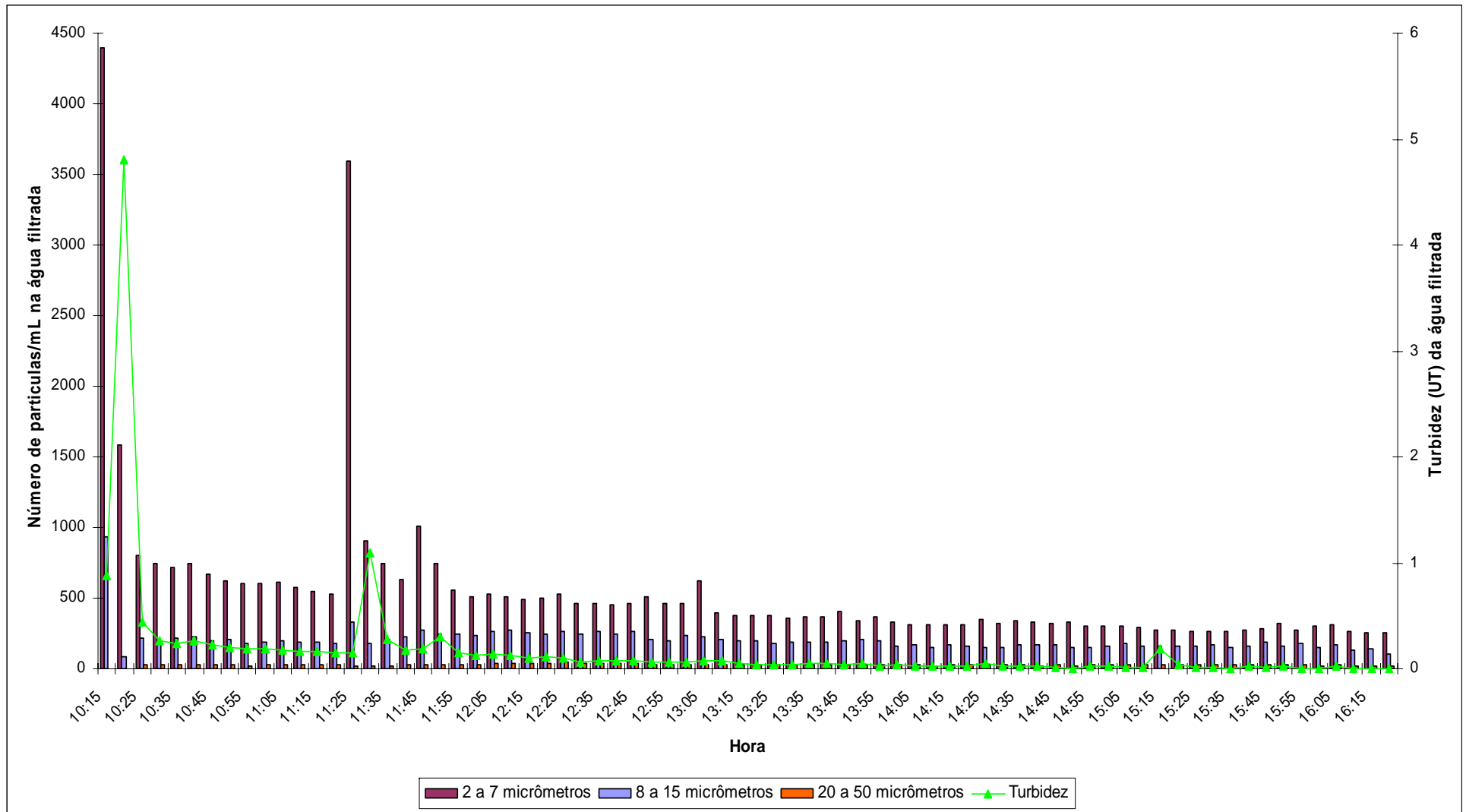


Figura 63 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 2 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

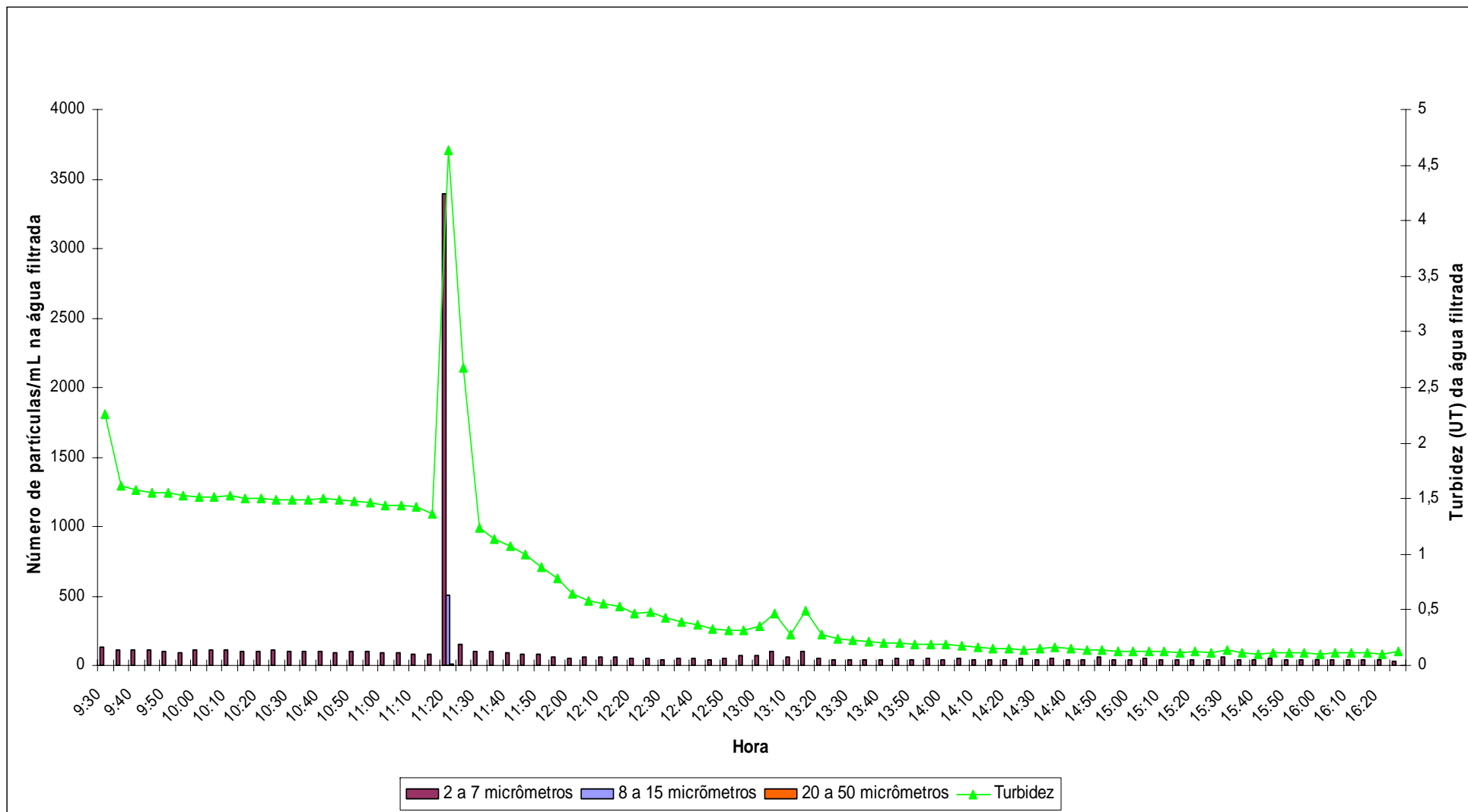


Figura 64 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 3 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

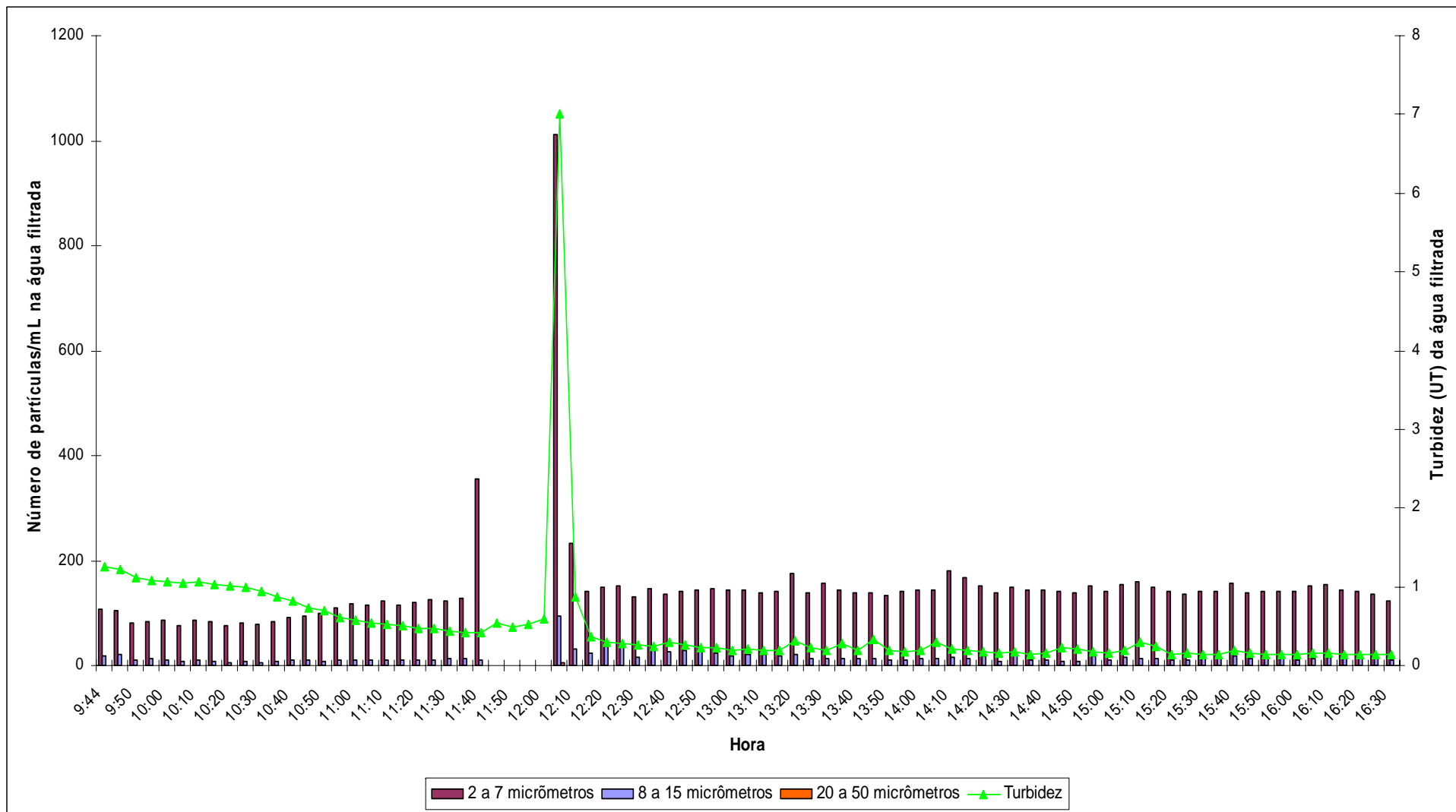


Figura 65 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 4 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

Nas Figuras 66 a 69, são apresentados os valores de turbidez e contagem do número de partículas (nas faixas de 2 a 7 μ m, 8 a 15 μ m e 20 a 50 μ m) na água filtrada obtida nos ensaios 5 a 8. No ensaio 9 de inoculação não foi gerado relatório de tamanho de partículas devido a uma falha na configuração do computador que recebe os sinais enviados pelo contador de partículas.

Observam-se picos de contagem de partículas (2 a 7 μ m) nos ensaios 5 (Figura 66) e 7 (Figura 67). Isso poderia ser creditado ao fenômeno de transpasse, já que os picos ocorreram ao final das carreiras de filtração. Contudo, apesar da alta contagem de partículas (2 a 7 μ m), a turbidez do efluente filtrado manteve-se inalterada.

Reforça-se aqui que, em geral, observa-se predominância na água filtrada de partículas de 2-7 μ m e, em seguida, de 8-15 μ m, reunido-se sugestões que a remoção de turbidez parece estar relacionada à remoção mais intensa de partículas de 2-7 μ m. Contudo, Gregory (1998) e Glasgow & Wheatley (2001) comentam que medidas de turbidez não são sensíveis para partículas na faixa de tamanho de oocistos de *Cryptosporidium* (4-6 μ m). Por outro lado, como registrado na revisão de literatura, O'Leary et al. (2003), em estudos em ETAs em escala real, relatam, cerca de uma hora após a retrolavagem, valores de turbidez de 0,1 UNT e 2 log de remoção de partículas, relacionada, preponderantemente, a partículas em faixas de tamanho de 2-5 μ m e 5-10 μ m. Lage Filho (2003), citando (WEST et al., 1994), também registra correlação elevada em amostras com baixa turbidez (1 \pm 0,7 UNT) e tamanho de partículas de 4 - 10 μ m e 5 - 15 μ m.

Nas Figuras 70 a 75 estão representados os resultados referentes aos ensaios 10 a 15. Apesar dos valores mais elevados de turbidez nos ensaios 10 e 11 (Figuras 70 e 71), mais uma vez constatamos que a turbidez parece estar associada à presença de partículas entre 2 e 7 μ m, visto que, mesmo com variação de turbidez, o número de partículas na faixa de 8-15 μ m permaneceu praticamente inalterado.

No ensaio 11 (Figura 71), os valores nulos de contagem de partículas foram devidos a falha momentânea no fornecimento de energia elétrica no campus da UFV. Os ensaios posteriores não apresentaram comportamento que já não tenham sido contentados anteriormente. Os valores de turbidez acima de 1 uT são, provavelmente, devidos ao trespasse, pois sempre aconteceram ao final do ensaio.

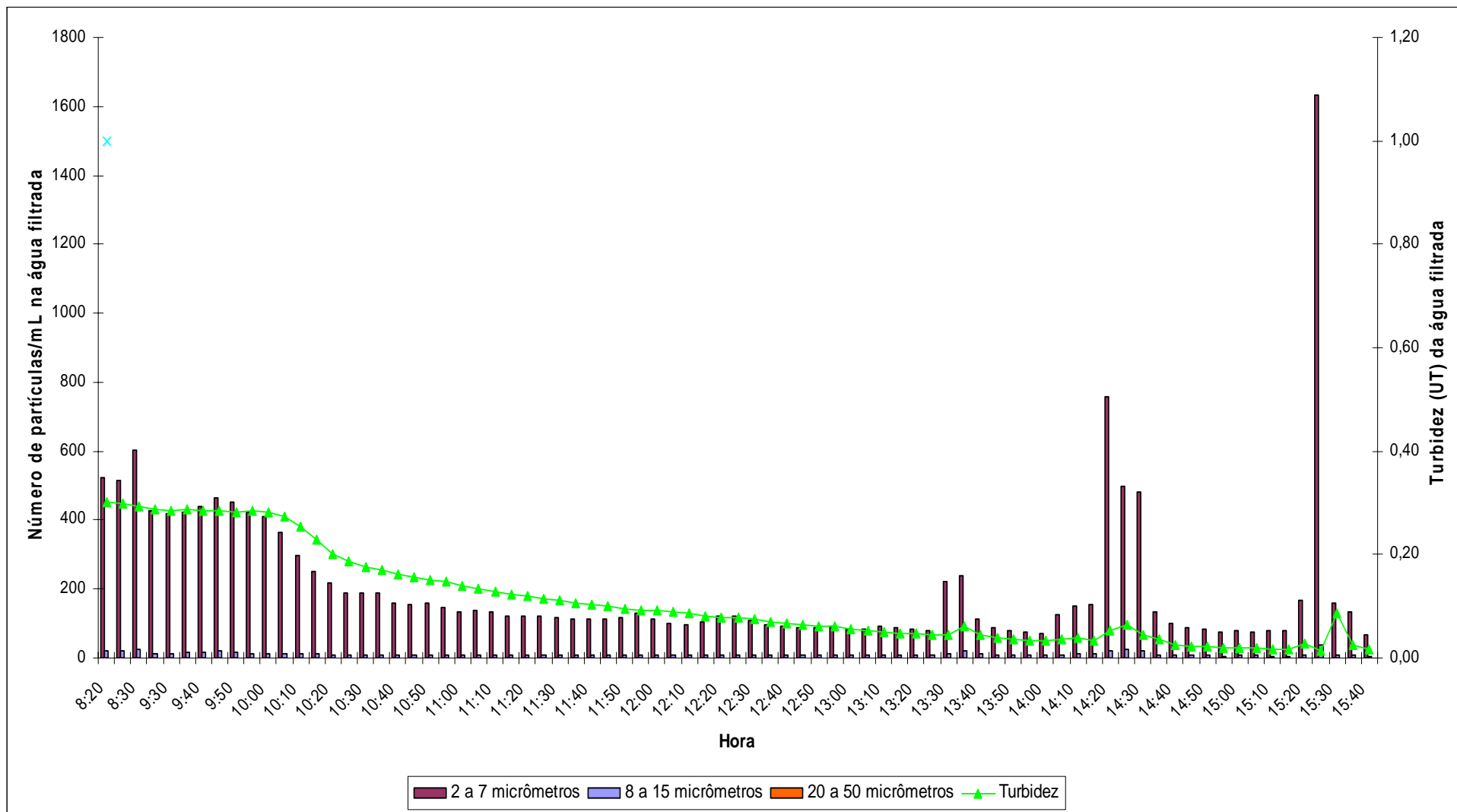


Figura 66 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 5 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

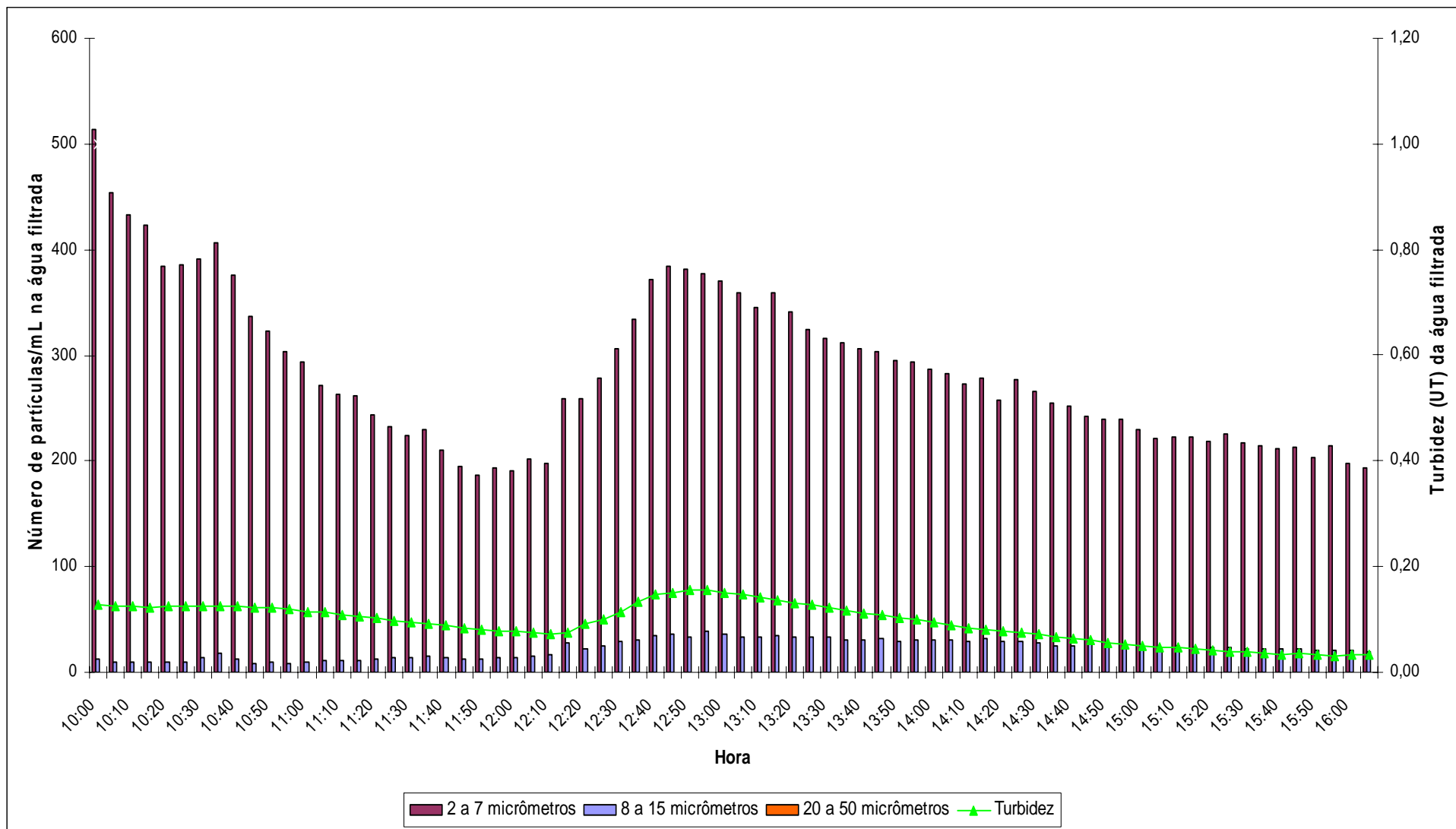


Figura 67 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 6 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

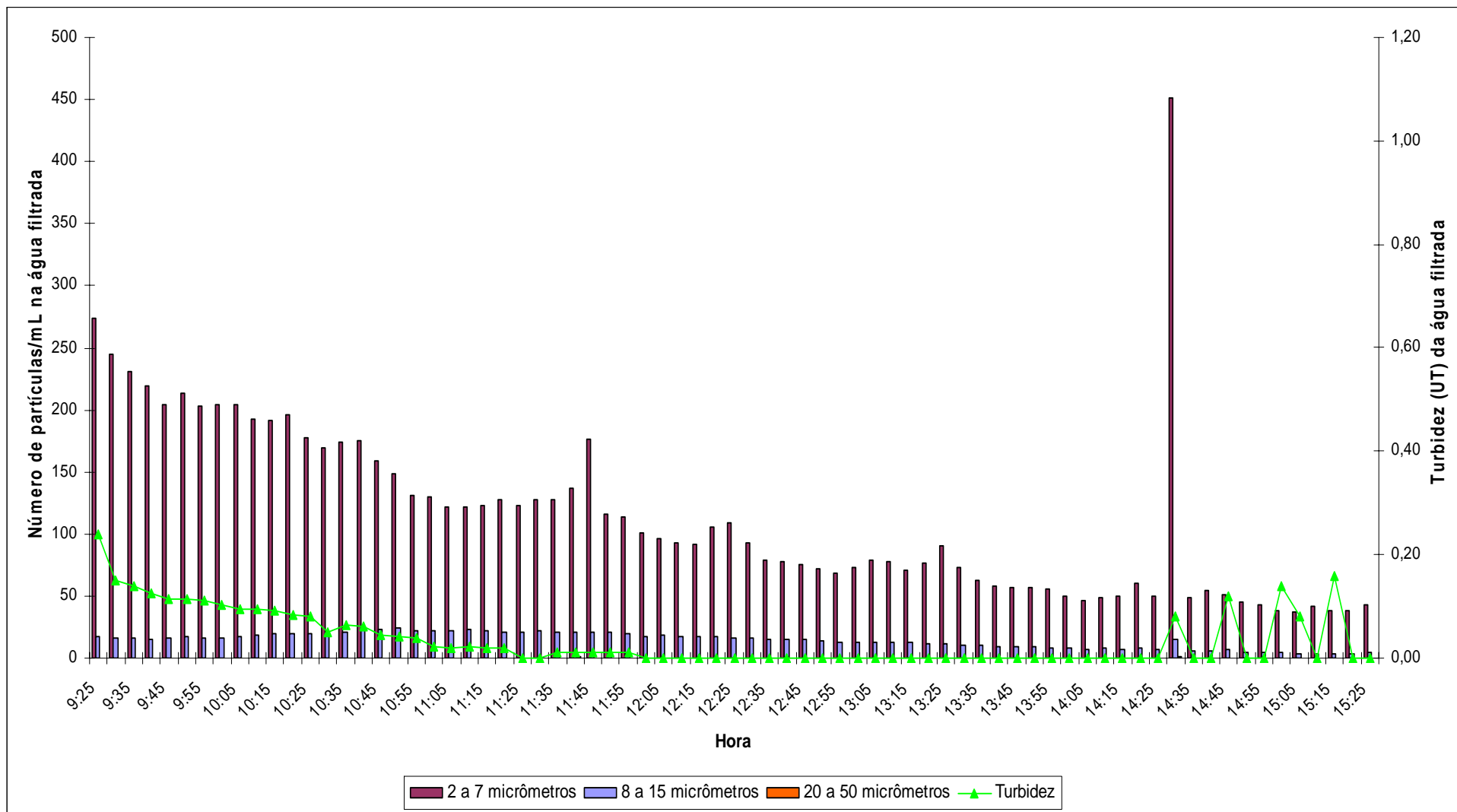


Figura 68 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 7 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

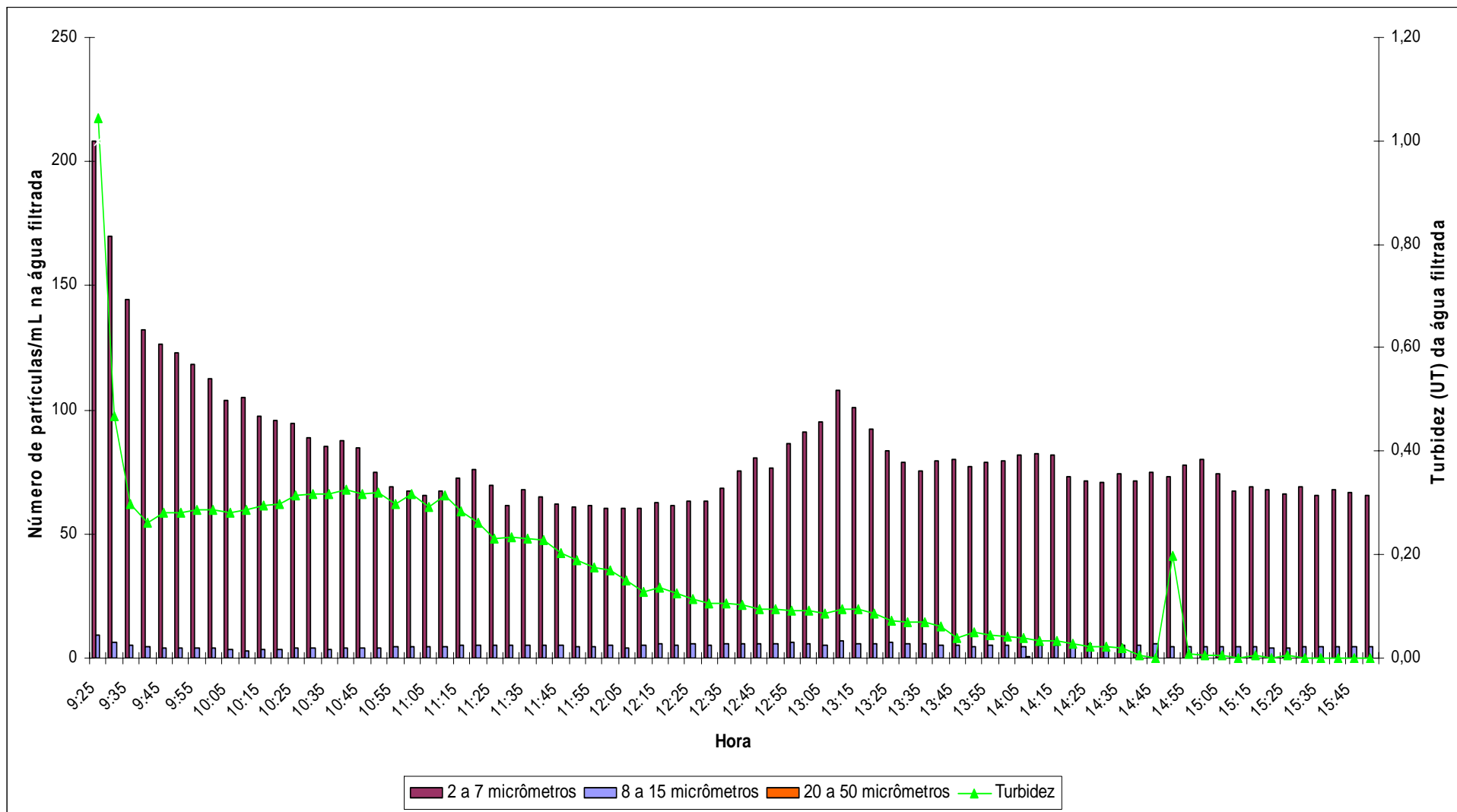


Figura 69 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada,ensaio 8 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

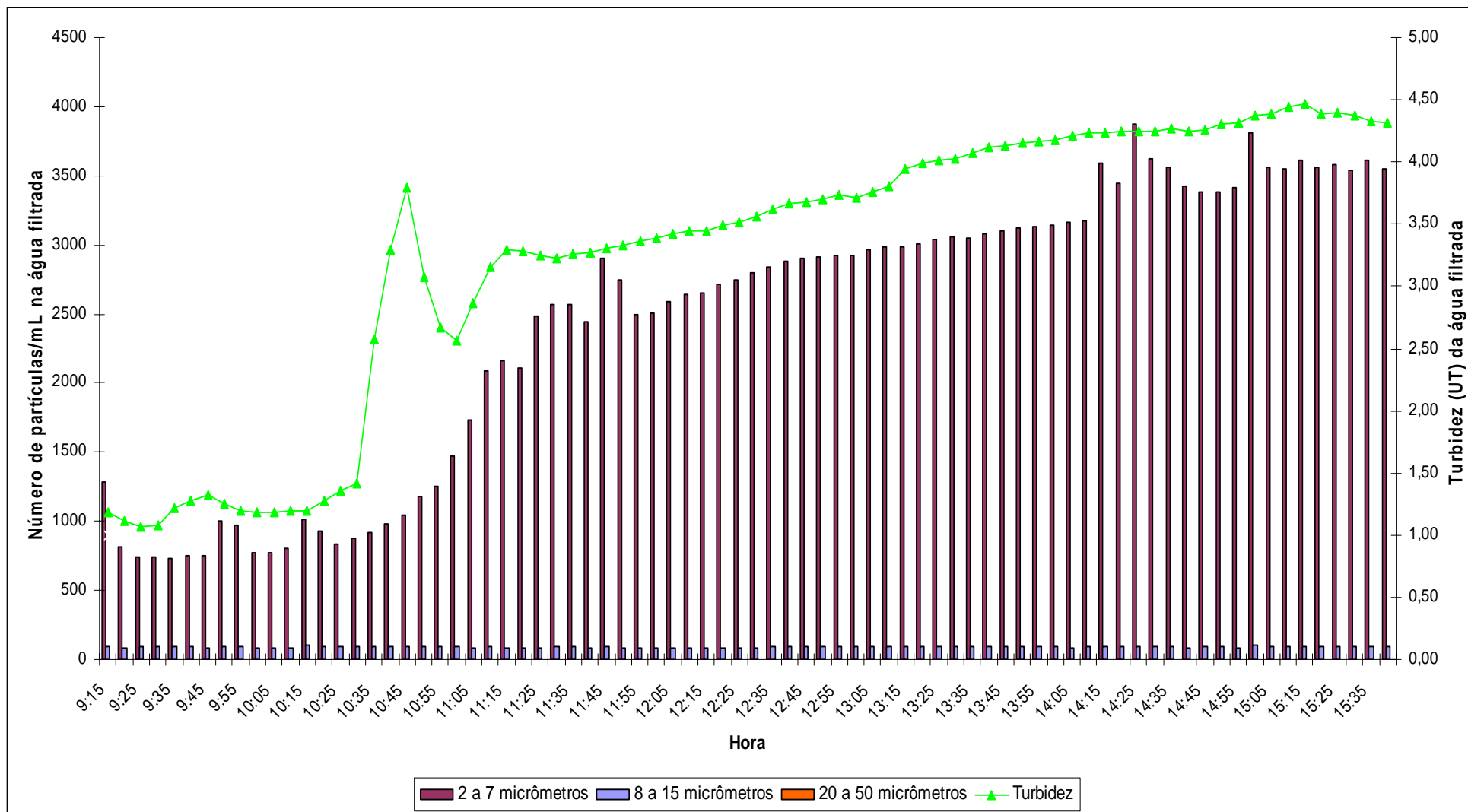


Figura 70 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 10 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

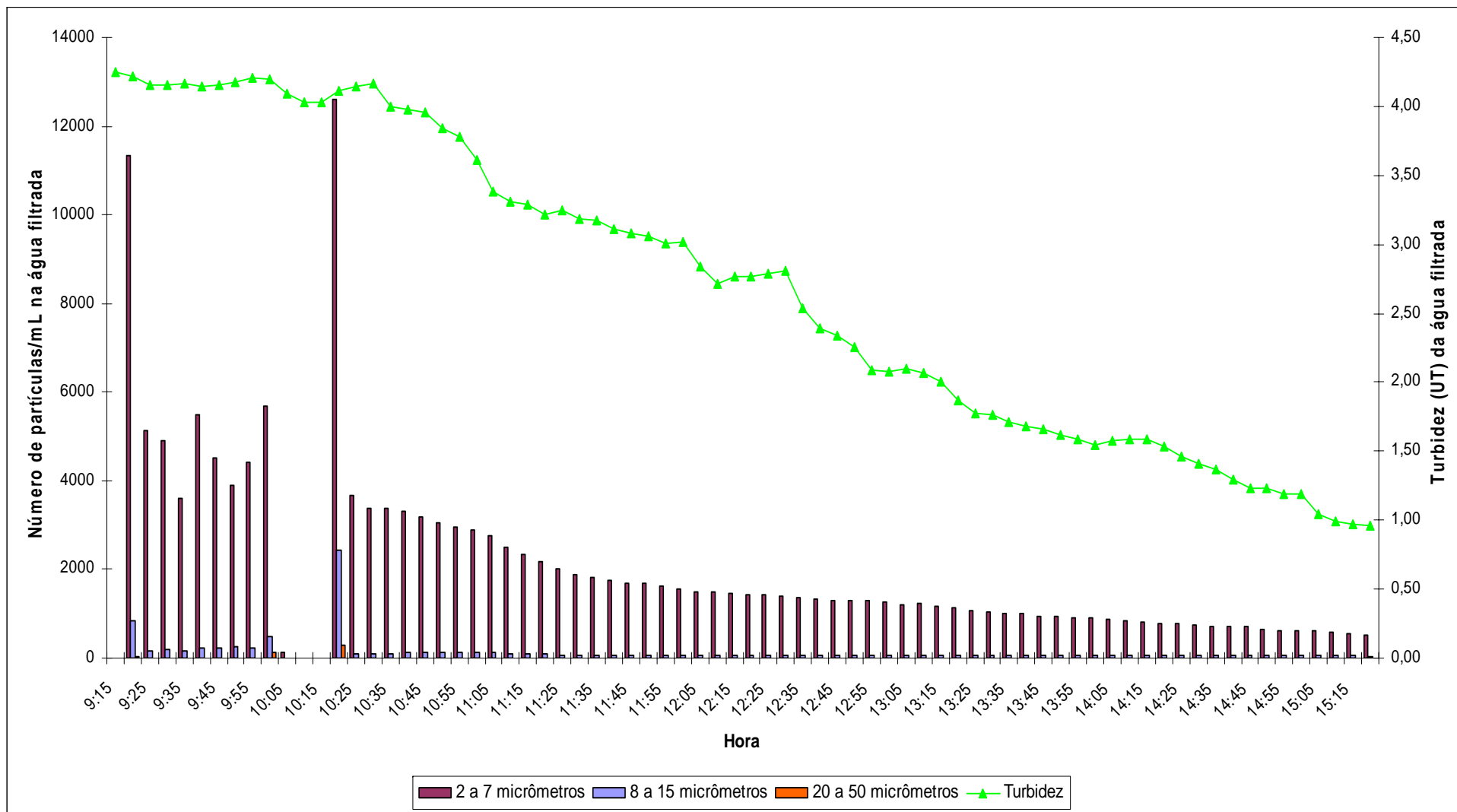


Figura 71 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 11 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

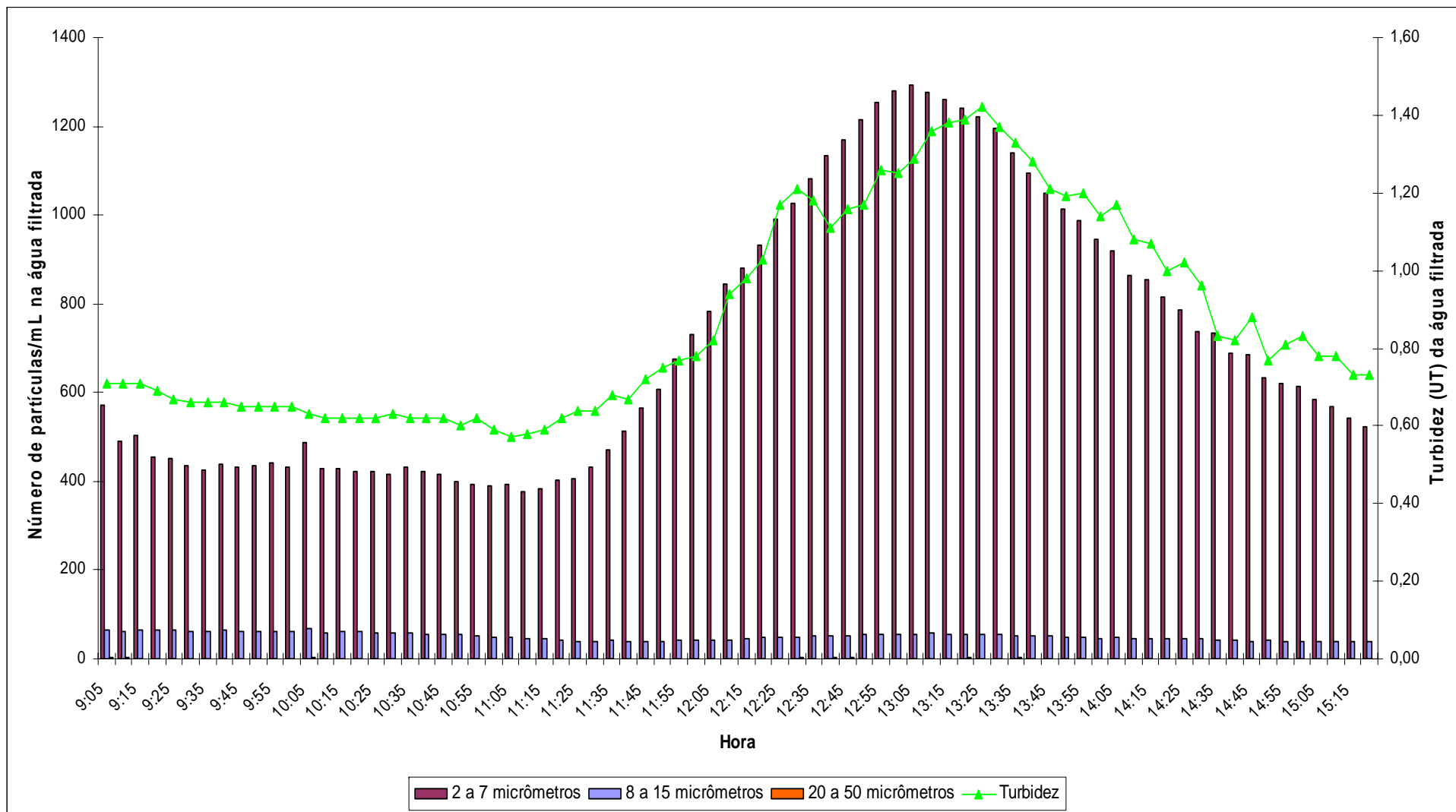


Figura 72 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada,ensaio 12 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

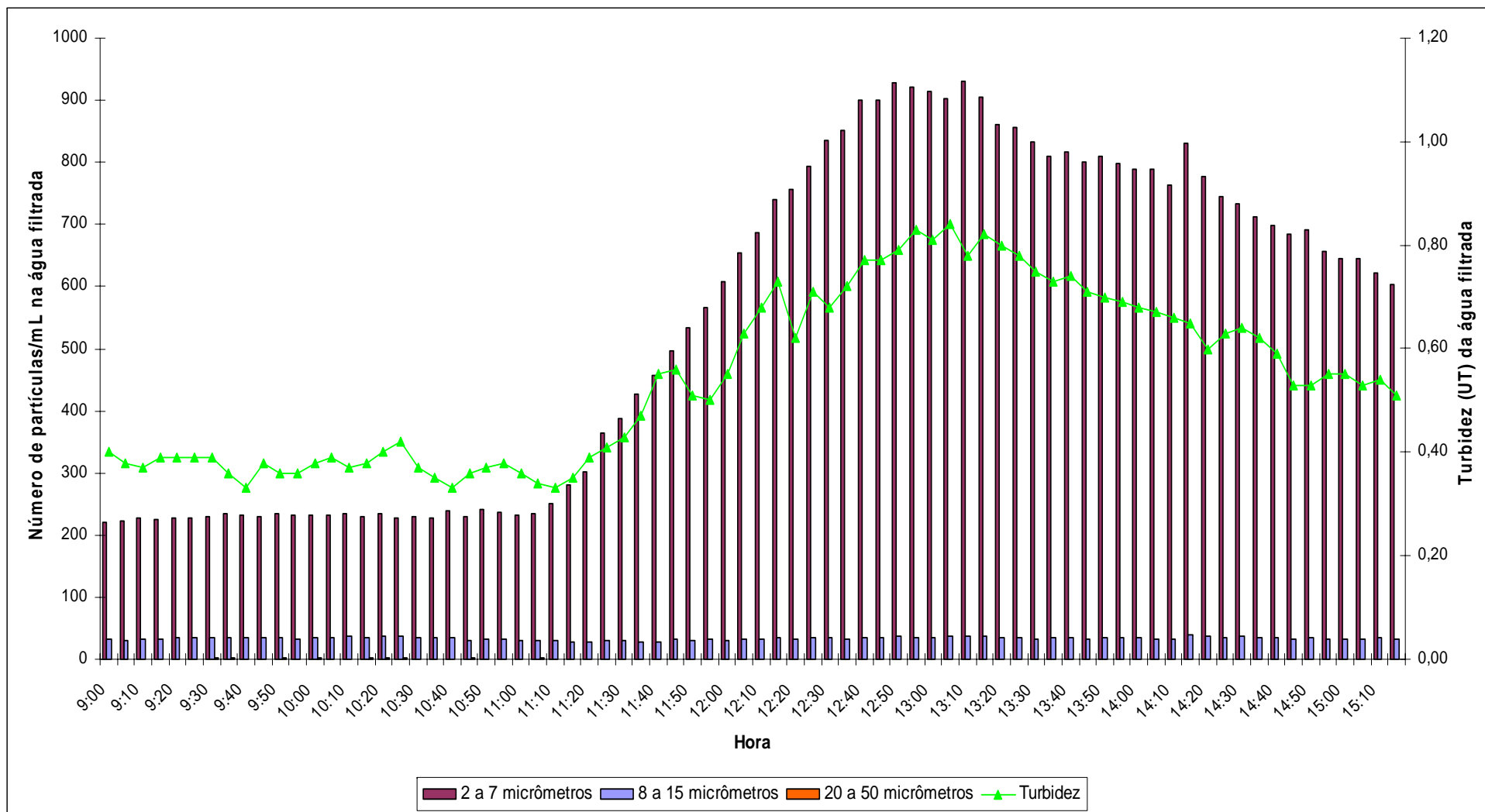


Figura 73 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada,ensaio 13 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

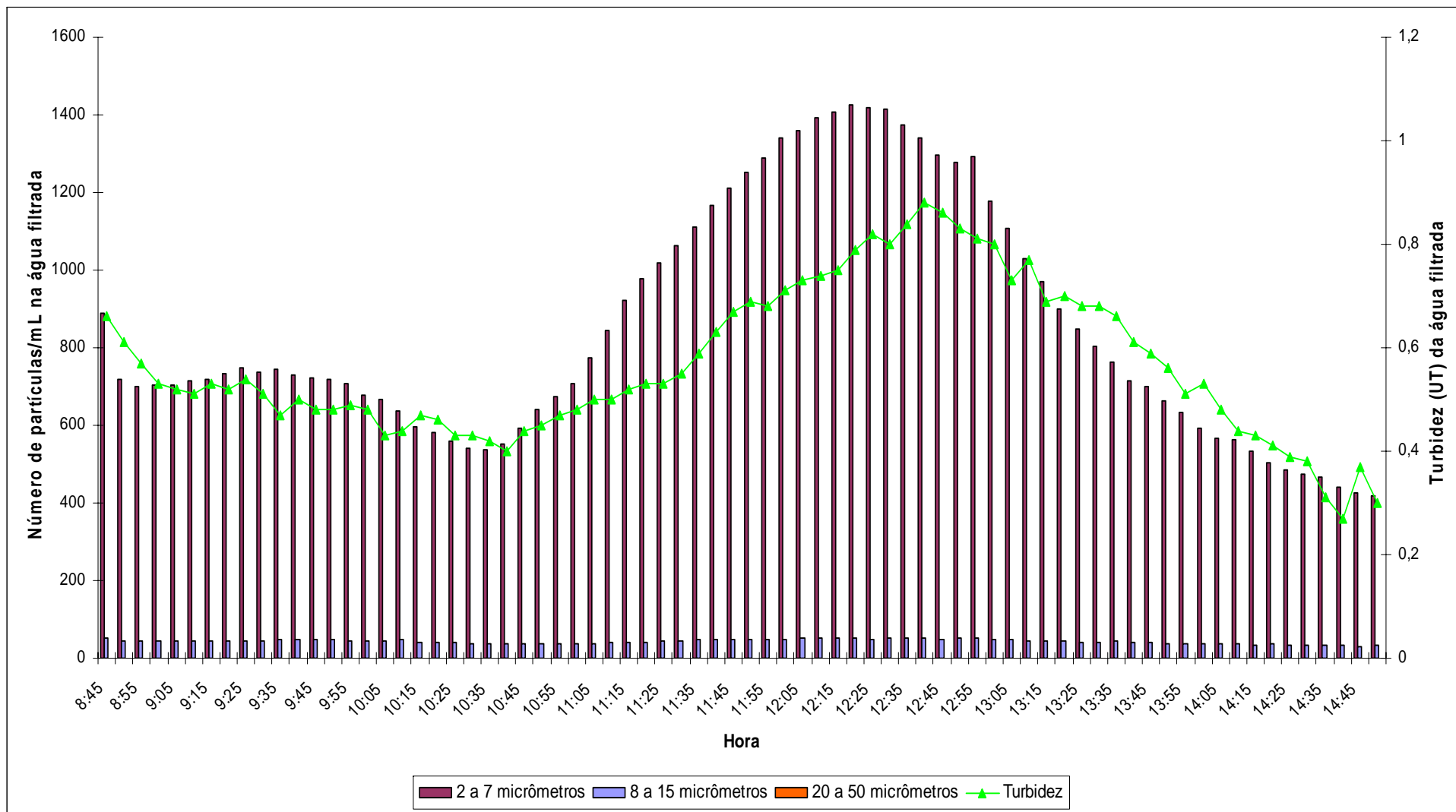


Figura 74 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada,ensaio 14 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

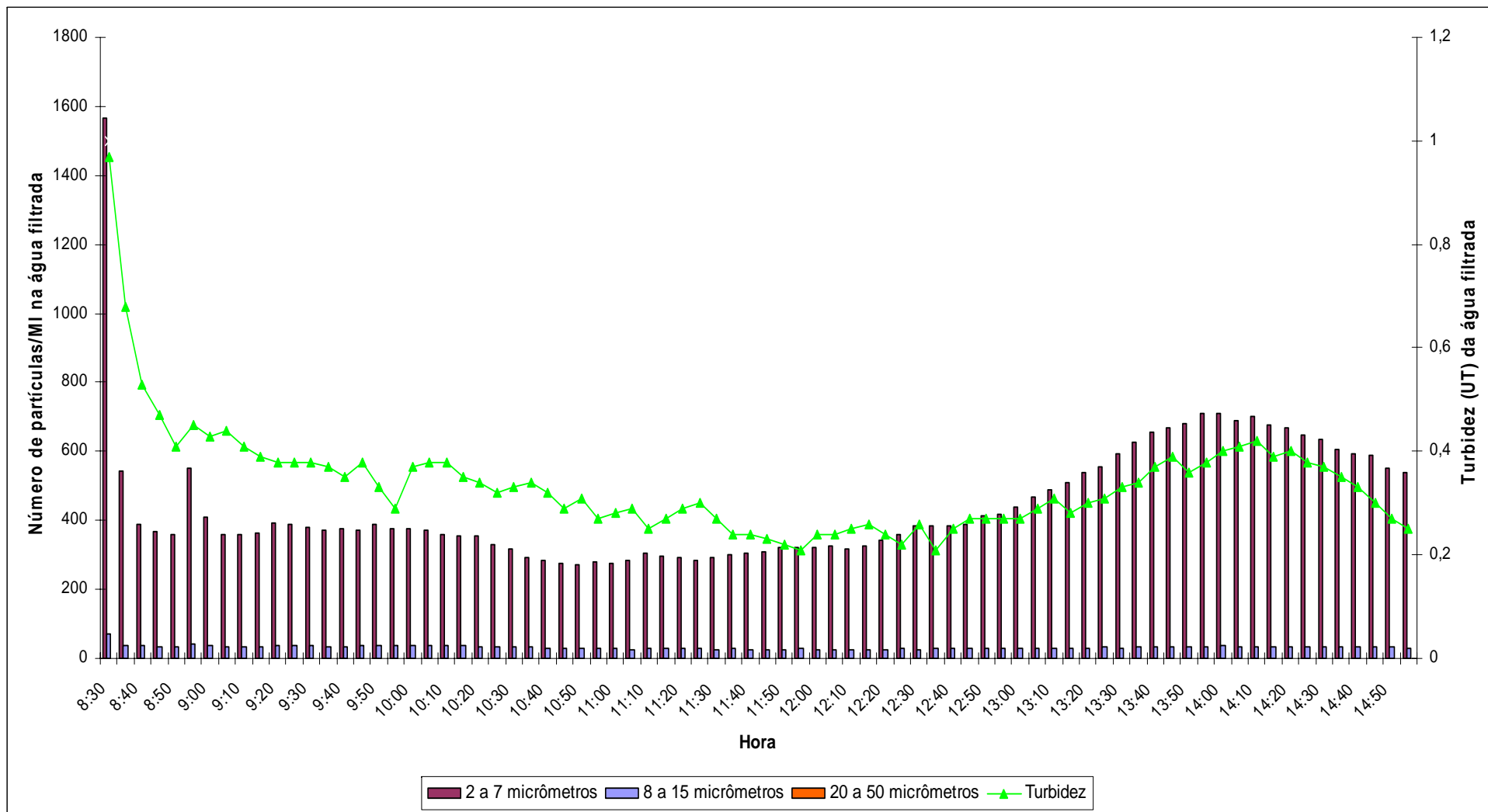


Figura 75 – Evolução da turbidez e contagem de partículas na água filtrada, ensaio 15 de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto

5.4. Remoção de oocistos de *Cryptosporidium* nos ensaios de inoculação na ETA piloto.

Na Tabela 18, são apresentadas as concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* quantificadas nos pontos de amostragem em cada ensaio na ETA piloto.

Conforme descrito no item 4.3.1, nos oito primeiros e nos sete últimos ensaios, teoricamente, a inoculação foi efetuada com, respectivamente, concentrações da ordem de 10^3 e 10^1 oocistos de *Cryptosporidium* por litro.

Entretanto, foram observadas grandes variações na enumeração de (oo)cistos, não somente em torno das concentrações teóricas esperadas, como também ao longo de cada ensaio nas amostras de ‘início’, ‘meio’ e ‘final’ das carreiras de filtração (amostras 1, 2 e 3 na Tabela 18). Os resultados apresentados são, portanto, cercados de incertezas devidas a dúvidas sobre a real concentração de oocistos de *Cryptosporidium* nos estoques adquiridos, problemas na homogeneização das amostras no tanque de preparo dos inóculos e limitações analíticas (recuperação das técnicas utilizadas – ver Anexo 1). Em vista disso, os resultados foram computados e discutidos com base nas concentrações efetivamente encontradas.

Tabela 18 – Resultados da pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* nos ensaios de inoculação na ETA Piloto ⁽¹⁾.

Ensaio	Bruta ⁽²⁾			Decantada ⁽²⁾			Filtrada ⁽²⁾		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	225,5	20,0	61,5	105,0	2,5	2,5	0,5	0,5	4,5
2	40,0	15,0	-	2,5	ND	33,0	1,0	0,5	6,0
3	10,0	10,0	40,0	ND	0,5	ND	ND	ND	ND
4	18,0	ND	11,1	ND	ND	ND	ND	ND	0,5
5	ND	14,3	20,0	8,0	8,0	ND	ND	ND	ND
6	5,0	0,05	ND	0,0	20,0	15,0	ND	0,05	ND
7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8	10,0	30,0	11,2	10,0	ND	5,5	7,5	ND	0,05
9	4,0	5,0	5,0	7,5	ND	6,0	2,5	ND	ND
10	8,0	ND	9,0	2,5	8,0	2,5	6,0	ND	ND
11	10,0	5,0	ND	5,0	10,5	6,5	1,0	ND	ND
12	5,0	20,0	50,0	30,0	10,0	ND	ND	ND	ND
13	15,0	35,0	ND	0,0	20,0	40,0	30,0	5,0	5,0
14	40,0	200,0	90,0	15,0	5,0	15,0	ND	5,0	ND
15	ND	420,0	15,0	30,0	15,0	10,0	ND	ND	ND

(1) oocistos de *Cryptosporidium* por litro na água bruta; (2) amostra 1, 2 e 3: início, meio e final da carreira de filtração, respectivamente. ND: não detectado

Nas Figuras 76, 77 e 78, os resultados da Tabela 4 são reapresentados na forma de gráficos “Box Plot”, para efeito de melhor visualização de suas variações.

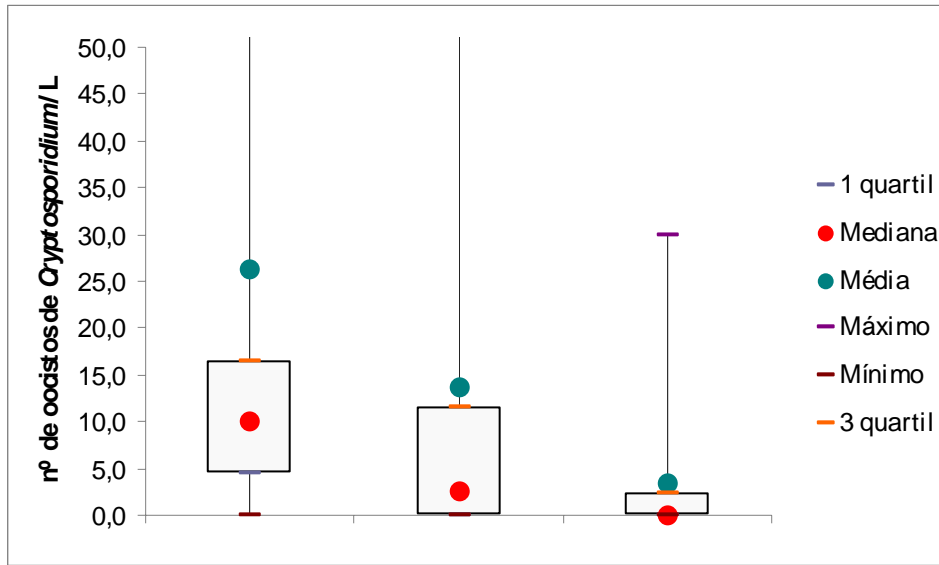


Figura 76 – Variação do número de oocistos / L na água bruta, decantada e filtrada, valores médios dos 15 ensaios de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto, início da carreira de filtração (Amostra 1).

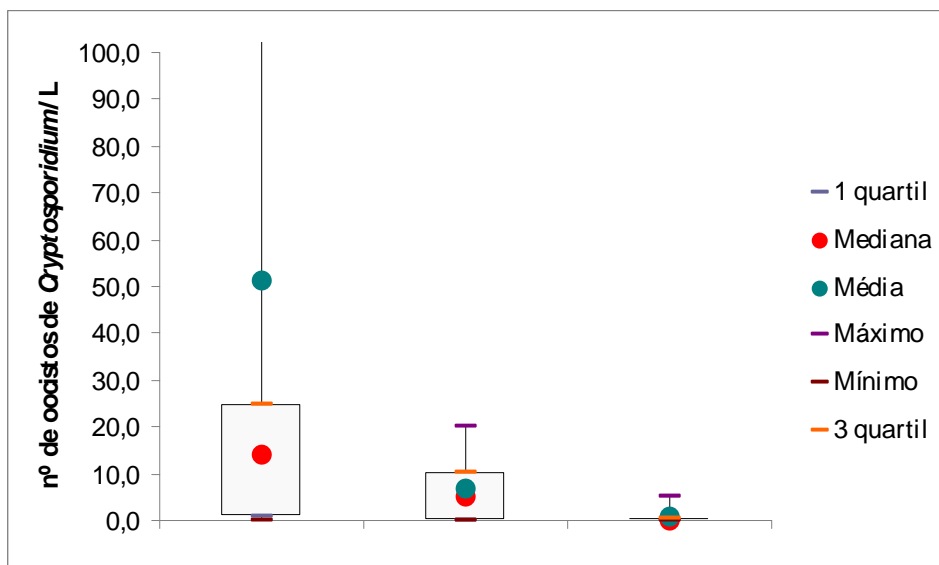


Figura 77 – Variação do número de oocistos / L na água bruta, decantada e filtrada, valores médios dos 15 ensaios de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto, meio da carreira de filtração (Amostra 2).

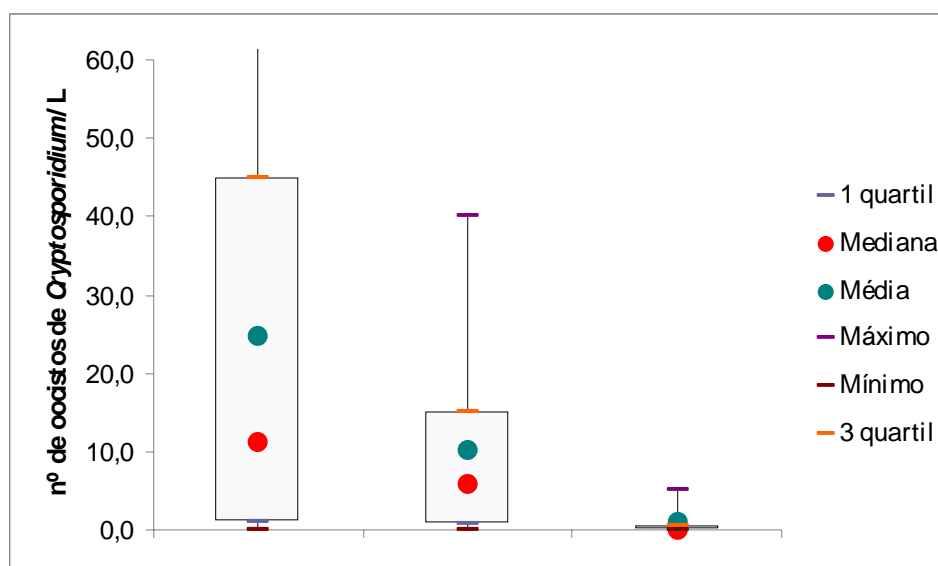


Figura 78 – Variação do número de oocistos / L na água bruta, decantada e filtrada, valores médios dos 15 ensaios de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto, final da carreira de filtração (Amostra 3).

Nota-se que, apesar da intenção de inoculação constante de oocistos ao longo das carreiras de filtração (teoricamente, 125 oocistos.s⁻¹ para os ensaios 1 a 8 e 12,5 oocistos.s⁻¹ para os ensaios 9 a 15), as análises mostraram valores bem diferentes em cada período dos ensaios ('início', 'meio' e 'final'). Tomando por base o 3º quartil, em 25% do tempo mais oocistos teriam sido introduzidos no afluente à instalação piloto ao final do período de inoculação; entretanto, as médias e, principalmente, os valores medianos (10 oocistos.L⁻¹) são próximos.

Em que pese as grandes variações dos dados, as seguintes tendências gerais podem ser observadas: (i) capacidade das etapas de decantação e filtração de absorver variações nos afluentes, produzindo efluentes com concentrações comparativamente mais baixas e de forma relativamente estável (com exceção da decantação no período inicial dos ensaios); (ii) remoção consistente de oocistos nas etapas sequenciais de decantação e filtração.

Tomando como referência os valores médios nas Figuras 76, 77 e 78, os seguintes valores de remoção de oocistos seriam computados

(i) remoção na decantação: 0,25 - 0,89 - 0,83 log₁₀ (média de 0,65 log₁₀), respectivamente no início, meio e final dos ensaios

(ii) remoção na filtração: 0,65 - 0,97 - 0,92 log₁₀ (média de 0,85 log₁₀), respectivamente no início, meio e final dos ensaios

(ii) remoção total (decantação + filtração): 0,91 - 1,87 - 1,35 log₁₀ (média de 1,38 log₁₀), respectivamente no início, meio e final dos ensaios.

Importante destacar que os resultados indicam pior desempenho do sistema no início e melhora gradual ao longo dos ensaios, o que, no caso da filtração, pode ser interpretado como reforço ao entendimento da importância do período de amadurecimento dos filtros (HUCK et al., 2002b; EMELKO et al., 2003; FAGUNDES, 2006; FERNANDES, 2007).

Os valores de remoção encontrados guardam consistência com o assumido pela EPA para remoção na decantação (0,5 log₁₀), mas apresentam-se aquém do esperado para a filtração e ciclo completo de clarificação (3 log₁₀) (USEPA, 2006), pois mesmo ao se considerar a soma de unidades logarítmicas obtidas na decantação e na filtração, a remoção média total na ETA piloto alcançaria cerca de 1,5 log₁₀.

Cabe, entretanto, registrar que os resultados médios acima considerados envolvem ensaios onde não foram garantidas condições adequadas de operação da ETA piloto.

Nas Tabelas 19 a 21 detalham-se os valores de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* em cada etapa do tratamento (decantação e filtração) e remoção total (decantação + filtração), considerando, em conjunto, os valores médios das amostras de início, meio e final dos ensaios de inoculação.

Tabela 19 – Remoção média de oocistos de *Cryptosporidium* na decantação, ensaios de inoculação na ETA Piloto.

Ensaio	Bruta (oocistos.L ⁻¹)	Decantada (oocistos.L ⁻¹)	% remoção	Log remoção
1	102,3	36,7	64,169	0,45
2	38,3	11,8	69,130	0,51
3	20,0	0,2	99,167	2,08
4	9,7	ND	100,000	NA
5	11,4	5,3	53,333	0,33
6	13,4	11,7	12,609	0,06
7	38,1	ND	100,000	NA
8	22,1	5,2	76,572	0,63
Média ±dp	31,91 ±30,54	11,82 ±12,96	71,87 ±29,93	0,68 ±0,71
9	5,7	4,5	20,588	0,10
10	8,3	4,3	48,000	0,28
11	3,3	7,3	NR	NR
12	26,7	13,3	50,000	0,30
13	21,7	20,0	7,692	0,03
14	111,7	11,7	89,552	0,98
15	145,0	18,3	87,356	0,90
Média ±dp	46,06 ±57,66	11,34 ±6,32	50,53 ±33,52	0,43 ±0,41
Média ±dp	38,51 ±44,10	11,56 ±9,68	59,86 ±36,02	0,48 ±0,58

NA: não se aplica; ND: não detectado; NR: não removido

Tabela 20 – Remoção média de oocistos de *Cryptosporidium* na filtração, ensaios de inoculação na ETA Piloto.

Ensaio	Decantada (oocistos.L ⁻¹)	Filtrada (oocistos.L ⁻¹)	% de remoção	Log remoção
1	36,7	1,8	95,000	1,30
2	11,8	2,5	78,873	0,68
3	0,2	ND	100,000	NA
4	ND	0,2	NR	NR
5	5,3	ND	100,000	NA
6	11,7	ND	99,857	2,85
7	ND	ND	NA	NA
8	5,2	2,5	51,290	0,31
Média ±dp	13,14 ±13,13	1,5 ±1,05	94,75 ±48,83	1,29 ±1,12
9	4,5	0,8	81,481	0,73
10	4,3	2,0	53,846	0,34
11	7,3	0,3	95,455	1,34
12	13,3	ND	100,000	NA
13	20,0	13,3	33,333	0,18
14	11,7	1,7	85,714	0,85
15	18,3	ND	100,000	NA
Média ±dp	11,34 ±6,32	3,62 ±4,79	78,55 ±25,56	0,69 ±0,46
Média ±dp	11,56 ±9,68	2,79 ±3,36	82,68 ±35,79	0,95 ±0,79

NA: não se aplica; ND: não detectado; NR: não removido

Tabela 21 – Remoção média de oocistos de *Cryptosporidium* na decantação + filtração, ensaios de inoculação na ETA Piloto.

Ensaio	Bruta (oocistos.L ⁻¹)	Filtrada (oocistos.L ⁻¹)	% remoção	Log remoção
1	102,3	1,8	98,208	1,75
2	38,3	2,5	93,478	1,19
3	20,0	ND	100,000	NA
4	9,7	0,2	98,282	1,77
5	11,4	ND	100,000	NA
6	13,4	ND	99,875	2,90
7	38,1	ND	100,000	NA
8	22,1	2,5	88,588	0,94
Média ±dp	33,31 ±32,71	1,75 ±1,17	97,30 ±4,15	1,71 ±0,76
9	5,7	0,8	85,294	0,83
10	8,3	2,0	76,000	0,62
11	3,3	0,3	90,000	1,00
12	26,7	ND	100,000	NA
13	21,7	13,3	38,462	0,21
14	111,7	1,7	98,507	1,83
15	145,0	ND	100,000	NA
Média ±dp	46,06 ±57,66	3,62 ±4,79	84,04 ±21,98	0,90 ±0,60
Média ±dp	38,51 ±44,10	2,79 ±3,36	91,11 ±16,20	1,30 ±0,89

NA: não se aplica; ND: não detectado.

Em primeira análise, as eficiências de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* (decantação + filtração) seriam: 1,71 log₁₀ nos ensaios 1 a 8 (teoricamente com inoculação

de 10^3 oocistos L^{-1}) e $0,90 \log_{10}$ nos ensaios 9 a 15 (teoricamente com inoculação de 10^1 oocistos L^{-1}), o que sugeriria, a exemplo do registrado por ASSAVASILAVASUKUL et al., 2008, efeito da concentração inicial de oocistos. Entretanto, tal constatação é totalmente ‘refém’ das incertezas na enumeração de oocistos de *Cryptosporidium*.

Aos resultados de remoção de oocistos, acrescenta-se que a partir do terceiro ensaio passou-se a monitorar a água de lavagem de filtro da ETA piloto, sendo encontrados 30 oocistos de *Cryptosporidium.L^{-1}* (ensaio 7), 70 oocistos de *Cryptosporidium.L^{-1}* (ensaio 8) e 10 oocistos de *Cryptosporidium.L^{-1}* (ensaio 9), sugerindo efetiva remoção nos filtros e confirmando que a recirculação de água de lavagem de filtros sem o devido critério se consolida como uma introdução de perigo no sistema de tratamento da água (FREITAS, 2007).

5.5. Relação entre remoção de oocistos de *Cryptosporidium* e turbidez.

As Tabelas 22, 23 e 24 apresentam os resultados médios de remoção de turbidez em cada etapa do tratamento (decantação e filtração) e remoção total (decantação + filtração), considerando os valores médios das amostras analisadas a cada 15 minutos durante as carreiras de filtração. Percebemos eficiências de remoção mais elevadas de turbidez nos oito primeiros ensaios, quando a turbidez da água bruta era mais elevada. A aplicação de teste estatístico não-paramétrico (Wilcoxon), confirmou diferenças estatisticamente significativas de log de remoção entre esses dois blocos de ensaios na decantação e para a remoção total ($p < 0,05$) e, para a remoção na decantação, próxima ao nível de significância assumido ($p = 0,068$). Assim sendo, haveria sugestões de que, somada aos inóculos teoricamente superiores nesses primeiros ensaios, a turbidez mais elevada pode também ter contribuído para a remoção mais efetiva de oocistos.

Tabela 22 - Remoção média de turbidez na decantação durante os ensaios de inoculação de oocistos na ETA Piloto (n = 15)

Ensaio	Bruta (uT)	Decantada (uT)	% remoção	Log remoção
1	8,61	2,46	71,42	0,54
2	13,26	2,64	80,09	0,70
3	14,35	3,79	73,59	0,58
4	11,38	3,62	68,19	0,50
5	18,57	6,21	66,56	0,48
6	21,12	6,92	67,23	0,48
7	22,73	4,09	82,01	0,74
8	72,89	12,21	83,25	0,78
Média ±dp	22,86 ±20,78	5,24 ±3,23	74,04 ± 14,36	0,60 ±0,12
9	5,62	2,72	51,60	0,32
10	8,05	5,16	35,92	0,19
11	9,01	5,96	33,87	0,18
12	6,84	2,98	56,42	0,36
13	5,22	2,12	59,41	0,39
14	5,12	2,88	43,77	0,25
15	5,99	2,44	59,27	0,39
Média ±dp	6,55 ±1,49	3,47 ±1,48	48,61 ±10,82	0,30 ±0,09
Média ±dp	15,25 ±16,97	4,41 ±2,64	62,17 ±15,69	0,46 ±0,19

Tabela 23 – Remoção média de turbidez na filtração durante os ensaios de inoculação de oocistos na ETA Piloto (n = 15).

Ensaio	Decantada (uT)	Filtrada (uT)	% remoção	Log remoção
1	2,46	0,42	82,74	0,76
2	2,64	0,27	89,77	0,99
3	3,79	0,82	78,36	0,66
4	3,62	0,59	83,61	0,79
5	6,21	0,12	98,10	1,72
6	6,92	0,10	98,61	1,86
7	4,09	0,07	98,24	1,75
8	12,21	0,16	98,67	1,88
Média ±dp	5,24 ±3,23	0,32 ±0,27	91,01 ±8,48	1,30 ±0,54
9	2,72	1,38	49,34	0,30
10	5,16	3,34	35,35	0,19
11	5,96	2,60	56,34	0,36
12	2,98	0,87	70,65	0,53
13	2,12	0,54	74,37	0,59
14	2,88	0,55	80,83	0,72
15	2,44	0,35	85,82	0,85
Média ±dp	3,47 ±1,48	1,38 ±1,16	64,67 ±18,27	0,51 ±0,24
Média ±dp	4,41 ±2,64	0,81 ±0,95	78,72 ±19,08	0,93 ±0,58

Tabela 24 – Remoção média de turbidez na decantação + filtração, durante os ensaios de inoculação de oocistos na ETA Piloto (n = 15)

Ensaio	Bruta (uT)	Filtrada (uT)	% remoção	Log remoção
1	8,61	0,42	95,07	1,31
2	13,26	0,27	97,96	1,69
3	14,35	0,82	94,28	1,24
4	11,38	0,59	94,79	1,28
5	18,57	0,12	99,36	2,20
6	21,12	0,10	99,54	2,34
7	22,73	0,07	99,68	2,50
8	72,89	0,16	99,78	2,65
Média ±dp	22,86 ±20,78	0,32 ±0,27	97,56 ±2,43	1,90 ±0,59
9	5,62	1,38	75,48	0,61
10	8,05	3,34	58,57	0,38
11	9,01	2,60	71,13	0,54
12	6,84	0,87	87,21	0,89
13	5,22	0,54	89,60	0,98
14	5,12	0,55	89,22	0,97
15	5,99	0,35	94,22	1,24
Média ±dp	6,55 ±1,49	1,38 ±1,16	80,78 ±12,82	0,81 ±0,30
Média ±dp	15,25 ±16,97	0,81 ±0,95	89,73 ±12,18	1,39 ±0,73

Tentativas de verificação de associação entre remoção de turbidez e oocistos de *Cryptosporidium* por meio da aplicação de teste estatístico não-paramétrico (correlação de Spearman), resultaram em: correlação ‘mediana’ e estatisticamente significativa para nível de significância de 10% para a remoção na decantação ($r_s = 0,47$; $p = 0,089$) e na decantação + filtração ($r_s = 0,45$; $p = 0,095$); correlação muito fraca e estatisticamente não significativa na filtração isoladamente ($r_s = 0,17$; $p = 0,57$).

As Figuras 79 e 80 ilustram que a remoção de turbidez e oocistos na decantação e na decantação + filtração foram bem similares, sendo que na decantação a remoção de turbidez mostrou-se mais estável que a de oocistos.

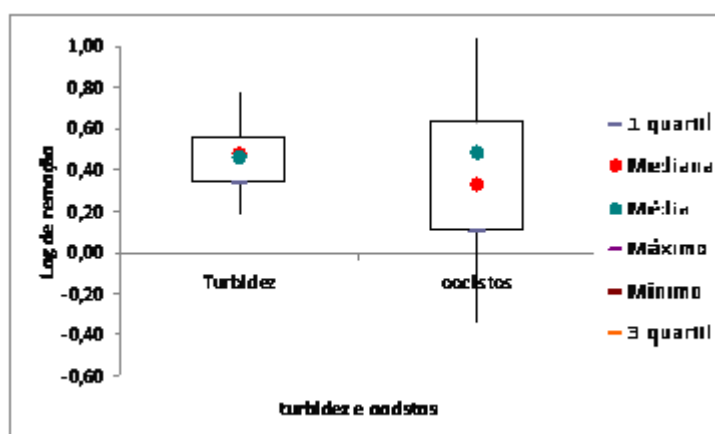


Figura 79 – Variação da remoção de turbidez e de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto (decantação).

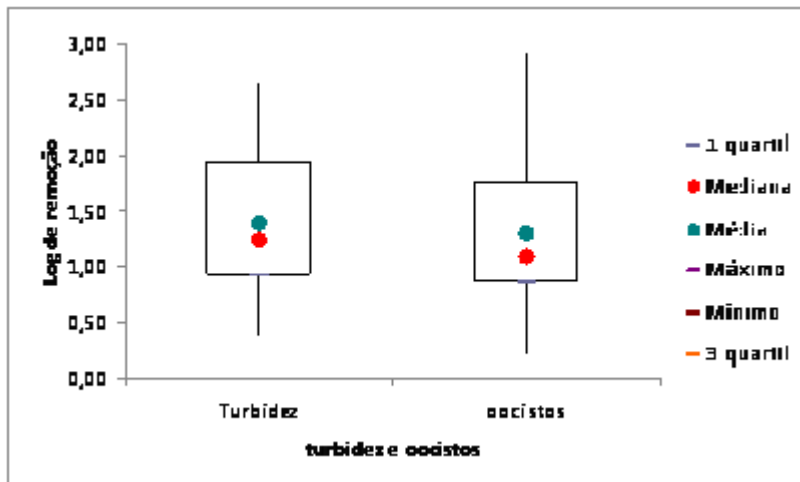


Figura 80 – Variação da remoção de turbidez e de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto (decantação + filtração).

Atento para o fato de que não foram verificados os pressupostos para a aplicação de testes paramétricos, mas apenas para efeito de observação de tendências, apresentam-se a seguir resultados de tentativas de associação entre remoção de turbidez e oocistos de *Cryptosporidium* por meio da aplicação de testes de regressão, considerando os valores médios de log – remoção.

Em princípio não se encontrou resultado convincente (Figura 81). Exercícios adicionais, excluindo do banco de dados um valor aparentemente *outlier* (Figura 82) ou os dados relativos ao ‘início dos ensaios’ (Figura 83), indicaram, de forma um pouco mais nítida, possível associação entre remoção de oocistos e de turbidez. No primeiro caso, a liberdade de exclusão de dados teria como respaldo a grande variação e incertezas que cercam o banco de dados como um todo. No segundo, pretendia-se verificar tendências durante a operação do sistema sob condições mais estáveis, supostamente após período de amadurecimento dos filtros.

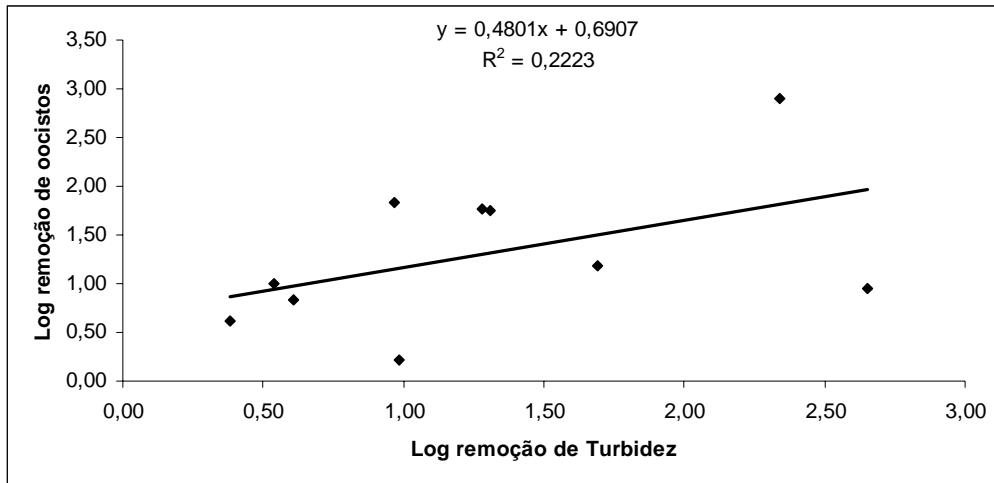


Figura 81 – Associação entre valores médios de log - remoção de turbidez e de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto (decantação + filtração) (n = 11).

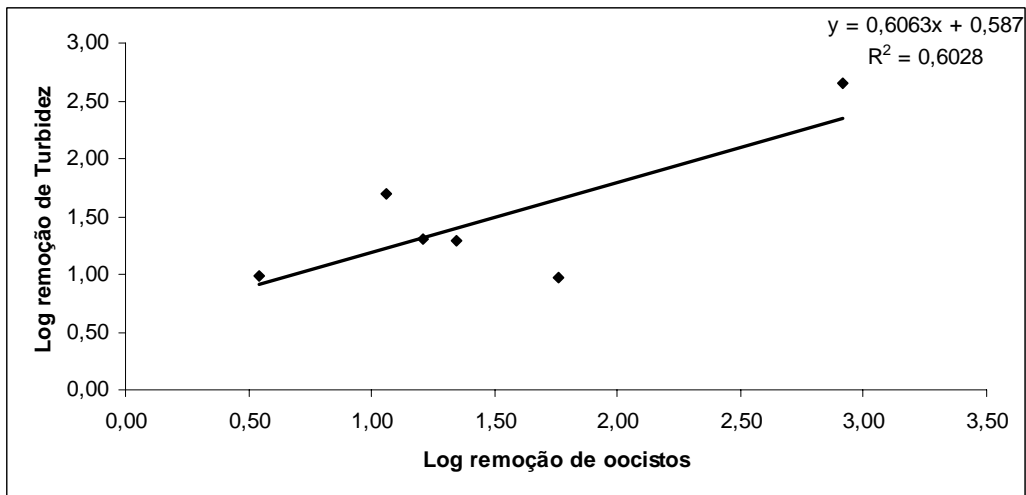


Figura 82 – Associação entre valores médios de log - remoção de turbidez e de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto (decantação + filtração) (n = 6)

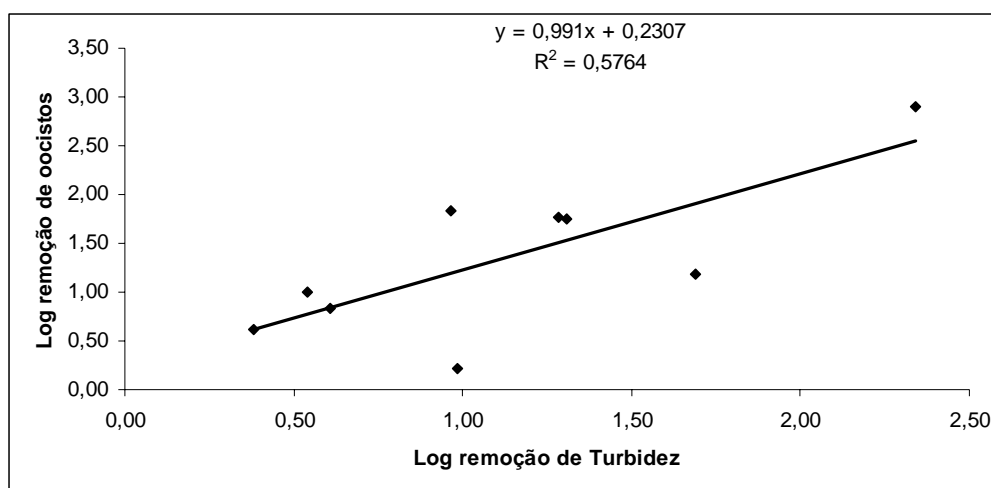


Figura 83 – Associação entre valores médios de log - remoção de turbidez e de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto (decantação + filtração), excluídos os dados dos períodos iniciais dos ensaios (n = 9)

Adicionalmente, o teste de correlação não-paramétrico do Coeficiente PHI (r_{Φ}) foi aplicado com vistas à verificação de associação entre a ocorrência ou não de oocistos de *Cryptosporidium* em amostras de água filtrada e valores de turbidez tomados como referência: de acordo com a evolução da norma dos EUA (0,5 - 0,3 - 0,15 uT) e o padrão da legislação brasileira (ver item 3.4).

Os resultados não revelam associação estatística para nível de significância de 5%. Entretanto, nota-se que a associação é um pouco mais forte para limite de turbidez $\leq 0,3$ uT, sendo, nesse caso, significativa para nível de decisão de 10% ($\alpha = 0,10$) (Tabela 25).

Tabela 25 - Correlação entre valores de turbidez da água filtrada e ocorrência de protozoários

Variáveis testadas	Teste do coeficiente PHI	
	r_{Φ}	p
Ocorrência de oocistos x turbidez $\geq 0,15$ uT e $\leq 0,15$ uT	0,1589	0,4725
Ocorrência de oocistos x turbidez $\geq 0,3$ uT e $\leq 0,3$ uT	0,2915	0,1022
Ocorrência de oocistos x turbidez $\geq 0,5$ uT e $\leq 0,5$ uT	0,0915	0,7698
Ocorrência de oocistos x turbidez $\geq 1,0$ uT e $\leq 1,0$ uT	0,1225	0,6745

5.6. Relação entre remoção de oocistos de *Cryptosporidium* e partículas.

Nas Tabelas 26, 27 e 28 são apresentados os resultados médios de remoção de partículas na filtração, considerando os valores do conjunto de dados medidos pelo equipamento de processo durante os ensaios de inoculação de oocistos e de contagem de partículas no efluente do decantador. Cabe lembrar que essas medidas não foram realizadas em mesmo momento. Cabe também registrar que não foram feitas contagens de partículas da água bruta, portanto não houve como calcular a remoção de partículas no decantador. Nas Tabelas 27 e 28 os valores negativos para o percentual de remoção são explicados pela quebra de partículas flocculentas, provenientes do decantador, que dão origem a partículas menores.

Tabela 26 – Remoção média de partículas (2 - 7 µm) na filtração, ETA piloto (n =11).

Ensaio	Decantada (partículas.mL ⁻¹)	Filtrada (partículas.mL ⁻¹)	% remoção	Log remoção
1	6412,65	1280,94	80,02	0,70
2	2590,67	565,30	78,18	0,66
3	2014,18	107,56	94,66	1,27
4	2775,40	141,61	94,90	1,29
5	3466,85	264,43	92,37	1,12
6	3694,51	466,04	87,39	0,90
7	3628,13	124,91	96,56	1,46
8	2763,71	87,53	96,83	1,50
9	1210,86	376,81	68,88	0,51
10	2184,29	1919,43	12,13	0,06
11	1502,32	670,21	55,39	0,35
Média ±dp	2931,23 ±1415,77	545,89 ±574,44	77,94 ±25,48	0,89±0,48

Tabela 27 – Remoção média de partículas (8 - 15 µm) na filtração, ETA piloto (n =11).

Ensaio	Decantada (partículas.mL ⁻¹)	Filtrada (partículas.mL ⁻¹)	% remoção	Log remoção
1	103,00	281,20	-173,02	-0,44
2	66,56	207,11	-211,16	-0,49
3	51,50	6,99	86,43	0,87
4	68,02	15,27	77,55	0,65
5	102,99	14,48	85,94	0,85
6	119,46	41,68	65,11	0,46
7	116,43	14,93	87,18	0,89
8	84,60	5,47	93,54	1,19
9	48,78	30,94	36,57	0,20
10	65,83	36,92	43,92	0,25
11	29,28	27,43	6,32	0,03
Média ±dp	77,86 ±29,66	62,04 ±92,30	18,03 ±107,57	0,29±0,63

Tabela 28 – Remoção média de partículas (20 – 50 µm) na filtração, ETA piloto (n =11)

Ensaio	Decantada (partículas.mL ⁻¹)	Filtrada (partículas.mL ⁻¹)	% remoção	Log remoção
1	2,28	3,51	-54,06	-0,19
2	2,14	27,20	-1172,06	-1,10
3	2,07	0,08	96,03	1,40
4	3,13	0,05	98,36	1,79
5	2,76	0,40	85,67	0,84
6	3,17	1,10	65,20	0,46
7	3,44	0,34	90,06	1,00
8	2,81	0,21	92,61	1,13
9	1,01	0,75	25,70	0,13
10	1,52	0,50	67,24	0,48
11	1,02	0,39	61,51	0,41
Média ±dp	2,30 ±0,85	3,14 ±8,04	-49,43 ±374,95	0,41±0,91

Na Figura 84 os resultados de remoção de partículas na filtração são reorganizados, em conjunto com os de remoção de turbidez e de oocistos, na forma de gráficos ‘Box Plot’. A remoção de turbidez e de oocistos foi bastante similar (a exemplo do observado anteriormente) na decantação e para a remoção total (decantação + filtração), sendo ambas superiores à de partículas. Adiantam-se, pois, indícios de que a remoção de turbidez apresenta-se como melhor indicador da remoção de oocistos do que a contagem de partículas.

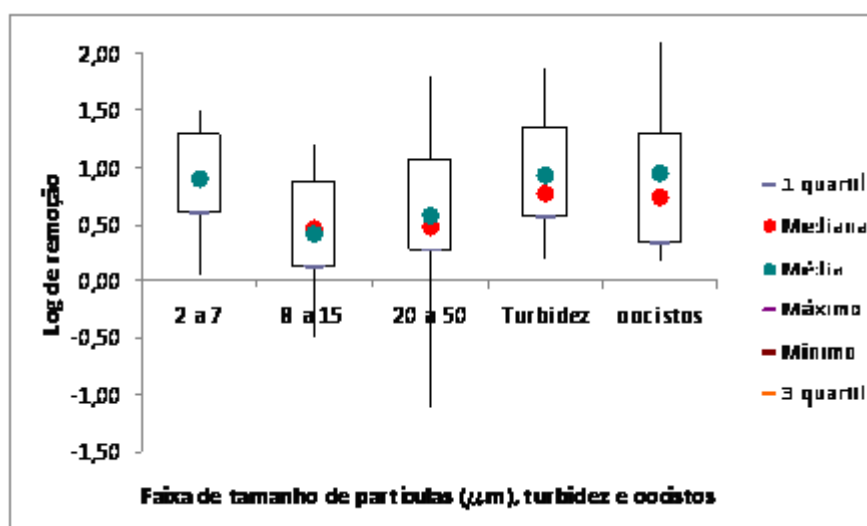


Figura 84 – Variação da remoção (log₁₀) de partículas por faixa de tamanho, turbidez e oocistos de *Cryptosporidium* na filtração, ETA piloto .

Tomando por base os valores médios, a remoção de partículas na faixa de 2 - 7 μm foi cerca de 0,5 log superior a das demais partículas, sendo estas, exatamente as que chegam ao filtro em maiores quantidades, ou concentrações (Tabela 26). As partículas com tamanho variando de 8 - 15 μm chegam em baixas concentrações no filtro e, para partículas maiores, este número é ainda menor, não tendo sido encontradas partículas maiores que 50 μm em todos os ensaios realizados.

Entretanto, a aplicação de teste não-paramétrico (Teste de Friedman) não revelou diferenças estatísticas entre a remoção de partículas nas diferentes faixas de tamanho ($p = 0,4412$). Por outro lado, diferenças estatisticamente significativas foram detectadas entre as concentrações de partículas de diferentes tamanhos no efluente do decantador (Teste de Wilcoxon): (i) 2 - 7 μm x 8 - 15 μm ($p = 0,0033$); (ii) 2 - 7 μm x 20 - 50 μm ($p = 0,0033$); (iii) 8 - 15 μm x 20 - 50 μm ($p = 0,0033$). Resultados similares, ou seja, estatisticamente diferentes, foram encontrados para as contagens de partículas de diferentes tamanhos no efluente do filtro.

Testes de correlação de Spearman (não-paramétrico) entre remoção de partículas e turbidez na filtração resultaram em: (i) 2 - 7 μm x turbidez ($r_s = 0,45$; $p = 0,1664$); (ii) 8 - 15 μm x turbidez ($r_s = 0,42$; $p = 0,2033$); (iii) 20 - 50 μm x turbidez ($r_s = 0,27$; $p = 0,2680$). Embora não se tenham encontrado resultados estatisticamente significativos, é interessante notar que a associação da remoção de turbidez com a de partículas torna-se mais fraca e, ou, mais distante do nível de significância com o aumento do tamanho das partículas. Ou seja, se alguma inferência de associação pode ser feita, seria com partículas de 2 - 7 μm .

Guardadas todas as ressalvas já feitas, testes de regressão revelaram também indícios de associação apenas com partículas na faixa de 2 - 7 μm (Figura 85). Entretanto, nenhum indício de associação entre partículas e oocistos de *Cryptosporidium* pode ser observado.

Por fim, cabe levantar mais uma ressalva a respeito da aplicação de todos esses testes estatísticos, pois as variáveis envolvidas de fato não constituem pares.

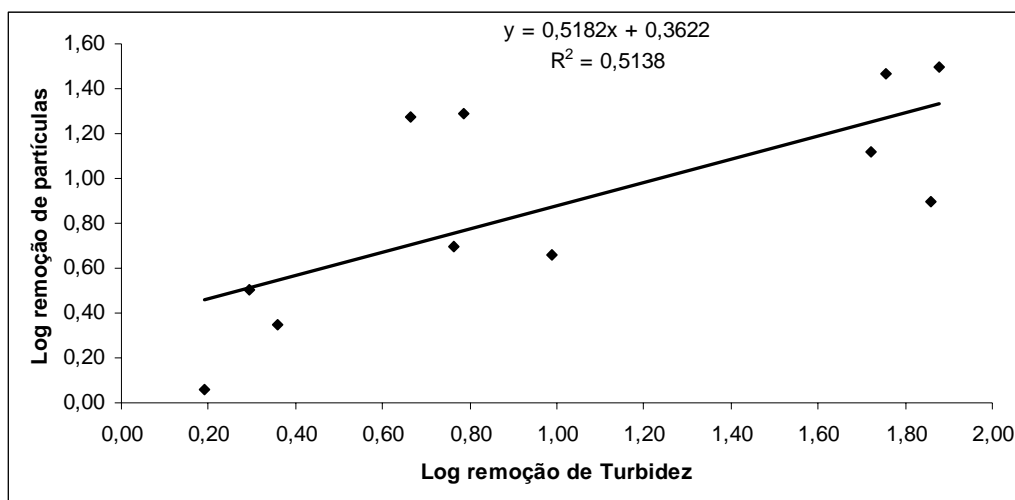


Figura 85 – Associação entre valores médios de log - remoção de partículas (2 - 7 µm) e de oocistos de *Cryptosporidium* na ETA piloto (filtração) (n = 11).

5.7. Monitoramento da ETA UFV

Nas Tabela 29 e 30 estão apresentados os resultados da pesquisa na ETA UFV de, respectivamente, cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*, com coletas mensais, pontuais.

Cistos de *Giardia* foram identificados apenas na água bruta em um evento de amostragem. Oocistos de *Cryptosporidium* foram detectados em duas amostras de água bruta, seis de água decantada, quatro de água filtrada, duas de água de lavagem de filtros e uma de água clorada, confirmando que são de mais difícil remoção do que cistos de *Giardia*.

Tabela 29 – Resultados da pesquisa de cistos de *Giardia* spp. na ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008 (cistos L⁻¹)

Amostra	2007						2008				
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
AB	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,5
DEC	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
F2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ALF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
CLO	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	ND	-
RD	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: não detectado; AB: água bruta; DEC: água decantada; Fi: efluente dos filtros 1 e 2; ALF: água de lavagem de filtros; CLO: água clorada; SD: saída do reservatório de distribuição.

Tabela 30 – Resultados da pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* spp. na ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008 (oocistos L⁻¹)

Amostra	2007						2008					
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	
AB	ND	ND	ND	ND	ND	12,0	ND	ND	ND	ND	7,5	
DEC	ND	ND	ND	ND	ND	4,5	4,1	6,0	3,6	3,5	3,0	
F1	ND	ND	ND	ND	3,0	1,0	ND	0,1	ND	ND	ND	
F2	ND	ND	ND	ND	ND	9,0	ND	ND	ND	ND	ND	
ALF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	40,0	30,0	ND	ND	-	
CLO	-	-	-	-	-	-	-	1,5	ND	ND	-	
RD	-	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	

ND: não detectado; AB: água bruta; DEC: água decantada; Fi: efluente dos filtros 1 e 2; ALF: água de lavagem de filtros; CLO: água clorada; SD: saída do reservatório de distribuição.

Na Tabela 31 encontram-se os dados de turbidez nas amostras pontuais analisadas para protozoários. Nas Figuras 86, 87 e 88, com base no banco de dados do monitoramento horário da turbidez nos meses em que se procedeu à pesquisa de protozoários, apresentam-se informações sobre variações da turbidez na água bruta, decantada e filtrada.

Tabela 31 – Turbidez da água nas amostras coletadas para a pesquisa de protozoários na ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008 (uT)

Amostra	2007						2008					
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	
AB	5,84	4,84	4,47	10,60	7,45	9,72	42,50	9,57	6,98	7,42	7,22	
DEC	1,03	0,89	0,63	1,11	1,10	2,92	2,12	2,63	2,39	1,21	2,34	
F1	0,54	0,33	0,77	0,86	0,31	0,56	0,45	0,43	0,40	0,35	0,38	
F2	0,43	0,47	0,75	0,51	0,39	1,00	0,36	0,46	0,47	0,40	0,51	
ALF	13,48	127,38	9,13	ND	6,58	19,40	95,10	48,00	148,0	41,30	87,44	
CLO	0,63	0,51	5,79	2,20	0,72	0,94	0,51	0,76	0,55	0,40	0,45	
RD	0,52	0,72	0,42	ND	0,85	0,62	0,58	0,60	0,45	0,42	0,38	

ND: não disponível; AB: água bruta; DEC: água decantada; Fi: efluente dos filtros 1 e 2; ALF: água de lavagem de filtros; CLO: água clorada; SD: saída do reservatório de distribuição.

Nas Figuras 86, 87 e 88, nota-se que as variações da turbidez da água bruta fizeram-se sentir na turbidez da água decantada e filtrada.

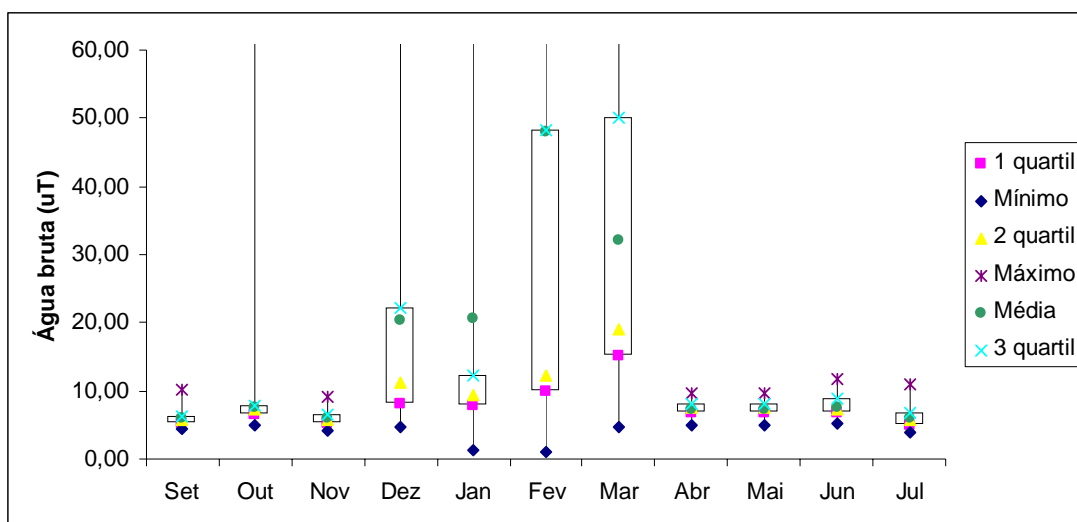


Figura 86 –Variação da turbidez da água bruta, ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008.

Na Figura 87, a linha tracejada vermelha tem como referência o valor médio de turbidez no mês de abril, em torno de 2,0 uT (menor valor médio dentre os meses com ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* na água decantada). Percebe-se que, em geral, nos meses onde não se detectou oocistos na água decantada, os valores médios de turbidez foram inferiores à referência assumida.

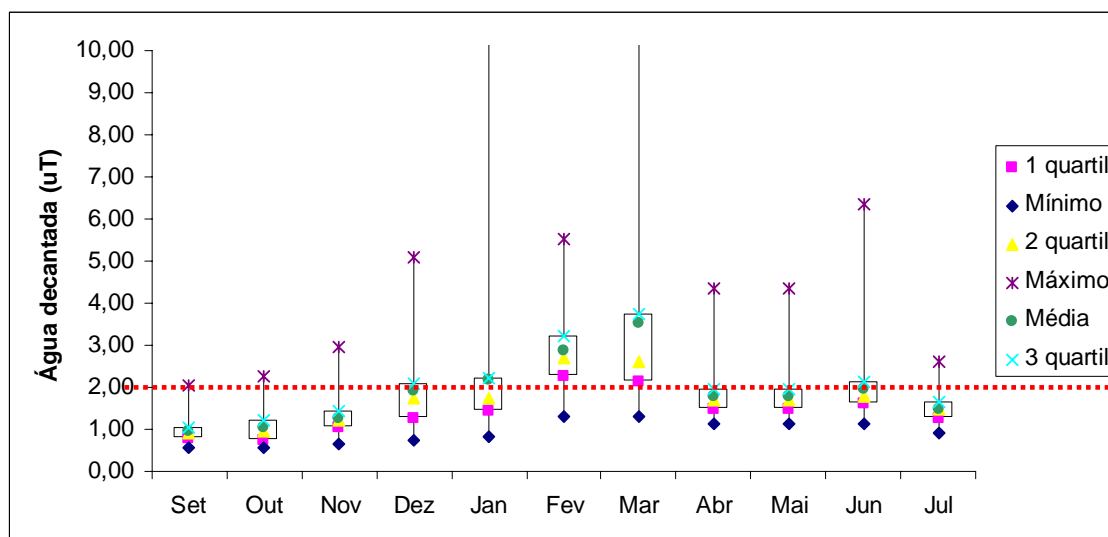


Figura 87 –Variação da turbidez da água decantada, ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008.

Na Figura 88, a linha tracejada vermelha corresponde ao valor assumido pela EPA para turbidez da água filtrada como indicador de remoção de 3,0 log de oocistos de

Cryptosporidium, sendo este valor ultrapassado com frequência em todo o período de estudo, mas mais intensamente nos meses de chuvas mais intensas (dezembro a fevereiro).

A linha tracejada azul tem como referência o valor médio de turbidez da água filtrada do mês de abril, em torno de 0,4 uT (menor valor médio dentre os meses com ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* na água filtrada). À semelhança do observado na decantação, em geral, nos meses onde não se detectou oocistos na água filtrada, os valores médios de turbidez foram inferiores à referência assumida.

Das análises pontuais, destaca-se ainda o fato de que na amostra com o maior valor de oocistos encontrado na água filtrada (9 oocistos L⁻¹) (filtro 2, fevereiro) (Tabela 29), foi também registrado o maior valor de turbidez (Tabela 30).

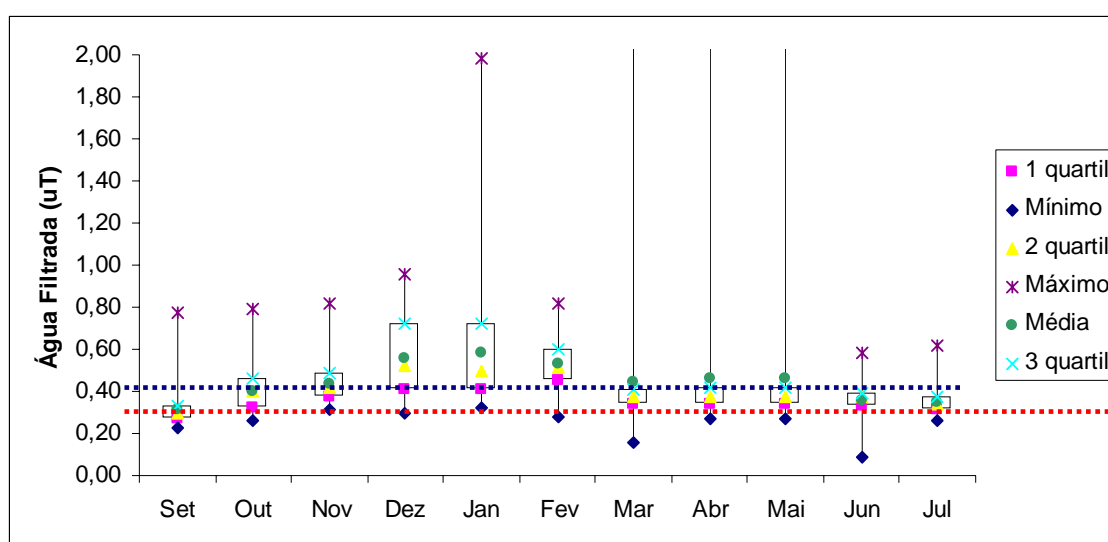


Figura 88 –Variação da turbidez da água filtrada, ETA UFV, setembro de 2007 a julho de 2008.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como apresentado no item 3.3.4, a literatura reúne informações controversas sobre a validade do emprego da turbidez e da contagem de partículas como indicadores de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*. Por exemplo, Niemisnky (1997) e LeChevalier e Norton (1995) encontraram elevada correlação entre remoção de turbidez e de oocistos. Niemisnky (1997) considera a contagem de partículas (4-7 μm) como indicador mais adequado ainda, bem como Huck et al (2002). Entretanto, outros autores, como States et al (2002), desabonam a turbidez e a contagem de partículas como indicadores confiáveis.

Neste trabalho reúnem-se indícios de que a remoção de turbidez seja mais adequada que a contagem de partículas como indicador da remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, muito embora a contagem aqui tenha sido feita em faixa de tamanho que inclui partículas menores que oocistos (2 - 7 μm).

Por outro lado, a remoção de turbidez na filtração parece, dentre as faixas de tamanho investigadas, estar relacionada à remoção de partículas de 2 - 7 μm .

Os resultados não permitam sugestões conclusivas sobre a associação de limites numéricos de turbidez com a remoção de oocistos, mas reúnem indícios de que a produção de água filtrada com baixa turbidez constitui medida preventiva; mais que isso, há indicações no sentido de reforço do valor limite de 0,3 uT (assumido na norma dos EUA) e de questionamento da flexibilidade do padrão de potabilidade brasileiro (1,0 uT).

Em sendo assim, medidas de baixos valores de turbidez devem guardar a melhor precisão possível e os resultados aqui obtidos destacam a grande variação obtida em medidas com diferente equipamentos. Essas observações guardam grande relevância, na medida em que se confere importância a diferenças na primeira casa decimal a valores de turbidez da água filtrada, como indicadores da remoção de protozoários. Chama-se, portanto atenção para a necessidade de se dispor de equipamentos modernos, apropriados para leituras de turbidez baixa e de se implementar, rotineiramente, procedimentos de boas práticas e de procedimentos operacionais padrão de laboratório.

De acordo com as decisões assumidas para o cômputo de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, a instalação piloto alcançou, aproximadamente, 0,5 \log_{10} na decantação e 1,5 \log_{10} no ciclo completo de clarificação. O primeiro resultado é consistente com o

registrado na literatura e assumido na norma dos EUA, mas o segundo fica aquém do esperado (USEPA, 2006).

Entretanto, tais resultados poderiam estar subestimados, tendo em vista as incertezas sobre as concentrações de oocistos de fato inoculadas e o fato de que a pesquisa de oocistos na água bruta e nas amostras de água decantada foram realizadas com emprego de técnicas com poder de recuperação distinto (ver Anexo 1). Tendo esses aspectos em consideração, julga-se que os resultados não necessariamente contradizem entendimento de que o tratamento da água em ciclo completo alcance $3 \log_{10}$ de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* (USEPA, 2006).

O trabalho contribui ainda para reforçar indícios de que a remoção de oocistos é influenciada pela turbidez da água, pelo período de amadurecimento dos filtros, pela coagulação e pela concentração inicial de oocistos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALLEN, T. Particle size measurement. 5.ed., London, Chapman & Hall, (Powder sampling and particle size measurement, v.1) 1997 apud SANTOS, H. R. S.; PRADO, G. S.; VIDAL, C. M. S.; MORUZZI, R. B.; CAMPOS, J. R.; Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário; Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 9 - Nº 4 - out/dez 2004, pág. 291-300.

BASTOS, R. K. X. et al. Abordagem sanitário-epidemiológica do tratamento e da qualidade parasitológica da água: entre o desejável e o possível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Resumos dos trabalhos apresentados, p.1-21.

BASTOS, R. K. X. Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura. Prosab – Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003, 267p.

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

BASTOS, R. K. X.; OLIVEIRA, D. C.; FREITAS, A. G.; NASCIMENTO, L. E.. Ensaio de tratabilidade e avaliação de desempenho. Recursos fundamentais de projeto e operação de ETAs com vistas à otimização do tratatmento e da qualidade da água. In: XXXV Assembléia Nacional da ASSEMAE, 2005, Belo Horizonte *Anais...* 35ª Assembléia Nacional da ASSEMAE - Saneamento de qualidade responsabilidade e decisão do Município, 2005.

BELL, K. *et al.* Enhanced and optimized coagulation for particulate and microbial removal. AWWA Res. Fdn. and AWWA. Denver, 2000.

BETANCOURT, W.Q.; ROSE, J.B. Drinkin water tretment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*. Veterinary Parasitology 126, 219-234, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências Diário Oficial da União, 26 de março de 2004, Seção 1, pg. 266.

BRITO, S.A. Influência da velocidade de sedimentação na determinação dos coeficientes de agregação e ruptura durante a floculação. São Carlos. 189p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil. 1998 apud PÁDUA, V. L.; Di BERNARDO, L. *Comparação entre turbidez e distribuição de tamanhos de partículas*. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.v

- CRAUN, G. F. Waterborne Giardiasis in the United States: A review. *American Journal of Public Health*, v.69, n.8, p. 817-819, 1979.
- CRAUN, G.F., HUBBS, S.A., FROST, F. et al. Waterborne outbreaks of cryptosporidiosis. *Journal of American Water Works Association*, v.90, n.9, p.81-91, 1998.
- DUGAN N. R.; FOX, K. R.; OWENS, J. H.; MILTNER, R. J. Controlling *Cryptosporidium* oocysts using conventional treatment. *Journal American Water Works Association*, v. 93, n. 12, p. 64-76, 2001.
- FARIAS, E. W. C.: Pesquisa de oocistos de *Cryptosporidium* spp e *Salmonella* spp em amostras de águas de esgoto e águas de córrego da cidade de São Paulo. Dissertação de mestrado, USP, 2000.
- FEITZ, A. J.; GUAN, J.; WAITE, T. D. Size and structure effects on centrifugal dewatering of digested sewage sludge. *Wat. Sci. Tech.*, v. 44, n. 2, p. 427-435, 2001.
- FERNANDES, N. M. G. Influência do pH de Coagulação e Dosagem de Sulfato de Alumínio na Remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por Filtração Direta Descendente. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2007.
- FREITAS, A. G. Recirculação de água de lavagem de filtros em escala piloto: Uma contribuição para avaliação de perigos associados à presença de protozoários. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2007.
- HAAS, C.N, ROSE, J., GERBA, C.P. *Quantitative microbial risk assessment*. New York: John Wiley & Sons, 1999. 449p
- HELLER, L.; VIEIRA, M. B. C. M.; BRITO, L. L. A.; SALVADOR, D. P. Desempenho da filtração lenta em areia submetida a cargas de pico de oocistos de *Cryptosporidium* SP, bactérias e sólidos: Uma avaliação em instalação piloto. *Engenharia sanitária e ambiental*, Vol.11- Nº 1 - jan/mar 2006, 27-38
- LADEIA, M. M.; HELLER, L.; VIEIRA, M. B. C. M. Avaliação da eficiência da filtração rápida descendente na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* sp. em instalação piloto. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.
- LAGE FILHO, F. A. Fundamentos da contagem de partículas em águas de abastecimento. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.
- LAWLER, D. F; et al. Anaerobic digestion: effects on particle size and dewaterability. *J. Wat. Pollut. Control Fed.*, v. 58, n. 12, 1986;
- LAWLER, D. F. Particle size distribution in treatment processes: theory and practice. *Wat. Sci. Tech.*, v. 36, n. 04, p. 15-23, 1997.
- LETTERMAN, R. D. Further discussion of “Conscientious particle counting”. *Journal AWWA*, v. 93, n. 4, p. 182-183, Apr. 2001 apud PÁDUA, V. L.; Di BERNARDO, L. Comparação entre turbidez e distribuição de tamanhos de partículas. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.

LEVINE, W.C.; STEPHENSON, W.T.; CRAUN, G.F. Waterborne disease outbreaks, 1986-1988. MMWR Surveill Summ., 39: 1-13, 1990 apud SANTOS, H. R. S.; PRADO, G. S.; VIDAL, C. M. S.; MORUZZI, R. B.; CAMPOS, J. R.; Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário; Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 9 - Nº 4 - out/dez 2004, pág. 291-300;

MARA, D. *Cryptosporidium* – a reasonable risk? Water 21. 2000

PÁDUA, V. L.; Di BERNARDO, L. Comparação entre turbidez e distribuição de tamanhos de partículas. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.

PATANIA, N., JACANGELO, J., CUMMINGS, L., WILCZAK, A., RILEY, K., and OPPENHEIMER, J. 1995. Optimization of Filtration for Cyst Removal. AWWARF. Denver, CO. 178pp

RICHARDSON, A.J.; FRANKENBERG, R.A.; BUCK, A.C. An outbreak of waterborne cryptosporidiosis in Swindon and Oxfordshire. *Epidemiological Infectious*, v.107, p.485, 1991.

SANTOS, H. R. S.; PRADO, G. S.; VIDAL, C. M. S.; MORUZZI, R. B.; CAMPOS, J. R.; Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário; Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 9 - Nº 4 - out/dez 2004, pág. 291-300;

SOLO-GABRIELE, H., NEUMEISTER, S. US outbreaks of criptosporidiosis. *Journal of American Water Works Association*, v.88, n.9, p.76-86, 1996.

SOMMER, H. T. Discussion of “Conscientious particle counting”. *Journal AWWA*, v. 92, n. 12, p. 111- 114, Dec. 2000 apud PÁDUA, V. L.; Di BERNARDO, L. Comparação entre turbidez e distribuição de tamanhos de partículas. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.

USEPA. Interim enhanced surface water treatment rule. Proposed Rule. *Fed. Reg.*, 63:241:69477-69521, 1998.

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.

USEPA. National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule; Final Rule. 40 CFR Parts 9, 141, and 142 (2006).

VAN GELDER, A. M.; CHOWDHURY, Z. K.; LAWLER, D. F. Conscientious particle counting. *Journal AWWA*, v. 91, n. 12, p.64-76, Dec. 1999 apud PÁDUA, V. L.; Di BERNARDO, L. Comparação entre turbidez e distribuição de tamanhos de partículas. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003.

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.

ANEXO 1

ENSAIOS DE SENSIBILIDADE DAS TÉCNICAS UTILIZADAS PARA PESQUISA DE OOCISTOS DE *Cryptosporidium*

1. Introdução

Foram realizados ensaios de sensibilidades com amostras de concentrações ‘conhecidas’ de oocistos: (i) amostras adquiridas da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (doravante denominadas ‘inóculo UFTM’) – frascos de 10 mL contendo 10^7 oocistos de oocistos de *Cryptosporidium* e (ii) amostras importadas da empresa BTF EasySeed™ (BioTechnology Frontiers) (doravante denominadas EasySeed).– frascos de 1,15 mL contendo 100 oocistos de *Cryptosporidium* e 100 cistos de *Giardia*.

Ambas amostras foram utilizadas para avaliar a recuperação das técnicas de concentração com membrana filtrante e floculação com carbonato de cálcio.

2. Procedimentos de preparo das amostras e contagem de (oo)cistos

2.1. EasySeed - técnica de membrana filtrante

A técnica de filtração em membranas foi proposta por Aldom e Chagla, (1995) e, conforme descrição de Cantusio Neto (2004), inicialmente foi desenvolvida para detecção de (oo)cistos em água tratada, sendo posteriormente aplicada em amostras de água bruta (ONGERTH; STIBBS, 1987). Consiste na captura dos oocistos através da filtração em membranas de acetato de celulose, seguida de eluição por dissolução em acetona e etanol. A turbidez da água é o maior fator limitante, pois pode ocorrer rápida obstrução da malha filtrante, com conseqüente redução do volume filtrado. O método sofre influência do processo de eluição nas etapas de dissolução em acetona e pode alterar a infectividade dos (oo)cistos (CARRENO et al., 2001). A recuperação da técnica de membrana filtrante pode variar entre 25,5- 70,5% (ALDOM e CHAGLA, 1995). Um protocolo alternativo foi desenvolvido no Brasil por Franco et al. (2001), no qual a recuperação dos (oo)cistos é feita por extração mecânica, fazendo-se raspagem e lavagem da superfície da membrana, evitando assim as perdas de infectividade.

No presente estudo, o conteúdo do frasco de Easyseed (1,15 mL, contendo 100 cistos e oocistos, com certificado de análise, seguindo o fornecedor) era introduzido em amostra de 2L de água filtrada da ETA UFV, sem presença de protozoários, de acordo com os procedimentos estipulados pelo fornecedor:

- Remover a tampa do frasco de EasySeed.

- Adicionar 2mL de 0.05% (v/v) Tween 20 ao frasco de EasySeed.
- Recolocar a tampa a agitar o frasco.
- Remover a tampa e dispensar o conteúdo na amostra de água a ser analisada
- Adicionar 3 mL de água reagente padrão (água destilada autoclavada) ao frasco vazio de EasySeed.
- Recolocar a tampa a agitar o frasco.
- Remover a tampa e dispensar o conteúdo na amostra de água a ser analisada
- Repetir os três últimos passos
- Proceder à análise da amostra .

As amostras de 2 L era então submetidas à filtração em membranas de 1,2 µm (Milipore) e submetidas aos seguintes procedimentos (ALDOM et al., 1995) .

- Lavagem das membranas com pequenas quantidades de água de eluição (Tween 20), em simultâneo à raspagem das membranas com hastes de plástico (fornecidas pelo fabricante das membranas) por 10 min e coleta do ‘eluído’ em placa Petri.
- Transferência do volume acumulado na placa Petri para tubos de centrífuga com o uso de pipetas Pasteur
- Repetição dos passos anteriores.
- Centrifugação das amostras, retirada do sobrenadante, lavagem da pipeta Pasteur e do tubo da centrífuga
- Lavagem do galão de coleta das amostras de água filtrada com 1 L de solução de eluição (Tween), filtração em nova membrana, seguida dos procedimentos de lavagem / raspagem das membranas e centrifugação acima descritos.
- Centrifugação continuada até a obtenção de 1 mL da amostra concentrada em Eppendorf e preparo de lâminas (10µL) para leitura direta em microscópio de imunofluorescência, direta em utilizando kit MERIFLUOR®

Para a contagem de (oo)cistos foram adotados os seguintes critérios:

Para recuperação de 100% dever-se-ia encontrar 1 (oo)cisto a cada 10 µL lidos, pois:

100 (oo)cistos inoculados ___ 1000 µL (1 mL do Eppendorf)

X (oo)cistos _____ 10 µL (amostra lida)

X = 1

Com esse pressuposto, o percentual de recuperação foi calculado da seguinte forma:

Recuperação (%) = (oo)cistos detectados x 100 / N° de (oo)cistos no EasySeed

Sendo que para o número de (oo)cistos Easyseed considerou-se o n° de (oo)cistos que deveriam estar presentes em 10 µL, que foi a alíquota lida.

2.2. EasySeed - técnica da floculação com carbonato de cálcio

A técnica de floculação química com carbonato de cálcio foi proposta como método de concentração de volumes de 10 L de água por precipitação (VESEY et al., 1993). Em uma primeira etapa, são adicionadas soluções de cloreto de cálcio e bicarbonato de sódio a volumes de até 10 L de amostra, a seguir, o pH é ajustado para 10 (com hidróxido de sódio); posteriormente a preparação é mantida em repouso por um período de 4 a 8 horas em temperatura ambiente. O sobrenadante é então aspirado com auxílio de uma bomba de vácuo e o precipitado é dissolvido com ácido sulfâmico; a suspensão obtida é centrifugada e analisada em imunofluorescência. O sedimento resultante é extremamente rico em material particulado, interferindo na leitura de imunofluorescência, podendo resultar em falso-positivos. Variações nas concentrações dos reagentes e do pH causam uma diminuição do número de organismos floculados. Esse método também não fornece informações sobre a espécie ou viabilidade e, segundo relatos de literatura apresenta eficiência de recuperação entre 30% e 40% (FRICKER; CRABB, 1998; CANTUSIO NETO, 2004).

No presente estudo, o conteúdo do frasco de Easyseed (1,15 mL) era introduzido em amostra de 10L de água bruta da ETA UFV (sem presença de protozoários), a qual era a seguir submetida aos procedimentos da técnica de floculação acima descritos. Destaque-se que, nesse caso, a centrifugação era realizada até a obtenção de 10mL de amostra concentrada em Eppendorf, sendo a leitura feita em alíquota de 10 µL. Além disso, registre-se que não se procedia à lavagem do balão, nos quais era realizada a floculação-sedimentação.

Para a contagem de (oo)cistos e cômputo da recuperação da técnica, para

Para recuperação de 100% dever-se-ia encontrar 0,1 (oo)cisto a cada 10 µL lidos (!?), pois:

100 (oo)ocistos inoculados _____ 10.000 µL (10 mL do Eppendorf)

X _____ 10 µL (amostra lida)

X = 0,1

Isso somente seria possível ao se encontrar 1 (oo)cisto na leitura de 10 ‘poços’ de 10 µL (100% de recuperação).

2.3. Inóculo UFTM- técnica de membrana filtrante

O conteúdo dos fracos de 10 mL contendo 10^7 oocistos de *Cryptosporidium* (segundo informado pelo fornecedor) era introduzido em 2 L de água filtrada da ETA UFV e as amostras processadas de acordo com o descrito para a inoculação com EasySeed.

2.4. Inóculo UFTM- técnica da flocculação

O conteúdo dos fracos de 10 mL contendo 10^7 oocistos de *Cryptosporidium* (segundo informado pelo fornecedor) era introduzido em 10 L de água bruta da ETA e as amostras processadas de acordo com o descrito para a inoculação com EasySeed.

3. Resultados

3.1. EasySeed - técnica de membrana filtrante

Esse teste foi realizado em duas amostras de água filtrada da ETA UFV; ou seja, foram utilizados dois frascos de EasySeed. No quadro a seguir encontram-se os resultados dos dois testes, expressos em termos de número de oocistos encontrados na amostra original de água filtrada e na água de lavagem do galão dessas amostras.

Organismo	A 1	AL 1	A 2	AL 2C
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	0	1	1	0
Cistos de <i>Giardia</i>	0	0	1	0

A: amostra de água filtrada; AL: água de lavagem do galão de coleta da amostra.

De acordo com os pressupostos e critérios assumidos para a contagem / cômputo do percentual de recuperação, os resultados seriam

- Amostra 1: recuperação de 0 % para oocistos de *Cryptosporidium* e 0% para cistos de *Giardia*.
- Amostra AL 1: recuperação de 100 % para oocistos de *Cryptosporidium* e 0% para cistos de *Giardia*.
- Amostra 2: recuperação de 100 % para oocistos de *Cryptosporidium* e 100% para cistos de *Giardia*.
- Amostra AL 2: recuperação de 0 % para oocistos de *Cryptosporidium* e 0% para cistos de *Giardia*.

Ao se computar conjuntamente os resultados da amostra e da água de lavagem (o resultado do teste 1 revela a importância do procedimento de lavagem), ter-se-ia:

- Amostra 1: recuperação de 100% para oocistos de *Cryptosporidium* e 0% para cistos de *Giardia*.
- Amostra 2: recuperação de 100 % para oocistos de *Cryptosporidium* e 100% para cistos de *Giardia*.

Ao se querer uma estimativa da média dos dois ensaios, a recuperação de *Cryptosporidium* seria de 100% e a de *Giardia* 50%.

3.2. EasySeed - técnica da floculação com carbonato de cálcio

Esse teste foi realizado em duas amostras de água bruta da ETA UFV; ou seja, foram utilizados outros dois frascos EasySeed. Os resultados, em termos de número de (oo)cistos encontrados, são mostrados no quadro abaixo.

Organismo	Controle	A 1	A2
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	0	1	0
Cistos de <i>Giardia</i>	1	0	0

Controle: amostra de água bruta sem a inoculação de (oo)cistos; A1 e A2: amostras de água bruta inoculadas com EasySeed, turbidez de, respectivamente, de 16 uT.

De acordo com os pressupostos e critérios assumidos para a contagem / cômputo do percentual de recuperação, os resultados seriam

- Amostra 1: recuperação de 100% para oocistos de *Cryptosporidium* e 0% para cistos de *Giardia*.
- Amostra 2: recuperação de 0 % para oocistos de *Cryptosporidium* e 0% para cistos de *Giardia*.

Ao se querer uma estimativa da média dos dois ensaios, a recuperação de *Cryptosporidium* seria de 50% e a de *Giardia* 0%.

3.3. Inóculo UFTM- técnica de membrana filtrante

O conteúdo dos fracos de 10 mL contendo 10^7 oocistos de *Cryptosporidium* (segundo informado pelo fornecedor) era introduzido em 2 L de água filtrada da ETA UFV e as amostras processadas de acordo com o descrito para a inoculação com EasySeed.

Foram realizados três testes, sendo os resultados (resultado final da soma dos oocistos encontrados na amostra e na água de lavagem do galão), resumidamente, apresentados a seguir:

- Amostra 1: $5,28 \times 10^6$ oocistos – recuperação de 52,8%
- Amostra 2: $4,3 \times 10^6$ oocistos – recuperação de 43%
- Amostra 3: $4,8 \times 10^6$ oocistos – recuperação de 47,8%

3.4. Inóculo UFTM- técnica da floculação

O conteúdo dos fracos de 10 mL contendo 10^7 oocistos de *Cryptosporidium* (segundo informado pelo fornecedor) era introduzido em 10 L de água bruta da ETA e as amostras processadas de acordo com o descrito para a inoculação com ‘Inóculo UFTM’

Foram realizados três testes, sendo os resultados, resumidamente, apresentados a seguir:

- Amostra 1 (10 uT): $1,23 \times 10^2$ oocistos – recuperação de 0,001%
- Amostra 2 (18 uT): $3,15 \times 10^5$ oocistos – recuperação de 3,15%
- Amostra 3 (18 uT): $1,6 \times 10^5$ oocistos – recuperação de 1,55%

4. Considerações finais

- Em termos gerais, a técnica de filtração em membrana apresentou melhor percentual de recuperação, tanto para o inóculo UFTM quanto para o EasySeed, do que a técnica de floculação em carbonato de cálcio.
- Este fato pode ser, em parte, explicado pelos procedimentos na técnica de filtração em membrana (raspagem das membranas) e também do controle da limpeza dos galões, visto que na técnica de floculação a amostra era simplesmente vertida sem uma posterior lavagem do galão, podendo então ocorrer aderência de (oo)cistos nas paredes deste.
- Os ensaios com a técnica de filtração em membrana para a análise de amostras de água filtrada apresentaram recuperação média de 100% para oocistos de *Cryptosporidium* e 50% para cistos de *Giardia* (resguardadas as devidas fragilidades dos critérios de cálculo assumidos) quando do uso do EasySeed, e em torno de 50% para oocistos *Cryptosporidium* quando do uso do inóculo UFTM. Em termos gerais, esses resultados encontram respaldo em literatura.
- Os ensaios com a técnica de floculação com carbonato de cálcio para a análise de amostras de água bruta apresentaram, principalmente quando do uso do inóculo UFTM, recuperação bem abaixo de valores citados em literatura. Além dos fatores já citados, isso pode estar relacionado aos baixos valores de turbidez da água bruta, uma vez que essa técnica é recomendada para amostras com turbidez mais elevada.

Em relação ao uso do EasySeed, em que pese o controle de qualidade do material adquirido (informado pelo fornecedor), há que se registrar grandes dificuldades encontradas na identificação (visualização) dos (oo)cistos, os quais revelavam-se em formas poucos usuais, opacas e, ou, não bem definidas.

- Quanto ao uso do ‘inóculo UFTM’, há que se registrar que, em outro momento, foi realizada a contagem direta de amostras adquiridas, as quais que teoricamente conteriam 10^7 oocistos; entretanto em nenhuma das contagens encontramos valores superiores a 10^6 oocistos. Destaque-se, portanto, que a recuperação real das técnicas analisadas poderia bem ser distinta da computada.
- Nesse particular registre-se ainda que o mesmo procedimento (leitura direta) foi adotado em outros lotes adquiridos da UFTM. Em um primeiro lote (armazenado por já algum tempo), em duas leituras foram encontrados, respectivamente, $2,4 \times 10^4$ e $1,7 \times 10^4$

oocistos . Em um segundo lote (mais novo) foram encontrados $6,0 \times 10^3$ e $3,0 \times 10^3$ oocistos.